

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ

Жана В. Топаловић

**РОБУСНА ЕВАЛУАЦИЈА И КАЛИБРАЦИЈА
БИЛАНСНИХ ХИДРОЛОШКИХ МОДЕЛА У
ПРОМЈЕНЉИВИМ КЛИМАТСКИМ
УСЛОВИМА**

Докторска дисертација

Београд, 2020

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

Žana V. Topalović

**ROBUST EVALUATION AND CALIBRATION
OF HYDROLOGICAL WATER BALANCE
MODELS IN CHANGING CLIMATE
CONDITIONS**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2020

ПОДАЦИ О МЕНТОРУ И ЧЛАНОВИМА КОМИСИЈЕ

Ментор:

проф. др Јасна Плавшић, Универзитет у Београду, Грађевински факултет

Чланови комисије:

Датум одбране докторске дисертације: _____

ЗАХВАЛНОСТ

Захваљујем се менторки проф. др Јасни Плавшић која ме је подржавала, савјетовала и усмјеравала у мом истраживачком раду чији је производ управо ова дисертација. Менторство се не односи само на израду докторске дисертације већ на цјелокупно хидролошко усавршавање од мог првог радног дана. Хвала Јасна!

Велику захвалност дугујем и доц. др Андријани Тодоровић на великој помоћи и подршци, корисним савјетима и уступању материјала потребних за иницијализацију ове дисертације.

Такође се захваљујем доц. др Борислави Благојевић на корисним и угодним разговорима о истраживању те савјетима и коментарима који су учинили ову тезу бољом.

Посебно се захваљујем мојим радним колегама на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци на стрпљењу, безусловној подршци и разумијевању које су ми пружили у току израде ове дисертације.

Највећу захвалност дугујем својој породици, мом вољеном мужу Петру, нашој дивној и доброј дјечи Стевану, Ани и Тадеју, мојој мајци Ђурђи што ме је научила да будем вриједна и стрпљива, мојој другој мами Вели за преузимање великог дијела мојих обавеза, мојим сестрама и брату као и осталим члановима породице од којих неки нису више са нама али су и даље неминовно важан дио мог живота. Без ваше љубави и подршке не бих била овдје гдје јесам. Хвала вам!

У Београду, 2020

Аутор

САЖЕТАК

Од хидролошких модела се очекује да што реалније репродукују хидролошке процесе на сливу те да су довољно робусни за употребу у различитим климатским подручјима. Робусан хидролошки модел би требао бити трансферабилан на различите климатске услове и имати добру ефикасност, без обзира на одабрани калибрациони и валидациони период. У овој докторској дисертацији анализирају се мјесечни билансни хидролошки модели (МБХМ) и њихова примјена у условима промјенљиве климе. Ови модели имају широку практичну примјену, али су ријетко анализирани у овом контексту. Досадашња истраживања показују да тренутне генерације хидролошких модела не могу ефикасно симулирати отицаје у периодима са различитим хидроклиматским карактеристикама. Ту је најчешће проблем симулација модела у сушном периоду ако је модел калибрисан у водном, и обрнуто.

У потрази за робусним моделима, исте је неопходно истражити у овом контексту. У том циљу дефинисана је методологија за ригорозно тестирање МБХМ-а у условима промјенљиве климе. Предложеним евалуационим оквиром тестира се сљедеће: (1) конзистентност ефикасности модела преко уобичајених статистичких показатеља и показатеља формираних преко грешака у репродуковању хидролошких потписа, (2) конзистентност оцјене параметара у калибрационим периодима као и (3) симулираних компоненти водног биланса. Разматрана су два приступа моделирању, у погледу избора периода за калибрацију и валидацију модела, који се сматрају адекватним за примјену модела у климатски промјенљивим условима. У оба приступа, шест МБХМ-а (*abcd*, Budyko, GR2M, WASMOD, WatBal и Xinanjiang) различитих структура су калибрисани једнокритеријумском оптимизацијом, на три слива различитих карактеристика. Ови приступи моделирању су комбиновани са избором броја и врсте циљних функција да би се добиле различите калибрационе стратегије а у циљу добијања одговора како одређена калибрациона стратегија утиче на ефикасност модела. Испитивање утицаја калибрације са једном или више циљних функција извршено је на приступу моделирању који се показао ригорознијим, са једним моделом који се показао као најпоузданији из

претходне анализе утицаја калибрационе стратегије, и на једном сливу на коме је уочена екстремна промјена хидроклиматских услова. На добијеним резултатима симулација модела, испитан је утицај примјене метода вишемоделског осредњавања на ефикасност.

Резултати су показали да мјесечни билансни хидролошки модели могу репродуковати осмотрени водни биланс у промјенљивим климатским условима уз одређена ограничења. Ова ограничења зависе од модела, слива, показатеља ефикасности који се разматра и коришћеног приступа моделирању. Поједини модели су у потпуности трансферабилни на водније периоде. У сувљим периодима, са мање од 15% падавина или више од 2% потенцијалне евапотранспирације, није препоручљиво користити њихове симулације. Модели дају боље резултате на воднијим сливовима као и у приступу моделирању са дужим периодима за калибрацију и валидацију.

Ефикасност модела зависи од структуре модела, али и од слива и нумеричког показатеља ефикасности, те није у потпуности конзистентна. За мјесечне отицаје предност имају структуре са два резервоара (залихе влажности тла и подземних вода) и 2-4 параметра, у односу на структуре са једним или три резервоара и већим бројем параметара (5-8). Заједничко за све моделе и сливове је да су компоненте запремине подземних вода и базног отицаја проблематичан дио структуре модела. Ефикасност МБХМ-а зависи од примијењене калибрационе стратегије, али не једнако на свим сливовима и према свим показатељима. На сушном сливу ефикасност је слична према оба приступа моделирању. На водним сливовима, приступом моделирању са дужим периодима за калибрацију и валидацију, ефикасност мјерена хидролошким потписима се значајно побољшава. Међутим, резултати показују да задовољавајућа ефикасност модела током дугачког периода не значи да модел добро репродукује понашање слива и током краћих, екстремнијих потпериода. Вишекритеријумском оптимизацијом модела добијају се бољи резултати, нарочито у виду смањења грешака хидролошких потписа. Ово упућује да је за добру репродукцију хидролошких потписа неопходно укључити више различитих циљних функција, нарочито из реда потписа.

У овој дисертацији није пронађена калибрациона стратегија којом модели испуњавају критеријуме о робусности у климатски промјенљивим условима, постављене у предложеном евалуационом оквиру. Проблем је критичан трансфер модела на сушни период који може успјешно да се превазиђе коришћењем метода вишемоделског осредњавања са чијом примјеном модели постају потпуно трансферабилни. Резултати су такође показали да ограничења у трансферабилности *abcd* и *Budyko* модела нису

посљедица (лоше) структуре, већ недовољно робусне калибрационе стратегије која не омогућава идентификацију таквих скупова параметара.

Допринос ове дисертације су препоруке за примјену модела у условима промјенљиве климе као и препоруке за њихов даљи развој како би се добиле ефикасније и конзистентније хидролошке симулације у оваквим условима. На крају су дати приједлози за даља истраживања.

Кључне ријечи: мјесечни билансни хидролошки модели; калибрациона стратегија; ефикасност модела; хидролошки потписи; евалуација модела; трансферабилност модела; промјенљиви климатски услови

Научна област: грађевинарство

Ужа научна област: хидрологија

UDK:

ABSTRACT

Hydrological models are expected to reproduce catchment processes realistically and to be robust so that they can be applied to different conditions. A robust model is supposed to be transferable across different climatic conditions and it should perform well regardless of the selection of calibration and validation periods. In this doctoral dissertation, monthly water balance models (MWBM) and their application to changing climate conditions are analysed. These models are commonly used in practice but rarely analysed with this respect. Up to date research show that present generations of hydrological models are not able to efficiently simulate runoff in periods with contrasted climate conditions. Problem is usually with model simulations in dry periods if calibrated in wet ones, and vice versa.

In order to identify robust hydrological models, they need to be tested with this respect. To that end, robust methodology for MWBM evaluation in changing climate conditions is defined. In this evaluation framework, (1) consistency in model efficiency quantified with the common statistical indicators as well as indicators formed as errors of simulated hydrological signatures compared with the observed ones, (2) consistency in model parameter estimates in calibration periods and (3) consistency of simulated water balance components are tested. Two modelling approaches are considered, with regard to the calibration and validation period selection, which are deemed to be adequate for application in changing climate conditions. In both approaches, six MWBMs of various structures (*abcd*, Budyko, GR2M, WASMOD, WatBal and Xinanjiang) are calibrated in single-criteria optimization on three catchments with different hydroclimatic characteristics and evaluated within the evaluation framework. These approaches are combined with the choice of number and type of objective functions in order to obtain different calibration strategies that will help to answer the research question how a particular calibration strategy affects the model efficiency. Impact of number and choice of objective functions on model efficiency is analysed on a modelling approach that proved to be more rigorous, one model proving to be more reliable from the previous single-criteria

optimisation results and one catchment with extreme changes in hydroclimatic conditions. With these results, impact of multimodel averaging methods on the model efficiency is examined.

The results showed that MWBMs can reproduce the observed water balance under changing climate conditions, but with certain constraints. These constraints depend on the model, catchment, efficiency indicator under consideration and the modelling approach. Some models are completely transferable to wetter periods. However, it is not advisable to use their simulations in drier periods, with the less than 15% of precipitation or more than 2% of potential evapotranspiration. The models have better results when applied on wetter catchments as well as in the modelling approach with longer calibration and validation periods.

Model efficiency depends on model structure, but also on the catchment and the efficiency indicator, so it is not completely consistent. For simulations of monthly runoff, model structures with two reservoirs (soil and groundwater) and 2-4 parameters are preferred over the structures with one or three reservoirs and larger number of model parameters (5-8). However, consistently for all models and all catchments, groundwater reservoir and base flow runoff are problematic components of the model's structure. MWBM's efficiency depends on the applied calibration strategy, but not equally across all catchments and across all efficiency measures. On arid catchment, model efficiency is similar with both modeling approaches. On wetter catchments, model efficiency measured with the simulated hydrological signatures errors is significantly improved with approaches with longer calibration and validation periods. However, results indicate that good model efficiency over longer periods does not assure that model will reproduce reliably catchment behavior in shorter, more extreme periods. Multicriteria optimization show better results than single-objective, specifically hydrological signatures errors are significantly decreased. This means that for good reproduction of hydrological signatures on the catchment, models should be calibrated with more than one objective function from which at least one is the hydrological signature error.

In this dissertation, no calibration strategy is identified with which model meet the criteria for robustness of simulations in changing climate conditions, defined in the evaluation framework. The problem is critical model transfer to dry period which can be successfully overcome by using multimodel averaging methods. Results also show that constraints in *abcd* and Budyko models transferability are not the consequence of the (poor) model structure, but the calibration strategy that is not robust enough to identify such parameter sets.

Recommendations for MWBMs application in changing climate conditions are provided as well as recommendation for their future development in order to obtain more efficient and consistent hydrological simulations. Recommendation for further research are also presented.

Key words: monthly water balance models; calibration strategy; model efficiency; hydrological signatures; model evaluation; model transferability; changing climate conditions

Research area: Civil Engineering

Specific search area: Hydrology

UDK:

САДРЖАЈ

САЖЕТАК	i
ABSTRACT	v
САДРЖАЈ.....	ix
СПИСАК СЛИКА	xiii
СПИСАК ТАБЕЛА	xix
1 УВОД	1
1.1 Општи увод и мотивација	1
1.2 Дефинисање проблема и циљева истраживања.....	2
1.3 Преглед структуре докторске дисертације.....	3
2 ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ О ХИДРОЛОШКОМ МОДЕЛИРАЊУ У КОНТЕКСТУ МБХМ-а.....	5
2.1 Хидролошки циклус, хидролошки (водни) биланс и компоненте биланса	5
2.2 Хидролошко моделирање	6
2.3 Перцепција хидролошких модела	7
2.4 Концептуализација хидролошких модела.....	10
2.4.1 Евапотранспирација.....	11
2.4.2 Запремина воде у тлу – влажност тла	12
2.4.3 Запремина воде у подземним резервоарима	13
2.4.4 Отицај. Директни и базни отицај.....	14
2.5 Калибрација – одређивање параметара модела.....	15
2.5.1 Аутоматска калибрација	16
2.5.2 Вишекритеријумска калибрација.....	17
2.5.3 Калибрација хидролошким потписима.....	18
2.5.4 Калибрација мјесечних билансних модела	19
2.5.5 Проблеми у калибрацији модела	20
2.6 Евалуација модела.....	23
2.6.1 Квантитативна евалуација модела.....	24
2.6.2 Квалитативна евалуација модела	26
2.6.3 Дијагностичка евалуација ефикасности модела. Хидролошки потписи.....	27
2.6.4 Евалуација мјесечних билансних модела.....	29
2.7 Мјесечни билансни хидролошки модели (МБХМ)	30
2.8 Моделирање у климатски промјенљивим условима.....	33
2.8.1 Климатска варијабилност и промјене. Стационарност и нестационарност	33
2.8.2 Трансферабилност модела у времену	34
2.9 Побољшање структура хидролошких модела	37
2.9.1 Развој и хипотезе хидролошког модела.....	37
2.9.2 Могуће мањкавости у структурама хидролошких модела.....	37

2.10	Методе осредњавања резултата више модела	41
3	МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА	45
3.1	Преглед методологије истраживања.....	45
3.2	Структуре тестираних мјесечних билансних модела.....	47
3.2.1	<i>abcd</i> модел	47
3.2.2	Budyko модел.....	50
3.2.3	GR2M.....	52
3.2.4	WASMOD	55
3.2.5	WatBal модел.....	57
3.2.6	XIN'ANJIANG модел (XAJ)	59
3.2.7	Поређење структура коришћених МБХМ-а	63
3.3	Калибрација мјесечних билансних хидролошких модела.....	65
3.3.1	Оптимизациони алгоритам.....	65
3.3.2	Број и избор циљних функција.....	65
3.3.3	Провјера резултата калибрације.....	68
3.4	Евалуација ефикасности модела.....	68
3.4.1	Евалуациони оквир за једно-критеријумску оптимизацију.....	69
3.4.2	Евалуациони оквир за више-критеријумску оптимизацију.....	78
3.5	Више-моделско осредњавање резултата модела	80
3.5.1	Метода једнаких тежина.....	80
3.5.2	Метода Гренџер-Бејтс (ГБА)	80
3.5.3	Метода информационог критеријума (ICA).....	81
3.5.4	Метода Гренџер-Раманатан (ГРА).....	81
3.5.5	Бајесов метод осредњавања (ВМА).....	81
3.5.6	Mallows метод осредњавања (ММА).....	82
4	СЛИВОВИ И ПОДАЦИ КОРИШЋЕНИ ЗА МОДЕЛИРАЊЕ.....	83
4.1	Ријека Wimmera до станице Glenorchy Weir Tail	83
4.2	Ријека Kamp до станице Zwettl.....	87
4.3	Ријека Топлица до станице Дољевац.....	92
4.4	Рекапитулација расположивих података за моделирање и подјела на периоде за калибрацију и валидацију модела.....	97
5	РЕЗУЛТАТИ	99
5.1	Евалуација модела Тиреловим протоколом за једнокритеријумску оптимизацију модела.....	99
5.1.1	Ефикасност у калибрационом периоду.....	99
5.1.2	Конзистентност ефикасности модела	101
5.1.3	Конзистентност оцјена параметара модела.....	112
5.1.4	Конзистентност компоненти водног биланса	115

5.1.5	Субјективна оцјена ефикасности модела.....	118
5.1.6	Рангирање модела.....	124
5.2	Евалуација модела протоколом DSST за једнокритеријумску оптимизацију модела.....	125
5.2.1	Ефикасност у калибрационом периоду.....	125
5.2.2	Конзистентност ефикасности модела.....	127
5.2.3	Конзистентност оцјена параметара модела.....	136
5.2.4	Конзистентност компоненти водног биланса.....	139
5.2.5	Субјективна оцјена ефикасности модела.....	144
5.2.6	Рангирање модела.....	150
5.2.7	Регресиона анализа компоненти водног биланса и резидуала модела.....	151
5.3	Евалуација модела Тиреловим протоколом за вишекритеријумску оптимизацију.....	156
5.3.1	Прелиминарна анализа комбинација са двије циљне функције из реда статистичких показатеља.....	157
5.3.2	Анализа комбинација са три циљне функције.....	158
5.3.3	Ефикасност модела у калибрационом периоду.....	159
5.3.4	Конзистентност ефикасности модела и поређење калибрационих комбинација циљних функција.....	160
5.3.5	Конзистентност Парето-оптималних параметара.....	164
5.3.6	Конзистентност компоненти водног биланса симулираних са Парето-оптималним параметрима.....	168
5.3.7	Субјективна оцјена ефикасности.....	171
5.4	Поређење ефикасности вишемоделског осредњавања и појединачних МБХМ-а.....	173
5.4.1	Вишемоделско осредњавање при трансферу P4/P1.....	173
5.4.2	Вишемоделско осредњавање при трансферу P1/P5.....	174
5.4.3	Вишемоделско осредњавање симулација добијених са вишекритеријумском оптимизацијом.....	175
6	СУМАРНИ ПРЕГЛЕД РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА.....	179
6.1	Утицај приступа моделирању на ефикасност модела.....	179
6.2	Утицај броја и избора циљних функција на ефикасност модела.....	180
6.3	Вежа ефикасности и структуре модела.....	181
6.4	Неуспјешност трансфера модела и алтернативне стратегије.....	183
7	ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕПОРУКЕ.....	185
8	ЛИТЕРАТУРА.....	191
	ПРИЛОЗИ.....	211

СПИСАК СЛИКА

Слика 2.1. Шематски приказ хидролошког циклуса	5
Слика 2.2. Шематски приказ процеса хидролошког моделирања	7
Слика 2.3. Зоне и појасеви у вертикалном профилу тла.....	9
Слика 2.4. Примјер Парето фронта одређеног са три циљне функције	18
Слика 2.5. Преглед квантитативних метода евалуације модела.....	25
Слика 3.1. Шематски приказ протокола моделирања према Тирелу.....	45
Слика 3.2. Шематски приказ протокола моделирања према приступу DSST.....	46
Слика 3.3. Шематска структура <i>abcd</i> модела (лијево) и границе функције потражње (десно).....	48
Слика 3.4. Шематски приказ структуре Будико модела.....	52
Слика 3.5. Шематски приказ структуре GR2M модела.....	54
Слика 3.6. Шематски приказ структуре WASMOD модела: А) са снијегом, В) без снијега.	55
Слика 3.7. Шематски приказ WatBal модела.....	58
Слика 3.8. Крива капацитета влажности тла у зависности од фракције слива у ХАЈ моделу.	60
Слика 3.9. Шема генерисања површинског отицаја у ХАЈ моделу.....	62
Слика 3.10. Шематски приказ методологије за евалуацију МБХМ-а.	70
Слика 3.11. Разлике у базним отицајима у зависности од временског корака протока на којима је извршено рддвајање за $a=0.82$	74
Слика 3.12. Утицај дужине низа података на вриједност KGE на примјеру симулација Вудуко моделом на сливу Вимера.....	77
Слика 3.13. Примјер резултата Бајесовог вишемоделског осредњавања.....	82
Слика 4.1. Слив ријеке Вимера до станице Glenorchy Weir Tail.	84
Слика 4.2. Сума годишњих падавина на сливу Вимера.	84
Слика 4.3. Средње годишње запремине отицаја на сливу Вимера.	85
Слика 4.4. Унутаргодишње расподјеле средњих мјесечних протицаја и средњих мјесечних сума падавина на сливу Вимера.	85
Слика 4.5. Средње годишње температуре на сливу Вимера.....	85
Слика 4.6. Унутаргодишња расподјела мјесечних сума падавина на сливу Вимера у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.....	86
Слика 4.7. Унутаргодишња расподјела мјесечних отицаја на сливу Вимера у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.....	87
Слика 4.8. Слив ријеке Камп до станице Zwettl.....	88
Слика 4.9. Суме годишњих падавина на сливу ријеке Камп.....	89

Слика 4.10. Средњи годишњи отицаји на сливу ријеке Камп.....	89
Слика 4.11. Унутаргодишња расподјела протицаја и суме мјесечних падавина на сливу Камп.....	89
Слика 4.12. Средње годишње температуре на сливу Камп.....	90
Слика 4.13. Унутаргодишња расподјела мјесечних сума падавина на сливу Камп у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.....	91
Слика 4.14. Унутаргодишња расподјела мјесечних отицаја на сливу Камп у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.....	91
Слика 4.15. Слив Ријеке Топлице до станице Дољевац.....	93
Слика 4.16. Суме годишњих падавина на сливу Топлица.....	93
Слика 4.17. Средњи годишњи отицај на сливу Топлица.....	93
Слика 4.18. Унутаргодишње расподјеле суме мјесечних падавина и мјесечних отицаја на сливу Топлица.....	94
Слика 4.19. Средње годишње температуре на сливу Топлица.....	94
Слика 4.20. Унутаргодишња расподјела мјесечних сума падавина на сливу Топлица у калибрационим периодима и Тиреловим протоколом.....	95
Слика 4.21. Унутаргодишња расподјела мјесечних отицаја на сливу Топлица у калибрационим периодима и Тиреловим протоколом.....	95
Слика 4.22. Дијаграм сумарне криве нормализованих вриједности годишњих протицаја ($\sum Z$) на сливу ријеке Вимера.....	98
Слика 4.23. Дијаграм сумарне криве нормализованих вриједности годишњих протицаја ($\sum Z$) на сливу ријеке Камп.....	98
Слика 4.24. Дијаграм сумарне криве нормализованих вриједности годишњих протицаја ($\sum Z$) на сливу ријеке Топлице.....	98
Слика 5.1. Вриједности RSR у калибрацији и крос-валидацији на сливу ријеке Вимера.....	102
Слика 5.2. Вриједности NSE_{sqrt} у калибрацији и крос-валидацији на сливу ријеке Камп.....	103
Слика 5.3. Вриједности KGE у калибрацији и крос-валидацији на сливу ријеке Топлице.....	104
Слика 5.4. Вриједности ϵ_{STD} у калибрацији и крос-валидацији на сливу Вимера.....	105
Слика 5.5. Вриједности ϵ_{IAFD} при крос-валидацији на сливу ријеке Камп.....	106
Слика 5.6. Вриједности ϵ_{Qmed} у крос-валидацији на сливу ријеке Топлица.....	107
Слика 5.7. Зависност KGE од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Вимера.....	110
Слика 5.8. Зависност ϵ_{STD} (лијево) од промјене количине падавина у валидационом периоду и зависност NSE_{sqrt} (десно) од промјене количине PET на сливу Камп.....	111
Слика 5.9. Зависност KGE (лијево) од промјене количине падавина у валидационом периоду и зависност ϵ_{IAFD} (десно) од промјене количине PET на сливу Топлица.....	111
Слика 5.10. Нормализоване вриједности параметара модела у једнокритеријумској оптимизацији на различитим калибрационим периодима на сливу Камп.....	113

Слика 5.11. Апсолутне вриједности Спирмановог коефицијента корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Вимера.....	114
Слика 5.12. Симулиране вриједности запремине подземних вода у калибрацији и крос-валидацији на сливу Вимере.....	115
Слика 5.13. RMAD вриједности за компоненту запремине подземне воде на примјеру слива Вимера.....	116
Слика 5.14. RMAD вриједности за компоненту запремине подземне воде на примјеру слива и Топлица.....	118
Слика 5.15. Вриједности субјективних оцјена хидрограма у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу на примјеру слива ријеке Камп.....	119
Слика 5.16. Хидрограми отицаја при трансферу са водног периода P4 на сушни P1 на сливу ријеке Камп.....	120
Слика 5.17. Хидрограми отицаја на сливу Топлице и трансфер P2/P5 (сушни/сушни).	120
Слика 5.18. Унутаргодишња расподјела протицаја на сливу ријеке Камп симулирана са GR2M моделом.....	121
Слика 5.19. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног P2 периода на сливу Топлица.....	123
Слика 5.20. Вриједности KGE у DSST протоколу на сливу ријеке Вимера.....	128
Слика 5.21. Вриједности KGE у DSST протоколу на сливу ријеке Камп.....	129
Слика 5.22. Вриједности RSR у DSST протоколу на сливу ријеке Топлице.....	130
Слика 5.23. Вриједности ϵ_{IAFD} у DSST протоколу на сливу Вимере.....	131
Слика 5.24. Вриједности ϵ_{IAFD} у DSST протоколу на сливу ријеке Камп.....	132
Слика 5.25. Вриједности ϵ_{IAFD} у DSST протоколу на сливу ријеке Топлице.....	133
Слика 5.26. Зависност ϵ_{STD} и промјене количине падавина у DSST протоколу на сливу ријеке Вимера (горе лијево), Камп (горе десно) и Топлица (доле).....	136
Слика 5.27. Нормализоване вриједности параметара у калибрацији на различитим периодима DSST протокола на сливу Топлица.....	138
Слика 5.28. RMAD вриједности базног отицаја симулираног на сливу Вимере и DSST протоколом.....	139
Слика 5.29. Симулиране вриједности запремине подземних вода на сливу Вимере и DSST протоколом.....	140
Слика 5.30. RMAD вриједности базног отицаја симулираног на сливу Камп и DSST протоколом.....	141
Слика 5.31. Симулиране вриједности запремине подземних вода на сливу Камп и DSST протоколом.....	142
Слика 5.32. Симулирани директни отицај на сливу Топлица у DSST протоколу.....	143
Слика 5.33. Хидрограми отицаја при трансферу са сушног на водни период на сливу Вимере.....	145

Слика 5.34. . Хидрограми отицаја у трансферу са водног на сушни период на сливу Камп.	146
Слика 5.35. Хидрограми отицаја у трансферу са сушног на водни период на сливу Топлица.	146
Слика 5.36. Унутаргодишња расподјела мјесечних протицаја према симулацијама Vudyko модела на сливу Вимера и DSST протоколу.....	147
Слика 5.37. Унутаргодишња расподјела мјесечних протицаја према симулацијама WASMOD-а на сливу Камп и DSST протоколом.	147
Слика 5.38. Унутаргодишња расподјела мјесечних протицаја према симулацијама WASMOD модела на сливу Топлице.....	148
Слика 5.39. Веза падавине отицај према симулацијама модела на комплетном периоду и оптималним параметрима из сушног периода на сливу Камп и DSST протоколу.	150
Слика 5.40. Зависност резидуала и директног отицаја у трансферу са водног на сушни период на сливу Вимера.....	153
Слика 5.41. Зависност резидуала и влажности тла у трансферу са сушног на водни период на сливу Камп.....	154
Слика 5.42. Зависност резидуала и базног отицаја у трансферу са сушног на водни период на сливу Топлица.	156
Слика 5.43. Вриједности KGE у трансферу са P1 скупом параметара на остале периоде за различите комбинације двије ЦФ-је из реда статистичких показатеља.	158
Слика 5.44. Вриједности медијане вриједности KGE са Парето фронта.....	162
Слика 5.45. Вриједности $\epsilon_{Q_{med}}$ на сливу Вимера са најбољим резултатима са Парето фронта.....	163
Слика 5.46. Границе трансферабилности за показатеље KGE (лијево) и $\epsilon_{Q_{95}}$ (десно) у вишекритеријумској оптимизацији.....	164
Слика 5.47. Vox&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију RSR+WBE.	165
Слика 5.48. Vox&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију RSR+WBE +IAFD.....	165
Слика 5.49. Варијабилност Парето-оптималних параметара у свим калибрационим периодима.....	166
Слика 5.50. Осјетљивост компоненте запремине подземне воде на калибрациони период са различитим комбинацијама циљних функција.	169
Слика 5.51. Унутаргодишња расподјела протицаја симулирана са Парето-оптималним параметрима при валидацији на свим периодима са калибрационим комбинацијама NSE+BIAS (горе) и IoA+BIAS+IAFD (доле).	171
Слика 5.52. Зависност годишњих сума падавина и осмотрених и симулираних отицаја добијених са Парето-оптималним параметрима у сушном периоду P5.....	172
Слика 5.53. Упоредни хидрограми симулираних отицаја са шест метода вишемоделског осредњавања на трансферу P4/P1.....	173
Слика 5.54. Упоредни хидрограми осмотреног протицаја, добијеног симулацијама са MBXM-а и са методама вишемоделског осредњавања.	175

Слика 5.55. Упоредни хидрограми осмотреног протицаја, симулираног Budyko моделом оптимизованим са шест вишекритеријумскиџ комбинација и добијеним осредњавањем при трансферу водни/сушни, P1/P5.....	176
Слика 6.1. Вриједности KGE (на апсциси и ординати) за симулације Budyko модела на Вимера сливу у различитим потпериодима назначеним на осам.....	183

СПИСАК ТАБЕЛА

Табела 2.1. Преглед циљних функција коришћених у литератури за калибрацију мјесечних модела	19
Табела 2.2. Преглед показатеља ефикасности коришћених за евалуацију мјесечних модела у литератури.....	32
Табела 2.3. Тестови за провјеру трансферабилности хидролошких модела	35
Табела 2.4. Преглед једначина за прорачун пондерисаних вриједности (ПВ) у вишемоделском осредњавању	44
Табела 3.1. Границе вриједности параметара <i>abcd</i> модела	50
Табела 3.2. Границе вриједности параметара Будико модела.....	52
Табела 3.3. Граничне вриједности параметара GR2M модела.....	54
Табела 3.4. Граничне вриједности параметара WASMOD-а.	57
Табела 3.5. Границе вриједности параметара WatBal модела.....	59
Табела 3.6. Границе вриједности параметара Xinanjiang модела.....	63
Табела 3.7. Преглед структура МБХМ-а коришћених у истраживању	64
Табела 3.8. Комбинације циљних функција из реда статистичких показатеља коришћене при вишекритеријумској калибрацији.....	67
Табела 3.9. Преглед циљних функција из реда статистичких показатеља коришћених у вишекритеријумској оптимизацији.....	67
Табела 3.10. Статистички показатељи ефикасности модела у евалуационом оквиру.	71
Табела 3.11. Грешке хидролошких потписа као показатељи ефикасности модела при евалуацији.....	72
Табела 3.12. Преглед хидроклиматских карактеристика калибрационих периода коришћених у анализи зависности између њих и оцјењених параметара модела.....	75
Табела 4.1. Основне хидроклиматске карактеристике слива Вимера у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.....	86
Табела 4.2. Основне хидроклиматске карактеристике за ријеку Камп по калибрационим периодима према DSST протоколу.....	87
Табела 4.3. Основне хидроклиматске карактеристике слива Камп у калибрационим периодима и Тиреловом протоколу.....	90
Табела 4.4. Основне хидро-климатске карактеристике за ријеку Камп по калибрационим периодима према DSST протоколу.....	92
Табела 4.5. Основне хидроклиматске карактеристике слива Топлица у калибрационим периодима и Тиреловом протоколу.....	96
Табела 4.6. Основне хидро-климатске карактеристике за ријеку Камп по калибрационим периодима према DSST протоколу.....	96
Табела 4.7. Сумарни приказ периода за калибрацију и валидацију за одабране сливове.	97

Табела 5.1. Статистички показатељи ефикасности модела у једнокритеријумској калибрацији и Тиреловом протоколу.....	100
Табела 5.2. Минималне, максималне и средње вриједности (у загради) статистичких показатеља ефикасности у крос-валидацији на сливу Вимера.....	101
Табела 5.3. Минималне, максималне и средње вриједности (у загради) статистичких показатеља ефикасности при крос-валидацији на сливу Камп.....	102
Табела 5.4. Минималне, максималне и средње вриједности (у загради) статистичких показатеља ефикасности при крос-валидацији на сливу Топлице.....	103
Табела 5.5. Процент успјешних калибрација и валидација на сливу ријеке Вимера....	108
Табела 5.6. Процент успјешних трансфера на сливу ријеке Камп.....	108
Табела 5.7. Процент успјешних трансфера на сливу ријеке Топлица.....	109
Табела 5.8. Преглед неконзистентних параметара и одговарајућих вриједности IC у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу.....	112
Табела 5.9. Проценти успјешних трансфера према вриједностима RMAD у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу.....	117
Табела 5.10. Успјешност модела при репродукцији Q-P везе у Тиреловом протоколу..	122
Табела 5.11. Рангирање модела у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу (1-најбољи, 6-најлошији).....	125
Табела 5.12. Вриједности показатеља ефикасности модела у једнокритеријумској калибрацији и DSST протоколу.....	126
Табела 5.13. Минималне, максималне и средње вриједности статистичких показатеља у DSST протоколу на сливу Вимера.....	127
Табела 5.14. Минималне, максималне и средње вриједности статистичких показатеља ефикасности у DSST протоколу на сливу Камп.....	128
Табела 5.15. Минималне, максималне и средње вриједности статистичких показатеља ефикасности при DSST на сливу Топлице.....	129
Табела 5.16. Процент успјешних трансфера у DSST протоколу на сливу ријеке Вимера.....	134
Табела 5.17. Процент успјешних трансфера у DSST протоколу на сливу ријеке Камп.....	134
Табела 5.18. Процент успјешних трансфера у DSST протоколу на сливу ријеке Топлица.....	135
Табела 5.19. Преглед варијабилних параметара у односу на различите калибрационе периоде DSST протокола.....	137
Табела 5.20. Проценти успјешних трансфера према конзистентности компоненти водног биланса за све сливове и DSST протокол.....	144
Табела 5.21. Успјешност модела при репродукцији Q-P везе у DSST протоколу.....	149
Табела 5.22. Рангирање модела у једнокритеријумској оптимизацији и DSST протоколу (1-најбољи, 6-најлошији).....	151
Табела 5.23. Вриједности коефицијента корелације између симулираних компоненти водног биланса и резидуала на примјеру слива Вимера.....	152

Табела 5.24. Вриједности коефицијента корелације између симулираних компоненти водног биланса и резидуала на сливу Камп.....	154
Табела 5.25. Вриједности коефицијента корелације између симулираних компоненти водног биланса и резидуала на сливу Топлица.....	155
Табела 5.26. Усвојене комбинације циљних функција за вишекритеријумску оптимизацију.....	159
Табела 5.27. Преглед минималних, максималних и вриједности медијане KGE за све вишекритеријумске комбинације.....	159
Табела 5.28. Вриједности медијане ϵ_{IAFD} у калибрацији са свим вишекритеријумским комбинацијама.....	160
Табела 5.29. Процент успјешних трансфера према медијанама статистичких показатеља и потписа на сливу Вимере за шест одабраних комбинација ЦФ-ја.....	161
Табела 5.30. IC вриједности као мјера варијабилности параметара услијед калибрације на различитим периодима.....	166
Табела 5.31. Спирманови коефицијенти корелације између Парето-оптималних параметара и хидроклиматских показатеља калибрационог периода.....	167
Табела 5.32. Вриједности SR_{rel} за компоненте водног биланса у вишекритеријумској оптимизацији.....	170
Табела 5.33. Поређење ефикасности метода вишемоделских осредњавања и ефикасности добијене са појединачним МБХМ-а на сливу Вимера у трансферу P4/P1.....	174
Табела 5.34. Поређење ефикасности метода вишемоделских осредњавања и ефикасности добијене са појединачним МБХМ-а на сливу Вимера и трансферу P1/P5.....	174
Табела 5.35. Поређење ефикасности метода вишемоделских осредњавања и ефикасности добијене са Vuduко моделом у вишекритеријумској оптимизацији при трансферу P1/P5.....	177

1 УВОД

1.1 Општи увод и мотивација

Промјене у хидрологији и друштву су посљедњих година постале изузетно важна тема. Међународно удружење за хидролошке науке (енгл. *International Association for Hydrological Sciences*, IAHS) је период 2013-2022 посветио управо овој теми, називајући га декадом „Panta Rhei – Everything flows“ (Montanari *и остали* 2013) односно „*све тече*“. Практични циљ је побољшање у прогнозама и предикцијама водних ресурса чија динамика је од изузетног значаја.

Нестационарност у хидролошким процесима, која може да настане услјед климатских промјена, начина коришћења земљишта и сл., треба бити укључена у процес анализе и употребе хидролошких модела. Идеално, модели би требали да дају вјеродостојне симулације без обзира на карактеристике периода симулације. Међутим, досадашња истраживања показују да тренутне генерације хидролошких модела нису у стању ефикасно симулирати отицаје у периодима са различитим хидроклиматским карактеристикама у односу на калибрациони период (Klemeš 1986, Andréassian *и остали* 2009, Merz *и остали* 2011, Тодоровић и Плавшић 2016). Другим ријечима, модел калибрисан у периоду са одређеним карактеристикама треба користити само на периодима са сличним карактеристикама.

Овај закључак не погодује примјени хидролошких модела, нпр. у анализи утицаја климатских промјена на водне ресурсе, јер се од њих у оваквим ситуацијама тражи управо поуздана симулација у контрастним климатским периодима. Из тог разлога, у посљедњој деценији је произашло неколико протокола за калибрацију и евалуацију модела а у циљу бољег разумијевања њиховог понашања у нестационарним условима и евентуалног проналаска рјешења овог проблема (Vaze *и остали* 2010, Coron *и остали* 2012, Li *и остали* 2012, Osuch *и остали* 2015, Thirel *и остали* 2015, Fowler *и остали* 2016, 2018).

Ипак, ријетки су примјери радова гдје су мјесечни билансни хидролошки модели (МБХМ) тестирани у овом контексту (осим нпр. Xu 1999b, Hughes 2015) иако је њихова употреба у пракси веома широка (нпр. за попуњавање низова средњих мјесечних отицаја, анализу водног биланса на сливу или региону за водопривредне потребе, процјену утицаја климатских промјена, као алат за процјену појединих хидролошких компоненти од интереса).

Мотивација за бављење МБХМ-а су проблеми који се јављају у анализама утицаја климатских промјена на водне ресурсе гдје се до хидролошких пројекција долази примјеном хидролошких модела са климатским пројекцијама (обично падавина и температура). У овој примјени, од мјесечних билансних модела се очекују ефикасне симулације што је неопходно истражити.

Предности модела са мјесечним временским кораком у односу на краће су вишеструке: лакше је руковати мјесечним подацима, трајање симулација је знатно краће, у регионима са неконинуалним осматрањима и неизвјесним квалитетом података мјесечне вриједности су поузданије, грешке које се праве просторним осредњавањем података (нпр. падавине) су много мање код модела са дужим временским кораком, ефикасност модела је већа са симулацијама на мјесечном у односу на дневни или годишњи временски корак, а за потребе прорачуна средњих мјесечних протицаја (што је обично случај у водопривредним анализама и за анализе утицаја климатских

промјена) предност се даје мјесечним моделима у односу на дневне због бољих резултата (Zhang, Potter, *и остали* 2008).

Предност примјене МБХМ се огледа и у знатно мањем броју параметара које је потребно процијенити у односу на већину концептуалних модела који раде са дневним подацима. Ово је важно са аспекта калибрације модела, када се траже „оптималне“ вриједности великог броја параметара у односу на најчешће само једну осмотрену величину (проток). Неколико ранијих студија истиче да се само 4 до 6 параметара модела може оптимизовати из расположивих спољних промјенљивих (падавине, протицаји) те да повећана комплексност модела не води обавезно побољшаним перформансама (нпр. Jakeman and Hornberger, 1993; Perrin, Michel and Andréassian, 2003).

МБХМ-и нису детаљно истраживани у смислу утицаја калибрационе стратегије на резултате модела, евалуације трансферабилности модела на различите периоде, погодности појединих показатеља ефикасности за ове моделе, идентификабилности и временске стабилности параметара, ефикасности модела у репродуковању компоненти водног биланса као и дијагностике саме структуре модела. Иако постоји много истраживања на ову тему на моделима са већом резолуцијом (дневне, часовне), не може се са сигурношћу тврдити да закључци изведени за нпр. дневне моделе важе за мјесечне.

Обзиром да су МБХМ-и од изузетног значаја за водопривреду, веома је важно одредити границе и могућности њихове примјене (кроз евалуацију), услове правилног тренирања модела при којима ће ефикасност бити побољшана (кроз калибрацију) и изградити препоруке за њихову примјену или побољшање њихових перформанси.

1.2 Дефинисање проблема и циљева истраживања

Главни проблем истраживања је чињеница да хидролошки модели нису у стању ефикасно симулирати отицаје у периодима са различитим хидроклиматским карактеристикама у односу на калибрациони период. Специфични проблеми се односе на одређивање адекватне калибрационе стратегије и методологије за евалуацију примјенљивости модела у климатски промјенљивим условима тј. за процјену њихове трансферабилности. Овдје се под калибрационом стратегијом подразумијева избор периода за калибрацију и валидацију, избор и број циљних функција са којима се модели оптимизују.

Ово истраживање се фокусира на анализу понашања и примјенљивости мјесечних билансних хидролошких модела у условима промјенљиве климе. Такође, анализирају се могући разлози за лошу трансферабилност у периодима са различитим климатским условима као и могућности за побољшање резултата ових модела односно њихових прогноза.

Према претходном, основне хипотезе које ће се тестирати у дисертацији су сљедеће:

- 1) МБХМ могу да репродукују осмотрени водни биланс у промјенљивим климатским условима.
- 2) Ефикасност МБХМ-а зависи од њихове структуре (начина прорачуна хидролошких компоненти) и та веза је конзистентна на више различитих сликова.
- 3) Ефикасност МБХМ-а зависи од примјењене калибрационе стратегије. Вишекритеријумска даје боље резултате од једнокритеријумске калибрације те калибрација са укљученим хидролошким потписима као оптимизационим

функцијама даје боље резултате него кад су оптимизационе функције само из реда статистичких показатеља.

- 4) Резултати више-моделских осредњавања су бољи од резултата (сваког) појединачног анализираног модела.

Ова питања ће бити истражена кроз сљедеће задатке истраживања:

- Дефинисање методологије за ригорозно тестирање МБХМа за примјену у условима промјене климе.
- Оцјена ефикасности и одабир модела који дају најпоузданије симулације у промјенљивим климатским условима и анализа везе између ефикасности и структуре модела.
- Поређење ефикасности модела добијених из различитих комбинација критеријумских функција (укључујући једно- и више-критеријумску калибрацију).
- Формирање ансамбла модела и примјена метода за вишемоделско осредњавање.
- Доношење закључака о примјенљивости МБХМ-а у промјенљивим климатским условима и препорука за даљи развој МБХМ-а како би се добиле ефикасније и конзистентније хидролошке симулације у оваквим условима.

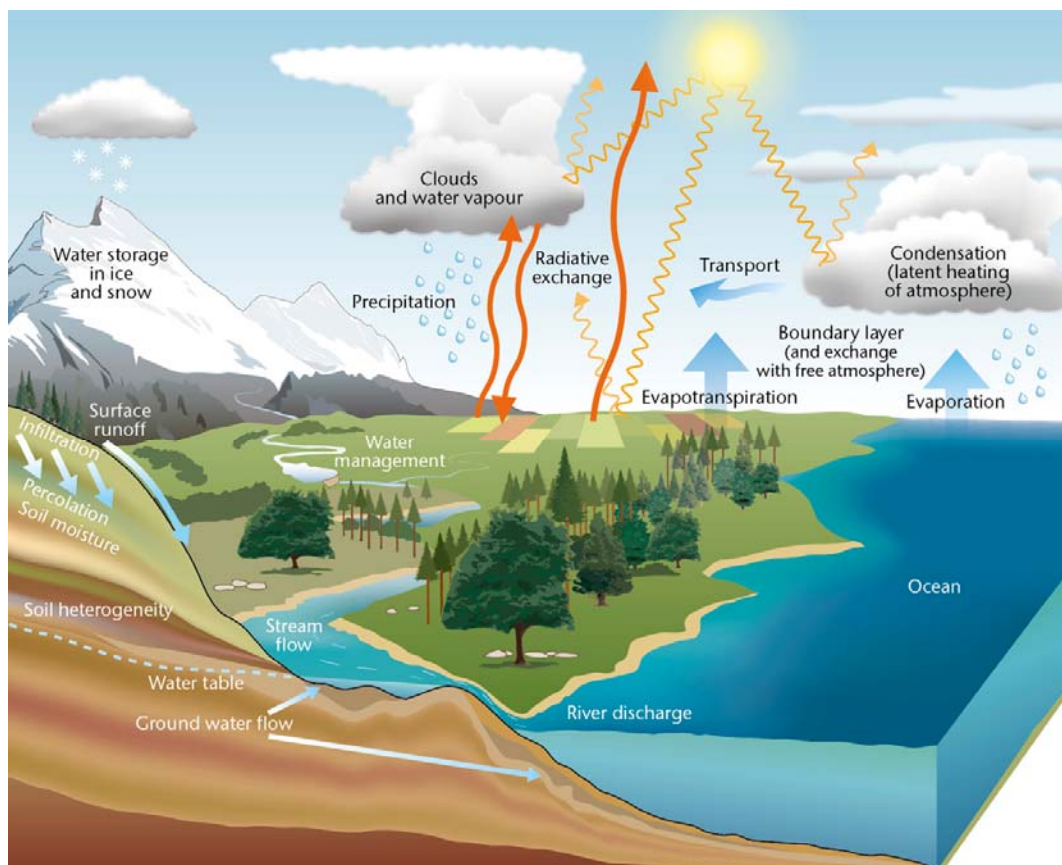
1.3 Преглед структуре докторске дисертације

Након општег увода и дефинисања проблема и циљева истраживања, у наредном поглављу даје се преглед литературе о хидролошком моделирању у контексту МБХМ-а. У поглављу 3 представљена је методологија рада и истраживања у циљу тестирања горе наведених хипотеза односно извршења задатака ове докторске дисертације. У поглављу 4 описани су сливови на којима су вршене симулације модела. Поглавље 5 садржи резултате спроведених анализа дефинисаних у методологији. У поглављу 6 сумирани су резултати из претходног поглавља те дискутовани у контексту постављених хипотеза. Посљедње поглавље 7 даје опште закључке и препоруке о примјени и развоју МБХМ-а у условима промјенљиве климе.

2 ПРЕГЛЕД ЛИТЕРАТУРЕ О ХИДРОЛОШКОМ МОДЕЛИРАЊУ У КОНТЕКСТУ МБХМ-А

2.1 Хидролошки циклус, хидролошки (водни) биланс и компоненте биланса

Хидролошки циклус подразумеује природни процес кружења воде у природи, односно у систему Земљиног омотача. Сматра се да је покретач овог процеса сунчево зрачење те да циклус почиње са евапорацијом воде из океана (Zhang и остали 2002).



Слика 2.1. Шематски приказ хидролошког циклуса (преузето са странице <https://www.metoffice.gov.uk/learning/weather-for-kids/water-cycle>)

Испарења одлазе у атмосферу одакле се, под одређеним околностима, на површину враћају у облику падавина. Дио падавина ће постати директни отицај у водотоке, један дио ће задржати вегетација одакле ће поново испарити у атмосферу, један дио ће се инфилтрирати у земљиште одакле ће дјелимично испарити директно из тла а дјелимично преко биљака које ће искорисити дио воде за себе. Дио воде из падавина које се инфилтрирају у тло ће се проциједити у подземне аквифере гдје се складиште док се не стекну услови за њихово отпуштање у виду базног отицаја. Шематски приказ водног биланса је приказан на Слици 1.

Укупне количине воде у хидролошком циклусу остају непромијењене, само се њихов однос мијења. Одатле и водни биланс као математичка формулација овог одржања масе. Водни биланс, у свом најједноставнијем облику, се најчешће приказује једначином континуитета у којој су главне компоненте залихе воде у тлу S , падавине P , запремине воде које остају у подземним резервоарима G , отицај Q и губици на евапорацију/испаривање и транспирацију/вегетативно испаривање (евапотранспирација ET). Конзервација масе се приказује за одређени временски интервал између тренутака t_1 и t_2 те једначина гласи:

$$\Delta S = S(t_2) - S(t_1) = P - Q - ET - G \quad (2.1)$$

гдје су P , Q , ET , G средње вриједности у интервалу Δt . У горњем облику једначине, било која од компоненти може да се нађе са лијеве стране једначине, у зависности које компоненте су познате а које се желе срачунати.

На годишњем нивоу, промјена запремине у тлу се може занемарити и тада се обично уводи дефицит протицаја дефинисан као $D = P - Q$ који је у том случају једнак вриједности ET .

Варијабле које фигуришу у горе датој једначини (2.1) се називају компонентама водног биланса и познавање њихових величина је од изузетног значаја за потребе водопривреде. Да би се затворио водни биланс, потребно је измјерити или срачунати сваку од наведених компоненти. Обзиром на грешке које могу да се учине при мјерењима и прорачунима, једначина (2.1) неће бити избалансирана те се са десне стране уводи вриједност Δ која представља величину грешке добијене при билансирању компоненти (UNESCO 1974).

2.2 Хидролошко моделирање

Под хидролошким моделирањем подразумијева се процес симулирања везе падавине-отицај који се састоји од неколико важних корака. Овај процес почиње *перцепцијом* моделара о томе како слив одговара на падавине под различитим условима (Beven 2012). На основу овога, прави се *концепт* модела и додијељују се једначине за прорачун одабраних компоненти. *Иницијализација модела* подразумијева исписивање једначина модела у виду компјутерског кода у скриптама чијим покретањем покрећемо симулацију модела. Кроз *калибрацију*, модел се условљава одређеним захтјевима, нпр. да грешка симулираних протицаја у односу на осмотрене буде минимална на основу чега произилазе оптималне вриједности параметара модела. Ваљаност овако кондиционираног модела се провјерава кроз процес *валидације* односно симулацијама на једном или више периода ван калибрационог периода. Посљедњи корак је назван *евалуација модела* иако се у литератури ово поистовјећује са валидацијом. Овдје се под евалуацијом мисли на шири оквир у коме се модел не само оцјењује према ефикасности у ван-калибрационим периодима већ му се задају и минимални услови по питању више различитих хипотеза које би морао испунити да би се сматрао успјешним. Шематски приказ процеса хидролошког моделирања дат је на слици 2.2.



Слика 2.2. Шематски приказ процеса хидролошког моделирања (адаптирано према Beven, 2012).

2.3 Перцепција хидролошких модела

Хидролошки процеси на сливу су довољно комплексни да сваки аутор може изложити своју перцепцију главних процеса а тиме и идеју како их концептуализовати у хидролошком моделу (Beven 2012). Први радови на тему генерисања отицаја су проучавали инфилтрацију, као битан елемент раздвајања количине пале воде у виду падавина на површинске и потповршинске и подземне процесе. Један од првих радова чије теорије се и данас користе је Грин и Ампт (Green and Ampt 1911) који су предложили израз за прорачун инфилтрације. Данас се он сматра поједностављеном Дарси-Ричардс једначином (Beven 2004). Хортон (Horton 1933) се није слагао са овим јер је сматрао да претпоставка која се овдје чини о бесконачном капацитету инфилтрације на почетку падавина није тачна нити физички реална. Према Хортону, капацитет инфилтрације, осим у зависности од врсте тла и покривача, се мијења у зависности од стадијума падавине, нпр. почетак, врхунац (максимални интензитет) и крај, као и од годишњег доба. Како се тло суши и влажи, брзина инфилтрације ће такође бити промјенљива, али главна окосница његове теорије је управо капацитет инфилтрације

односно вриједност након које тло више неће упијати воду већ ће се иста генерисати као површински отицај. Такође је тврдио да макропоре и ваздух у њима значајно утичу на капацитет инфилтрације.

Пратећи Бевену (Beven, 2006) компилацију најважнијих радова из области процеса генерисања отицаја, важан допринос дају резултати са експерименталног слива Алранс (Carrus 1960). Главни резултати ове студије показују постојање коефицијента отицаја и коефицијента подземног отицаја у одсуству ЕТ који повезују количину падавина са запремином отекле воде и количину падавина са запремином воде која се инфилтрира у подземље (урачунавајући ЕТ, вода која се придружује подземном резервоару). Оба ова коефицијента су зависна од нивоа подземне воде на почетку падавина, донекле зависна од количине падавина и потпуно независна од интензитета падавина, влажности тла у незасићеној зони, вегетацији и ЕТ. Аутори су приписали ове резултате специфичностима експерименталног слива (мала дубина до нивоа подземне воде, клима и вегетација) и предложили коришћење ових резултата само на сливовима сличним њиховом експерименталном сливу.

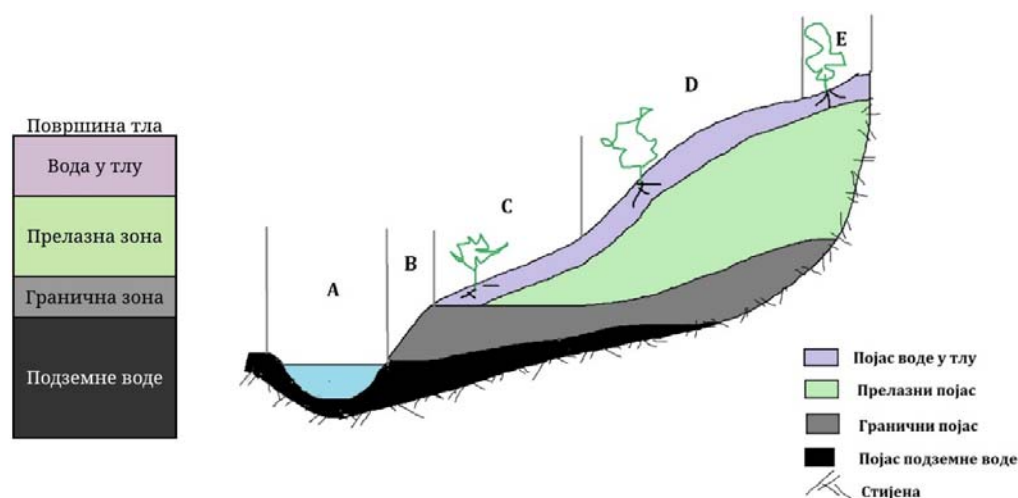
Tsukamoto (1963) је на експерименталном сливу у Јапану такође осматрао генерисање отицаја. Слив је у вертикалном смислу подијелио на 4 појаса односно 5 зона у профилу слива (Слика 2.3). Крива зависности између падавина и количине подземних вода је послужила за дефинисање везе падавине-отицај за 7 различитих временских класа, нпр. април-мај-јун, август-септ.-окт, март, итд., што на неки начин представља једноставан емпиријски хидролошки модел овог слива. Закључак је да се највећи дио отицаја генерише из зона А, В и С а само дјелимично из D и Е.

У посљедњих 30-40 година, еколошке или хемијске супстанце су коришћене да би се пратио пут воде од тренутка када киша падне на тло па док се не појави као отицај у водотоку односно на осмотреном хидрограму. Ова истраживања су пружила значајне информације о генерисању отицаја. Најважнији закључак је да у водним подручјима важан дио хидрограма отицаја чини „стара“ вода ускладиштена у подземљу а врло мало директни отицај услјед кише (Beven 2012). Грана подизања хидрограма је често сачињена од воде прије кишне епизоде што значи да замјена воде у подземљу (ускладиштену потискује нова услјед кише) иде много брже него се мислило (Kirchner 2003).

С друге стране, у аридним подручјима гдје је основни покретач протицаја киша услјед ниског нивоа подземних вода, основни механизам отицаја је услјед вишка инфилтрације (када интензитет кише превазиђе капацитет инфилтрације) и услјед вишка упијања (када количина ефективне кише превазиђе капацитет влажности тла) (Jarihani *и остали* 2017).

Да би се покренуо отицај, влажност тла мора да достигне одређену границу (Tarboton 2003). Сличан механизам граничне вриједности је установљен између дубине до нивоа подземне воде (мјерено од површине тла) и отицаја; отицај се формира када се дубина до подземне воде смањи на одређену граничну вриједност. Ово важи за локације ближе ријечном кориту (нпр. до 40m) док за веће удаљености зависност ове двије величине се губи (Seibert, Bishop, *и остали* 2003).

Troch *и остали* (2013) су закључили да постоји интеракција између климе, вегетације и земљишта која води до специфичне расподеле количина воде на хидролошке компоненте биланса тестирајући Будико хипотезу (расположива количина воде и енергије контролишу расподелу воде у водном билансу). Пронашли су јаку везу између климатских карактеристика на сливу и времена потребног води ускладиштеној у подземљу да постане базни отицај.



Појас	Зона из профила тла	Локалитет	Резервоар
A	Подземне воде	Површина канала	Појас подземних вода
B	Гранична зона Подземне воде	Подручја у близини водотока	
C	Вода у тлу Гранична зона Подземне воде	Подручја до појаса B	Појас воде у тлу и појас подземних вода који задржава остатке
D	Вода у тлу Прелазна зона Гранична зона Подземне воде	Подножја и средњи дијелови планинских падина	ускладиштене воде
E	Вода у тлу Прелазна зона	Горњи дијелови планинских падина	

Слика 2.3. Зоне и појасеви у вертикалном профили тла (према Tsukamoto, 1963).

Kirchner (2009) је истакао да постоји јединствена веза између расположиве запремине воде у тлу и отицаја са слива. Осјетљивост слива на промјену ових запремина може да се изрази у виду функције (линеарне, експоненцијалне, хиперболичне – зависи од слива) која даје везу између запремине воде у тлу и отицаја. Увођењем ове јединствене функције у диференцијалну једначину првог реда (која представља комбинацију једначине водног биланса и претпоставке да отицај зависи само од расположиве запремине воде на сливу) Kirchner је добио резултате једнако добре као што се добију из комплексних модела са великим бројем параметара. Што је најбитније, параметри овог једноставног модела су конзистентни током година са различитим климатским условима а његове перформансе у независним периодима (ван калибрационог) су сличне као у калибрационом.

Идеју да су сливови једноставни динамички системи потврдили су Teuling и остали (2010) показавши на примјеру слива у Швајцарској да је отицај доминантно нелинеарна функција запремине воде у тлу (садржаја влажности). На тестираном сливу, евапотранспирација је 21% времена главни разлог промјена у отицају што се слаже са осталим истраживањима (нпр. Koster and Mahanama 2012). Са друге стране, ЕТ зависи од садржаја воде у тлу што поново потврђује теорију изложену у Kirchner (2009).

До сличног закључка о зависности отицаја од садржаја воде у тлу су нешто раније дошли и Atkinson и остали (2002) тестирајући неколико сливова на Новом Зеланду на

годишњем, мјесечном и дневном нивоу. Према њиховим резултатима, капацитет тла да прими воду има доминантан утицај на варијабилност отицаја у свим временским оквирима. Параметри једноставног билансног модела имају веома мали утицај на величину отицаја на свим тестираним временским нивоима.

Генерално, у процесу отицања слив се сматра мрежом међусобно повезаних запремина воде (тзв. резервоари) кроз које нето падавине, након *евапотранспирације*, *интерцепције* и *локалних задржавања на површини тла*, пролазе попуњавајући ове запремине према њиховим тренутним капацитетима (Dunne 1978, Jain *и остали* 2013). Отицај у наведеном процесу путем *инфилтрације* попуњава незасићену зону тла одакле *перколацијом* допуњава подземне резервоаре или отиче ка водотоку хоризонтално (латерално) као *међудотицај*. Брзина и количина инфилтрације зависи од интензитета кише и капацитета тла. *Површински отицај* настаје у два случаја: када интензитет падавина превазилази капацитет инфилтрације тла (вишак инфилтрације) или када се тло потпуно засити до свог максималног капацитета влажности (вишак засићења). Површински и *потповршински отицај*, који се одвија у горњим слојевима тла, заједно чине брзи или директни отицај који се одвија у краћем временском периоду (сати, дани). У безкишним периодима (у периодима када нема улазне воде у систем слива), вода из горњег резервоара перколацијом допуњава подземље и додаје се запремини воде у аквиферима одакле се формира *базни отицај*. Овај отицај је много спорији и стиже до водотока након неколико седмица, мјесеци или чак година. Количине воде које стижу у подземље, било у току падавина услијед засићења тла или између кишних епизода перколацијом из водне зоне тла, називају се *допуна или прихрањивање подземља*. Овој количини може да се дода и дотицај из водотока који се дешава када је ниво подземне воде нижи од нивоа воде у водотоку.

Ниво подземне воде представља границу испод које је тло потпуно засићено водом а изнад ње је незасићено. Овај ниво није константан и мијења се у зависности подручја, нпр. аридна или водна као и од падавина.

Поред ових главних процеса, постоје још неки попут *капиларног пењања* воде из засићене у незасићену зону, или *повратног течења* када потповршински отицај изађе на површину и придружи се површинском. Међутим, ријетко су ови процеси укључени у хидролошки модел.

У МБХМ-а углавном фигуришу основни процеси попут евапотранспирације, инфилтрације односно допуне подземља, површинског-брзог и подземног-спорог-базног отицаја. Поједини модели рачунају са интерцепцијом и локалним задржавањем на површини путем рачунања нето падавина (нпр. Yates, 1996), међуотицајем (Guo 1995), потповршинским течењем (нпр. Guo, 1995; Yates, 1996; Xia *и остали*, 1997; Wang, Xia и Chen, 2009), отицајем изазваним снијегом (нпр. Wang *и остали*, 2014) или дубоком перколацијом и допуном из водотока (нпр. van der Beken и Byloos, 1977). С друге стране постоје и модели са веома поједностављеном перцепцијом у којој постоје само ET и укупан отицај (нпр. Thornthwaite and Mather 1955, Alley 1984, Arnell 1992, Conway 1997, Xiong and Guo 1999, Guo *и остали* 2001).

2.4 Концептуализација хидролошких модела

У зависности од захтјева који се постављају од хидролошког модела, исти се може различито конципирати. Генералан концепт модела подразумева одлуку да ли ће модел бити дистрибуиран или концентрисани на цијели слив или ће бити детерминистички или стохастички. У овој дисертацији су од интереса искључиво

концентрисани детерминистички концептуални модели у којима су величине дефинисане осредњено по сливу и временској јединици од једног мјесеца.

У концептуализацији модела, од великог значаја су једначине за прорачун односно математичка позадина хидролошких процеса који су одабрани у перцепцији модела. Једном кад се дефинишу варијабле стања (енгл. *state variables*) потребно је формулисати начин на који ће их модел рачунати при симулацијама. Нпр. у МБХМ-а варијабле стања обично подразумевају стварну ET , запремину воде у тлу, запремину воде у подземним резервоарима, базни и директни отицај и евентуално инфилтрација. Различита формулација (математички израз за прорачун) ових варијабли може довести до побољшања или погоршања резултата модела што може значити да (бар за анализирани сливови и моделе) неке формуле боље описују стварни процес (нпр. Alley, 1984; Xu и остали, 1996; Sankarasubramanian и Vogel, 2002; Xu, 2002b; Hughes, 2004 у мјесечним моделима и Perrin и остали, 2003; Clark и остали, 2008; Van Esse и остали, 2013; Nijzink и остали, 2016 у дневним моделима).

У наредном тексту даје се преглед наведених варијабли стања и најчешћа концептуализација ових процеса у МБХМ-а. Табеле са једначинама прорачуна компоненти у МБХМ-а предложених у литератури су дате у Прилогу I.

2.4.1 Евапотранспирација

Евапотранспирација је комплексан процес испаравања воде са водних тијела и земљиног покривача под утицајем стања вегетације, земљиног покривача, соларне радијације, влажности, температуре и вјетра. Сматра се да је транспирација већи дио ET (Allen и остали 1998). У прорачуну водног биланса, постоје двије формулације ET и то стварна ET и референтна ET , најчешће навођена као потенцијална, што се према неким ауторима сматра погрешним (Allen и остали 2005). Стварна ET је количина испарења у датим условима тла, климе и вегетације док је референтна евапотранспирација (PET) срачуната количина испарења у датим климатским условима и дефинисаним покривачем тла униформно распоређеним по површини (нпр. трава). Референтна ET , као што само име говори, рефлектује расположиву количину енергије за испарење воде. Углавном се сматра да је ET једнако PET када има вишак воде на располагању (за испарење).

У хидролошким моделима, PET је углавном један од главних улазних података док је стварна ET један од излаза из модела. Постоји много метода прорачуна PET развијених за различита климатска подручја. Како је при коришћењу ових метода од највећег интереса одредити поузданост и тачност резултата које оне дају (Burnash 1995), велики број аутора је вршио поређења више метода на више сливова (нпр. Vörösmarty, Federer and Schloss, 1998; Salazar and Poveda, 2006; Tukimat, Harun and Shahid, 2012) у циљу добијања препорука за оптималну методу.

Вриједности PET могу да се добију (UNESCO 1974):

- (a) Мјерењима,
- (b) Из једначине водног биланса,
- (c) Из биланса енергије (тополоте),
- (d) Аеродинамичким методама,
- (e) Емпиријским формулама.

Методе (a), (c) и (d) захтијевају неку врсту инсталиране опреме и осматрања (нпр. посуда за директно мјерење евапорације: измјерене вриједности се множе са одређеним коефицијентом да би се добила вриједност испаравања, мјерења густине и

латентне топлоте испарене воде, мјерење брзине вјетра и влажности ваздуха на различитим висинама, и сл.). Метода (b) је погодна само уколико су познате величине осталих компоненти биланса што је ријетко случај, па се у практичној примјени најчешће налазе емпиријске формуле.

Емпиријске формуле могу бити: (1) базиране на трансферу масе односно опште аеродинамичне и (2) базиране на климатолошким подацима, обично користећи приближна рјешења једначина водног и енергетског биланса (UNESCO 1974). У групи (2) разликују се методе базиране само на температури ваздуха, на сунчевом зрачењу и комбиноване методе.

Према истраживањима, метода *Penman-Monteith* (модификована једначина Пенмана; Monteith, 1964) даје најреалније процјене вриједности *PET* и сматра се уједно и најпоузданијом методом (Allen *и остали* 1998, 2006, Sentelhas *и остали* 2010). Ова комбинована метода се састоји од једначина биланса енергије и аеродинамичног транспорта. Мана јој је велики број параметара и улазних података потребних за прорачун. Да би се смањио утицај осматраних вриједности на резултате, уведена је замјенска Пристли-Тејлор једначина (Priestley and Taylor 1972) укидањем аеродинамичне компоненте из *Penman-Monteith* једначине и увођењем емпиријски одређене константе са којом је од улазних података сада потребна само радијација.

Мохан и Arumugam (1996) су у свом раду закључили да највећи утицај на срачунату вриједност *ET* има релативна влажност, температура и брзина вјетра (овим редослиједом) док много мањи утицај имају падавине и осунчаност. Водећи се овим, при избору методе за прорачун *ET*, предност треба дати методама које у прорачуну укључују ове три промјенљиве. Остале студије предлажу методе базиране на радијацији (нпр. *Makkink* метод, *Turc* и *Prestley-Taylor*) док су методе базиране на температури (нпр. *Thorntwaite* метод) погодне за пројекцију промјене *ET* у условима промјене климе (Tukimat *и остали* 2012); Salazar и Poveda (2006) су као најпогодније оцијенили *Choudhury* и *Turc* док се на листи задовољавајућих при поређењима више метода наша и једноставна *Hamon* метода (Vörösmarty *и остали* 1998). Међутим, Heydari *и остали* (2014) су анализирали 38 различитих метода за прорачун *PET* те утврдили да методе базиране на температури дају најбоље резултате у аридним подручјима (видјети Heydari *и остали*, 2014; страна 1993). Такође, Xu and Singh (2001) су поредили 7 метода базираних на температури и закључили да *Blaney-Criddle* и *Hargreaves* једначина даје најбоље резултате док се *Thorntwaite* и *Hamon* методама праве највеће грешке, углавном подцијењујући вриједности.

У хидролошком моделима користе се различити изрази за прорачун стварне *ET*: од комплексних метода као што су *Penman-Monteith* до једноставних функција које углавном зависе од претходно срачунате *PET*. У концептуалним МБХМ-а стварна *ET* је скоро увијек функција *PET* и влажности тла. Преглед израза за прорачун стварне *ET* који се користе у МБХМ-а је дат у Прилогу I. У табели су поред претходно описаних врста метода приказане и методе комплементарне везе стварне *ET* и *PET*, приступ предложен од стране Bouchet (1963). Од ових метода, неколико студија је показало да најбоље резултате даје метод који је дефинисао Morton (1983) (нпр. Xu and Singh, 2005; Vanimahd *и остали*, 2015). Такође, McMahon *и остали* (2013) једино ову методу сматрају прихватљивом за коришћење у мјесечним билансним моделима.

2.4.2 Запремина воде у тлу – влажност тла

Залихе воде у тлу или влажност тла у хидролошком циклусу представља резервоар односно одређену запремину која утиче на отицај, *ET* и допуну подземних резервоара.

Теоретски гледано, влажност тла може да има вриједност од нула до вриједности порозности тла η , једнакој односу запремине пора у тлу и запремине тла. У пракси, минимална влажност је позитивна углавном због чињенице да биљке не могу искористити влажност испод одређене вриједности (тачка венућа).

Влажност тла у мјесечним билансним моделима је обично нереално симулирана и веома различите вриједности се добијају са различитим моделима (Alley 1984, Vandewiele и остали 1992). Ова величина се углавном добија из једначине водног биланса (једначина (2.1)) након дефинисања вриједности осталих компоненти, (нпр. Thornthwaite and Mather, 1955; van der Beken and Byloos, 1977; Alley, 1984; Arnell and Nigel, 1992; Xu, Seibert and Halldin, 1996; Yates, 1996). У супротном, дефинише се као функција, најчешће експоненцијална, од *PET* и/или падавина. У овој функцији битан параметар је максимални капацитет тла који је у хидролошким моделима фиксна вриједност карактеристична за одређени слив и добија се калибрацијом. Hughes and Vaze (2015) тврде на основу осматрања нивоа подземне воде да је ова величина заправо динамичка односно треба да варира током хидролошких симулација. У сушним периодима, засићена зона (запремина воде у подземним резервоарима) се смањује а незасићена зона (количина воде у тлу) значајно увећава те је погрешно задати јој горњу границу. Неколико аутора су забиљежили побољшање ефикасности модела након увођења динамичке максималне запремине воде у тлу (Hughes и остали 2013, Westra и остали 2014). У Прилогу I дате су једначине за прорачун количине воде у тлу које фигуришу у МБХМ-а.

2.4.3 Запремина воде у подземним резервоарима

Подземне воде представљају запремину воде и њихово кретање у аквиферима, водоносној геолошкој јединици. Количина воде у подземљу зависи од количине воде која одлази у виду базног отицаја и капиларног пењања и која улази у систем односно допуне подземља.

Допуна или приграђивање подземља (*groundwater recharge*) је у генералном смислу вода додана подземним резервоарима (Beekman and Xu 2003). У општем смислу, представља количину воде која се инфилтрира из горњих слојева тла (перколација из незасићене зоне у засићену), као вишак влажности горњег слоја тла и која дотиче из околних водотока и аквифера. У практичној примјени, често се проблем одређивања допуне подземља поједностављује тако што се сматра да допуну чини само инфилтрација/перколација што је довољно тачно на подручјима умјерене и суве климе (Besbes and de Marsily 1984).

Велики број методологија за прорачун допуне подземља се генерално може подијелити у четири групе: (1) директна мјерења (нпр. лизиметри), (2) преко водног биланса, (3) параметарски хидролошки модели и (4) истраживачким методама уз помоћ разних супстанци којима се прати пут воде (Simmers 1997).

Најједноставнији метод за прорачун количине воде која пристиже у подземне резервоаре је емпиријска зависност допуне и падавина у облику:

$$R = k_1 (P - k_2) \quad (2.2)$$

Гдје су k_1 и k_2 коефицијенти који се одређују за сваки слив посебно и не могу се преносити на друге сливове (Hendrickx 1997). Обзиром да је доказано да не постоји јединствена веза падавина и допуне подземних вода, једначина (2.2) не би требала да се користи при моделирању.

У параметарским хидролошким моделима R се рачуна преко једног или више серијски повезаних линеарних резервоара или преко неке друге функције трансфера за инфилтрацију у засићену зону. Vesbes и de Marsily (1984) су предложили сљедећу једначину, под претпоставком о линеарној зависности инфилтрације и допуне:

$$r(t) = \int_0^{\infty} p(t-\tau)\psi(\tau)d\tau \quad (2.3)$$

Гдје је $r(t)$ допуна као функција времена t , p ефективне падавине или инфилтрација, $\psi(t)$ линеарна функција трансфера или јединични хидрограм. Функција трансфера инфилтрације у подземље може да се апроксимира двопараметарском гама функцијом.

Напредне методе одређивања допуне подземља подразумевају нумеричко моделирање гдје су водеће једначине прорачуна протицаја у незасићеним срединама попут Дарсијевог закона и Ричардсове једначине (Scanlon и остали, 2002). Међутим, обзиром на комплексност и велики број потребних улазних података и параметара ових модела, ријетко се користе у хидролошким моделима (осим у физички базираним) док у МБХМ-а никако.

При одлуци о методи за прорачун допуне подземља треба имати у виду факторе који највише утичу на ову величину, а то су падавине и PET као и коришћење земљишта и покривач (Моһан и остали 2018).

У Прилогу I дати су изрази за прорачун допуне подземља и количине воде у подземљу који се користе у МБХМ. Поред тога, у другом дијелу табеле дати су неки обећавајући изрази (у смислу ваљаности процјене допуне подземља) који би можда могли побољшати резултате МБХМ-а.

2.4.4 Отицај. Директни и базни отицај

У хидротехничкој пракси, отицај је величина од највећег интереса због димензионисања хидротехничких објеката и система. Отицај са хидролошког слива је условљен тренутним стањем и интеракцијом између падавина, покривача тла, типом коришћења земљишта и врсте земљишта односно хидрауличким карактеристикама (Roger и Goodrich 2005).

У водном билансу, укупан отицај је збир директног и базног протицаја или брзог и спорог. У подручјима са нижим температурама ваздуха, укупном отицају се додаје и отицај формиран услијед топљења снијега.

Директни отицај може да буде површински и потповршински. Површински отицај путује по површини и генерисан је механизмом вишка инфилтрације (Хортонов површински отицај) или услијед вишка након засићења тла (Дунов и Блаков површински отицај) (Freeze 1974). У већини случајева, ово је доминантна компонента директног отицаја, реализује се доста брзо дајући стрмију растућу грану хидрограма, што зависи од покривача земљишта. Потповршински отицај се реализује спорије од директног. У литератури се често назива међудотицај (енг. *interflow*), бочни дотицај (енг. *lateral flow*) или отицај у површинском слоју тла. Некада се сматрало да се овај отицај линеарно мијења са промјеном јачине падавина (нпр. Hewlett and Hibbert, 1967) док се у посљедњих 15-ак година почиње увиђати да је ова веза нелинеарна (нпр. McDonnell, 2003); барем до одређене границе падавина када она постаје линеарна изазивајући значајније количине потповршинског отицаја (видјети преглед у Weiler и остали, 2005, стр. 1726-1728). У зависности од карактеристика површинског слоја

земљишта, потповршински отицај може успорити директни отицај односно продужити трајање растуће гране хидрограма и обрнуто (Musy and Higy 2011).

Дио воде која није формирала директни отицај се перколацијом спушта у резервоар подземних вода. Одавде, одређена количина отицаја доспијева у водотоке формирајући базни отицај. Овај процес је доста дужи у односу на директни отицај због чега је базни отицај само мали дио поплавног таласа (Musy and Higy 2011). Према неким студијама, базни отицај је веома корелисан са нивоом подземне воде и сматра се „заступником“ допуне подземља чија варијација је контролисана покривачем земљишта и дубином до нивоа подземне воде (Zomlot *и остали* 2015). У ширем смислу, количина базног отицаја ће зависити (Price 2011): од геологије слива тј. запремине подземних вода и повезаности са водотоцима, топографије терена слива у смислу градијената који одређују количине директног отицаја односно дијела воде који ће бити допуна подземном резервоару, карактеристика земљишта у смислу пропусности и способности задржавања воде, људских утицаја (попут сјече шума, урбанизације) као и комбинованих фактора.

У хидролошким моделима директни и базни отицај се углавном представљају као функција падавина, РЕТ и/или расположиве воде у тлу, односно запремине подземне воде (биланс подземних вода), респективно.

2.5 Калибрација – одређивање параметара модела

Параметри су слободни чланови у структури модела који могу да узимају различите вриједности, у зависности од моделираног слива. Генерално, параметри могу да се сврстају у физичке и процесне (Sorooshian *и остали* 2008). Физички параметри могу директно да се измјере независно од нпр. мјерених протицаја на водотоку (као што су површина слива, проценат непропусних површина, проценат вегетације или водних тијела и сл.) и овај начин одређивања параметара је *a priori* или претходно одређивање параметара. Процесни или концептуални параметри, нарочито код концептуалних хидролошких модела, се услед поједностављења механизма генерисања отицаја у моделу и просторне агрегације процеса на сливу (Renard *и остали* 2010) не могу директно мјерити већ се морају одредити индиректно (Gupta *и остали* 1998). Ово је *a posteriori* или накнадно одређивање параметара. Иако се од концептуалних параметара не може очекивати да имају физичко значење, ипак се сматра да постоји одређена веза између њих и хидроклиматских карактеристика слива (Hughes 1989, Johansson 1994, Xu 1999a).

Разликују се два приступа одређивања параметара: фреквентистички и Бајесов (Daniel *и остали* 2011). Први приступ подразумева да су параметри фиксни, оптималне вриједности добијене минимизирањем разлике између осматрених и моделираних промјенљивих. Насупрот овоме, Бајесов приступ (базиран на Бајесовој теореми; Bayes and Price, 1763) подразумева да су параметри случајне промјенљиве са постериорном расподјелом вјероватноће (прв) изведеном из претходне расподјеле и вјероватноће моделираних промјенљивих а за дате осматрене вриједности (Montgomery and Runger 2011). Оба приступа захтијевају осматрене протицаје који условљавају параметризацију модела. Фреквентистички приступ се у наредном тексту назива укратко *калибрација модела*, док је Бајесов приступ *калибрација базирана на неизвјесности* (према Razavi *и остали*, 2010) и није предмет ове дисертације.

Калибрација модела је један од значајнијих корака у хидролошком моделирању и подразумева проналазак једног или више скупова параметара са којима ће модел дати

задовољавајуће резултате како у калибрационом тако и ван калибрационог периода. Калибрација модела захтијева алгоритам претраге параметарског простора и контролну статистику или циљну (оптимизациону) функцију којом се мјери ваљаност резултата модела (Andréassian *и остали* 2012).

2.5.1 Аутоматска калибрација

Хидролошки модели су раније оптимизовани ручним подешавањем параметара у итеративном поступку док моделар не оцијени да се симулирани хидограми довољно добро слажу са осмотреним. За сваки подешени скуп параметара, поред визуелног прегледа, могу да се срачунају неке оцјене перформанси. Обзиром на дуготрајност и субјективност овог процеса, лако је замијењен аутоматском калибрацијом која је базирана на методама нумеричке оптимизације.

Аутоматска калибрација или оптимизација модела је у развоју још од 60-тих година прошлог вијека (Boyle *и остали* 2000). Овај процес је лишен субјективизма у смислу да је тачно одређена процедура према којој се идентификују скупови најбољих параметара, међутим одабир циљне функције као и самог алгоритма прорачуна и критеријума његовог заустављања је субјективан избор који утиче на резултате.

Већина оптимизационих алгоритама се класификују као локалне (нпр. Doherty, 2018) или глобалне (нпр. Duan, Sorooshian и Gupta, 1992; Vrugt *и остали*, 2003) методе претраживања. Локалне траже локални минимум (или максимум) циљне функције у параметарском простору константно напредујући у правцу боље вриједности оптимизационе функције док коначно не стигне до оптимума. Могу да се подијеле на директне и градијентне методе. Директне су претрага непосредних интервала, симплекс методе и ротирајући правци док у градијентне методе спадају најстрижи силазак, градијент коњугата, Newton-Raphson метод, квази-Нутнова метода, Levenburg-Marquadt метод итд. (Pechlivanidis *и остали* 2011). Све ове методе су погодне у случајевима када постоји само један минимум јер у супротном локалне методе ће пронаћи само један.

У том смислу, глобалне методе су у предности јер претражују комплетну површину вриједности циљне функције у параметарском простору (ограниченог минималним и максималним вриједностима параметара) у циљу проналаска најниже вриједности оптимизационе функције. Овдје спадају методе случајне претраге, вишеструка локална претрага, симулационо каљење (енгл. *simulated annealing*), еволуционарни алгоритми и генетски алгоритми. При калибрацији хидролошких модела, посљедња два су наша најширу примјену (Efstratiadis and Koutsoyiannis 2010, Pechlivanidis *и остали* 2011).

У литератури је објављен велики број различитих оптимизационих алгоритама из реда генетских и еволуционарних који су коришћени за калибрацију хидролошких модела:

- генетички алгоритам GA (Holland 1975, Wang 1991),
- *Shuffled Complex Evolution-University of Arizona* SCE-UA (Duan, Sorooshian и Gupta, 1992; 1993),
- *Differential Evolution* DE (Storn and Price 1997),
- *Multi-Objective Complex Evolution- University of Arizona* MOCOM-UA (Yapo *и остали* 1998),
- *Strength Pareto Evolutionary Algorithm* SPEA/SPEA2 (Zitzler and Thiele 1999, Zitzler *и остали* 2001),
- *Particle Swarm Optimisation* PSO (Kennedy and Eberhart 2001),
- *Nondominated Sorting Genetic Algorithm II* (Deb 2002),

- *ϵ -Nondominated Sorting Genetic Algorithm II* ϵ -NSGE (Reed *u осталу* 2003),
- *Multi-Objective Shuffled Complex Evolution Metropolis*- University of Arizona MOSCEM-UA (Vrugt *u осталу* 2003),
- *Multiobjective Evolutionary Algorithm Based on Decomposition* MOEA/D (Zhang and Li 2007),
- AMALGAM (Vrugt and Robinson 2007, Vrugt 2016a),
- *Multiobjective Evolutionary Annealing Simplex* MEAS (Efstratiadis and Koutsoyiannis 2008),
- *DiffeRential Evolution Adaptive Metropolis* DREAM (Vrugt *u осталу* 2009), итд.

Заједничко свим наведеним оптимизационим алгоритмима за аутоматску калибрацију је што минимизују (или максимизују) једну или више циљних функција при том тражећи оптимални скуп (или скупове) параметара. Како су хидролошки модели намијењени симулацији више компоненти отицаја (нпр. подземна вода, влажност тла, *ET*, и сл.) доводи се у питање оправданост коришћења само једне циљне функције при калибрацији (Moussa and Chahinian 2009). Ово је постало посебно наглашено увођењем комплексних модела попут семи- и потпуно дистрибуираних са великим бројем параметара што доводи до повећаног интересовања и употребе вишекритеријумске калибрације (Efstratiadis and Koutsoyiannis 2010).

2.5.2 Вишекритеријумска калибрација

Gupta, Sorooshian и Yaro (1998) су навели да је проблем калибрације модела вишекритеријумски те да га тако треба и третирати. Паралелно са овим радом Yaro, Gupta и Sorooshian (1998) су представили MOCOM-UA алгоритам који се сматра пионирским алгоритмом за вишекритеријумску калибрацију са примјеном на хидролошким моделима (нпр. Efstratiadis и Koutsoyiannis, 2010 и тамо наведене референце).

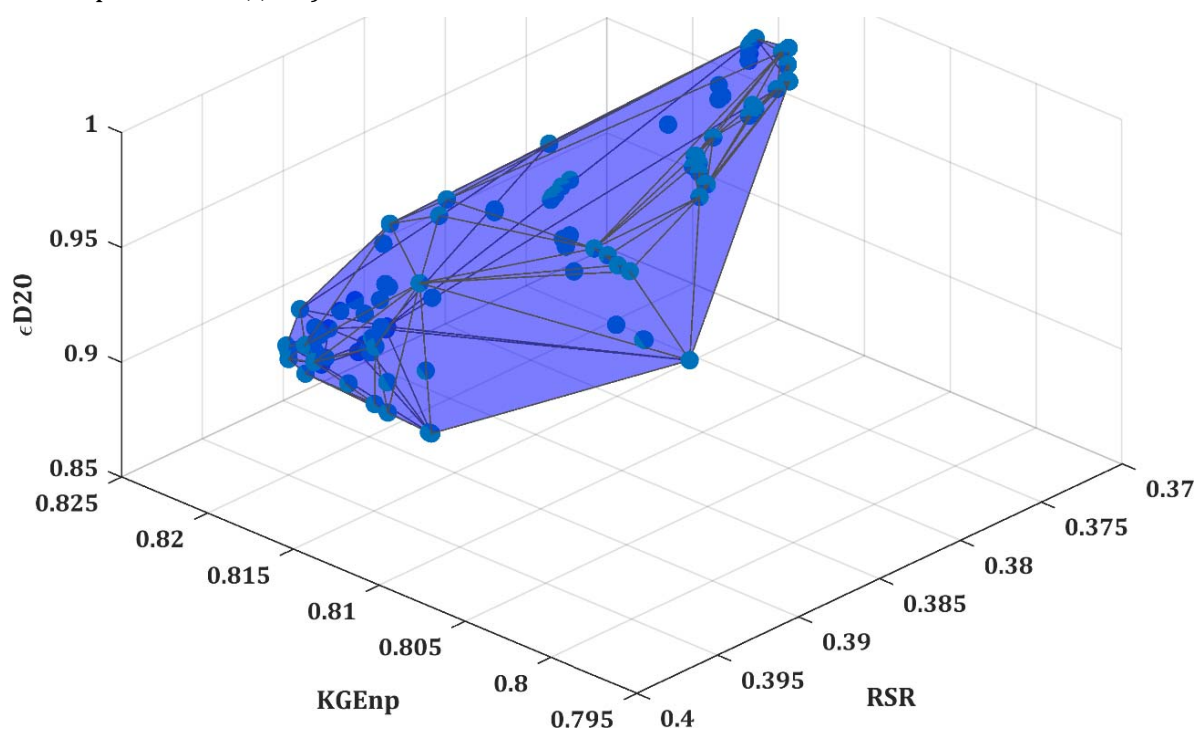
У принципу, вишекритеријумска калибрација подразумејева одређивање оптималних параметара модела тако да неколико циљних функција буде истовремено задовољено. Код хидролошких модела циљне функције (ЦФ) су обично противрјечне (нпр. слагање великих вода, укупан биланс, средње воде и сл.) па је немогуће наћи тачно једно рјешење које задовољава све критеријуме (*equifinality*, Veven и Binley, 1992). Тада се траже прихватљива компромисна рјешења односно више одговарајућих скупова параметара према основном концепту *Edgeworth-Pareto* (Pareto 1906) оптималних скупова (Парето-оптимални скупови). Овај оптимални скуп параметара се још назива неинфериорни или недоминантни скуп чија се слика у простору циљних функција назива *Парето фронт* (Слика 2.4). Рјешења са Парето фронта представљају компромис између заданих циљних функција и значи да рјешење које је најбоље по једном критеријуму није по другом и обрнуто.

Поред Парето-оптималних скупова параметара који се добијају у процесу калибрације са више ЦФ које се индивидуално третирају, под вишекритеријумском калибрацијом подразумејева се и агрегација више циљних функција у једну дајући пондерисане вриједности свакој од њих (нпр. Madsen, 2000; Seibert и McDonnell, 2002; Butts *u остали*, 2004; Efstratiadis и Koutsoyiannis, 2008; Zhang *u остали*, 2008; Booij и Krol, 2010; Merz, Parajka и Blöschl, 2011). Нова, комбинована циљна функција састављена од n појединачних ЦФ-ја добија облик:

$$KOF = w_1OF_1 + w_2OF_2 + \dots + w_nOF_n \quad (2.4)$$

гдје су w_i пондерисане вриједности за сваку циљну функцију а OF_i циљне функције. Сматра се да је у овом приступу главна мана субјективност која се уноси додијељивањем вриједности w_i поред тога што се у овој формулацији крије конкуренција противрјечних критерија (нпр. видјети дискусију у Efstratiadis и Koutsoyiannis, 2010).

Иако се вишекритеријумска калибрација сматра објективном, ипак постоји доза субјективности, нпр. избор и количина циљних функција као и избор оптимизационог алгоритма. Многи аутори су покушали пронаћи „најбољи“ оптимизациони алгоритам (нпр. Wang, 1991; Duan, Sorooshian и Gupta, 1992; Zitzler и Thiele, 1999; Blasone, Madsen и Rosbjerg, 2006; Tang, Reed и Wagener, 2006; Zhang, Srinivasan и Liew, 2009; Arsenault *и остали*, 2013) или циљну функцију (нпр. Moussa и Chahinian, 2009; Gao, Guo и Liu, 2015; Pool *и остали*, 2016; Kouchi *и остали*, 2017). Резултати ових истраживања су различити али генерално упућују на неизвјесност оцјене параметара око чега треба водити рачуна при одабиру доминантног рјешења (нпр. у зависности од крајње употребе калибрисаног модела).



Слика 2.4. Примјер Парето фронта одређеног са три циљне функције

2.5.3 Калибрација хидролошким потписима

Прије него је уведен принцип дијагностичке евалуације и калибрације модела (Gupta *и остали* 2008) било је примјера калибрације модела уз коришћење хидролошких потписа у директном или индиректном поступку (нпр. у Montanari и Toth, 2007 преко функције спектралне густине и Whittle вјероватноће, Yadav, Wagener и Gupta, 2007 при калибрацији неизучених сливова). Послије тога, многи аутори су истраживали могућности директне калибрације модела са хидролошким потписима (Shamir *и остали*, 2004; Westerberg *и остали*, 2011; Pechlivanidis *и остали*, 2012; Euser *и остали*, 2013; Vrugt и Sadegh, 2013; Pool *и остали*, 2016) или у виду филтрације оптималних скупова параметара са Парето фронта (нпр. Hingray *и остали*, 2010; Pokhrel, Yilmaz и Gupta, 2012; Hrachowitz *и остали*, 2014; Kelleher *и остали*, 2016). Ово посљедње подразумијева да су хидролошки потписи коришћени за одабир коначних скупова

оптималних параметара без директне примјене као критеријумске функције, већ у виду додатног ограничења оптималног скупа параметара (Dunn 1999, Pokhrel *и остали* 2012, Pfannerstill *и остали* 2014). Најчешће коришћени потписи су нагиб криве трајања протицаја, коефицијент отицаја, густина подижуће гране хидрограма, дистрибуција пикова, аутокорељација и сл.

2.5.4 Калибрација мјесечних билансних модела

Мјесечни билансни модели су углавном калибрисани са једном циљном функцијом и неким од аутоматских оптимизационих алгоритама (Martinez and Gupta 2010, 2011) или евентуално према једној функцији изведеној као средња вриједност више критеријумских функција (Zhang *и остали*, 2008; Wang *и остали*, 2011). Оптимизационе функције су у већини случајева статистичке (коријен средње квадратне грешке, Nash-Sutcliff коефицијент ефикасности, средња квадратна грешка). Закључујући према прегледаној литератури, нема примјера коришћења хидролошких потписа при калибрацији МБХМ-а. Изузетак је рад од Zhang *и остали* (2008) гдје су у вишекритеријумској оптимизацији, поред три статистичке циљне функције, користили једну хидролошку, однос симулираног и осмотреног коефицијента отицаја (Табела 2.1).

Табела 2.1. Преглед циљних функција коришћених у литератури за калибрацију мјесечних модела

Циљна функција	Једначина	Распон вриједн.	Циљна вриједн.	Референца
Неш-Сатклиф коефицијент ефикасности	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2}$	$-\infty \div 1$	1	(Chen, Chen и Xu, 2007; Guo, 1995; Servat и Dezetter, 1993; Xiong и Guo, 1999; Hughes, 2015; Zhang <i>и остали</i> , 2008)
Неш-Сатклиф коефицијент ефикасности са логаритмованим протоцима	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\ln Q_{o,i} - \ln Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^n (\ln Q_{o,i} - \ln \bar{Q}_o)^2}$	$-\infty \div 1$	1	(Hughes, 2015; Zhang <i>и остали</i> , 2008)
Сумарна квадратна грешка	$SSE = \sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2$	$0 \div \infty$	0	(van der Beken and Byloos 1977, Susanto 1991, Xia <i>и остали</i> 1997, Jiang <i>и остали</i> 2007)
Сумарна квадратна грешка са корјенованим протоцима	$SSQ = \sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_{o,i}} - \sqrt{Q_{m,i}})^2$	$0 \div \infty$	0	(Xu, Seibert и Halldin, 1996; Mouelhi <i>и остали</i> , 2006)
Сумарна квадратна грешка са логаритмованим протоцима	$SSQ_{\ln} = \sum_{i=1}^n [\ln(Q_{o,i}) - \ln(Q_{m,i})]^2$	$0 \div \infty$	0	(Alley 1984)
Средња квадратна грешка	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2}{n}$	$0 \div \infty$	0	(Martinez и Gupta, 2010; Martinez и Gupta, 2011)

Табела 2.1. Преглед циљних функција коришћених у литератури за калибрацију мјесечних модела (наставак)

Коријен средње квадратне грешке	$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2}{n}}$	$0 \div \infty$	0	(Moussavi, Feyen и Wyseure, 1990; Schaake и Koren, 1996)
Коефицијент детерминације или Пирсонов коеф. Корелације	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - \overline{Q_o})(Q_m - \overline{Q_m})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_o - \overline{Q_o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_m - \overline{Q_m})^2}}$	$0 \div \infty$	0	(Moussavi, Feyen и Wyseure, 1990; Zhang и остали, 2008)
Клинг-Гупта ефикасност	$KGE = 1 - \sqrt{(R^2 - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$ $\alpha = \frac{\sigma_m}{\sigma_o}, \beta = \frac{\overline{Q_m}}{\overline{Q_o}}$	$-\infty \div 1$	1	(Martinez и Gupta, 2011; Bai и остали, 2015)
Грешка запремине	$VE = \frac{\left \sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - Q_{o,i}) \right }{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}}$	$0 \div \infty$	0	(Guo, 1995; Guo, Wang и Yang, 2001; Xiong и Guo, 1999; Zhao, 1992)
Логаритмован однос коефицијента отицаја	$RRLR = \ln \left(\frac{\sum_{i=1}^n Q_{m,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}} \right)$	$0 \div \infty$	0	(Zhang, Potter, и остали 2008)
Релативна грешка укупног максималног отицаја	$\varepsilon_{\max} = \frac{ Q_{\max,o} - Q_{\max,m} }{Q_{\max,o}}$	$0 \div \infty$	0	(Guo, Wang и Yang, 2001)
Апсолутна логаритамска грешка	$LAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \log \left[\left \frac{Q_{o,i} - Q_{m,i}}{Q_{o,i}} + 1 \right \right]$	$0 \div \infty$	0	(Zhao 1992)
Апсолутна грешка водног биланса	$AWBE = \sum_{i=1}^n Q_{m,i} - \sum_{i=1}^n Q_{o,i}$	$-\infty \div +\infty$	0	(Zhao 1992)
Релативна грешка средњих протицаја	$\%RME = \frac{\overline{Q_m} - \overline{Q_o}}{\overline{Q_o}} \cdot 100$ $\%RMLE = \frac{\overline{\ln Q_m} - \overline{\ln Q_o}}{\overline{\ln Q_o}} \cdot 100$	$-\infty \div +\infty$	0	(Hughes, 2015)

2.5.5 Проблеми у калибрацији модела

Ако би се могао дефинисати модел у коме су сви параметри универзалне константе при којима модел даје задовољавајуће симулиране протицаје, проблем калибрације би био ријешен. Међутим, у тренутној пракси и научној заједници то није случај.

Andréassian и остали (2012) су именовали два потенцијална објашњења зашто оптимизовани скуп параметара (у калибрационом периоду) не даје задовољавајуће резултате при валидацији модела: *погрешна калибрација* и *пре(тјерана)-калибрација*. Прво представља неефикасност алгоритма да пронађе тачан математички оптимум или неодговарајућа циљна функција а друго је идентификација математичког оптимума који не остаје оптималан у другим периодима симулације (ван калибрационог

периода). У наредном тексту укратко су описани проблеми у контексту погрешне и пре(тјеране) калибрације.

Грешке и неинформативност осмотрених података у калибрационом периоду

Грешке у осмотреним подацима који представљају улаз у модел су неизбјежне услед грешака при директном или индиректном мјерењу као и осредњавању по површини слива. Нпр. мјерење падавина на нивоу слива је обично тачкасто одакле се просторно расподјељују по површини. Због своје природе, ове грешке је веома тешко квантификовати па се, у појединим случајевима значајног подцјењивања (или прецјењивања) вриједности падавина може очекивати да билансни модели не могу дати добре резултате (Beven *и остали*, 2011). Протицај се врло ријетко мјери директно; углавном се читава са кривих протицаја што може произвести грешку у његовој величини у просјеку од 25% (Di Baldassarre and Montanari 2009). Природно, ако се улазни подаци са грешком унесу у модел, та грешка ће се појавити у резултатима модела (Singh and Dutta 2017). Сматра се да је значајан утицај грешака у осмотреним подацима на симулације хидролошких модела (Kuczera, 1996; Kavetski, Kuczera and Franks, 2006a, 2006b; Vrugt *и остали*, 2008; Di Baldassarre and Montanari, 2009; McMillan *и остали*, 2011) али тај утицај може бити ограничен ако се мјерења врше савременим технологијама (Montanari and Di Baldassarre 2013). За неизвјесност која произилази из оваквих грешака је типично да нису адитивне (не сабирају се у коначним резултатима – симулираним протицајима) већ мултипликативне (умножавају се) (Singh and Dutta, 2017).

Појам *неинформативности* су увели Beven и Westerberg (2011) чиме су означили хидролошке осмотрене податке (са грешкама у мјерењу) који чине непоузданим закључке изведене при хидролошком моделирању односно калибрацији. Ове грешке утичу на поузданост хидролошких симулација али ипак у литератури нема јасних препорука како адресирати овај проблем (Beven and Westerberg 2011, Montanari and Di Baldassarre 2013). Једно од понуђених рјешења овог проблема је идентификација неинформативних периода података како се не би даље користили при калибрацији (Beven *и остали*, 2011). Међутим, ово није увијек могуће па алтернативу треба тражити у употреби робуснијих критеријума за калибрацију и евалуацију модела који би ублажили ову неинформативност (Beven and Westerberg 2011, Westerberg *и остали* 2014). Нпр. Westerberg *и остали*. (2011) предлажу коришћење кривих трајања при калибрацији јер се на овај начин ублажава неинформативност која ће се „изгубити“ у овим кривим трајања. С друге стране, резултати које су добили Montanari и Di Baldassarre (2013) упућују да је побољшање структуре модела (са бољим разумијевањем хидролошких процеса) једна од мјера за ограничавање утицаја грешака на резултате модела. Одбацавањем неинформативних података уочили су да је утицај грешака у осмотреним подацима на ефикасност модела значајна само код модела једноставне структуре док је код комплекснијих модела овај утицај знатно мање изражен.

Ова проблематика није много истраживана са аспекта мјесечних билансних модела. Једино су Xu и Vandewiele (1994) испитивали утицај падавина са случајним и систематским грешкама на ефикасност модела и закључили да при случајним грешкама (стандардна девијација грешке у падавинама) већим од 15% ефикасност модела је значајно погоршана. Систематске грешке величине до 10% од средње вриједности осмотрених падавина немају значајан утицај на ефикасност модела али имају на величине оптимизованих параметара.

Неефикасност оптимизационог алгоритма

Под неефикасношћу оптимизационог алгоритма (ОА) подразумејева се немогућност нумеричке оптимизационе методе да пронађе оптималну вриједност одабране циљне функције односно њен минимум (или максимум, у зависности како је дефинисана). Duan, Sorooshian и Gupta (1992) су испитивали простор циљне функције у зависности од параметара модела, тзв. *површину одговора модела (ПОМ)* и дефинисали пет главних карактеристика ове површине које компликују калибрацију:

- (1) ПОМ има више регија у којима се налазе минимуми циљних функција,
- (2) У свакој регији гдје се налазе минимуми циљних функција има неколико локалних минимума уочљивих једино уз нумеричку анализу ПОМ (нпр. конвертовањем површине у виду првог или вишег извода),
- (3) ПОМ није глатка површина: постоје дисконтинуитети у изводима ПОМа по параметрима модела,
- (4) ПОМ је неконвексна са дугачким закривљеним гребеновима (Kavetski and Clark 2010) који указују на међузависност параметара,
- (5) Степен осјетљивости параметара (локални нагиб ПОМа) је изузетно варијабилан упућујући на постојање нелинеарне интеракције параметара односно компензације њихових вриједности у корист оптималне вриједности ЦФ-је.

Имајући претходно у виду, већи број глобалних и локалних минимума, сасвим је разумљиво што ОА пронађе више оптималних Парето рјешења.

Поред овога, на облик ПОМ-а ће утицати и избор циљне функције те ће различите ЦФ-је показивати различиту осјетљивост на промјену параметара (Razavi и Gupta, 2015). Све ово утиче на неизвјесност предикције модела па је, умјесто тражења једног скупа оптималних параметара, рјешење приказивано као скуп могућих оптималних рјешења (нпр. GLUE анализа осјетљивости, Beven and Binley, 1992).

Пре(тјерана)-параметризација модела. Проблеми у структури модела

Perrin, Michel и Andréassian (2003) су навели да посебна пажња треба бити посвећена броју параметара модела јер увођењем додатних параметара у GR4J модел који су тестирали нису довели до побољшања резултата. С друге стране, повећан број параметара доводи до проблема пре(тјеране)-параметризације модела односно повећане неодређености рјешења проблема са више непознатих (број параметара) а често само једна позната варијабла (протицај). Такође, повећавањем броја слободних параметара модела може се очекивати повећана рапавост (нпр. гребени) ПОМ-а односно повећане међусобне зависности параметара што додатно отежава успјешност калибрације.

Хидролошкој заједници је јасно да велики број параметара модела представља проблем при њиховој идентификацији (да конвергирају уском интервалу без обзира на карактеристике калибрационог периода). Међутим, није у потпуности јасно да ли ово представља отежавајућу околност за идентификацију структуре модела. Већи број параметара даје већу слободу моделу и чини његово понашање мање зависним од његове структуре (Kirchner 2006).

Очито, хидролошки модели су претјерано параметризовани али ипак се сматра да постоји нека „граница“ у броју параметара која представља границу толеранције рјешења овог проблема (Jakeman and Hornberger 1993, Schoups и остали 2008, Beven 2009, 2012).

Пре(тјерана)-калибрација модела

Пре(тјерана)-калибрација модела подразумијева превише калибрисан модел према информацијама садржаним у калибрационом периоду што углавном доводи до лошије ефикасности модела при симулацијама у периодима ван калибрационог. Једно од могућих објашњења зашто оптимални скуп параметара у једном периоду није истовремено оптималан и у неком другом је неадекватна структура модела у смислу репрезентације стварних хидролошких процеса (Andréassian *и остали* 2012). Како су процеси у хидролошком моделу осредњени по времену и простору те дефинисани приближно тачним рјешењима (једначинама), они представљају несавршене представнике комплексних стварних процеса. Међутим, то не значи да се овај проблем не може умањити побољшањем структуре модела (Michel *и остали* 2006).

Поред побољшања структуре, промјена циљне функције може много да допринесе у отклањању проблема лоше идентификације параметара. Нпр. Fowler (2017) је показао да се правилним одабиром циљне функције и стратегије калибрације може постићи веће побољшање резултата него побољшањем саме структуре модела.

Такође, оптимални скуп параметара би се могао замијенити скупом (више) оптималних скупова параметара (Beven 1993) или статистичком расподелом могућих вриједности параметара (Thiemann *и остали* 2001). Овај (Бајесов) приступ који третира параметре као случајне промјенљиве не рјешава проблем већ га само умањује дајући рјешење симулације модела у виду вишеструких хидрограма са горњом и доњом границом очекиване реализације.

Још нека од могућих рјешења проблема пре-калибрације модела изложених у литератури су калибрација вођена додатним подацима изван података о падавинама и протицају (Seibert and McDonnell 2002), калибрација и филтрирање Парето фронта са хидролошким потписима (детаљније у претходном поглављу 2.5.3 и у поглављу 2.6.3), калибрација из више корака (Fenicia *и остали* 2007) или кроз редукцију димензионалности модела смањењем броја слободних параметара (нпр. уз помоћ анализе осјетљивости van Werkhoven *и остали*, 2009) или њиховом замјеном (Singh и Bárdossy, 2015 коришћењем функција дубине).

У сваком случају, проблем и даље постоји те су додатна истраживања потребна да би математички оптималан скуп параметара био и хидролошки оптималан односно да при симулацијама ван калибрационог периода модел посједује конзистентну ефикасност.

2.6 Евалуација модела

Квалитет калибрисаног модела испитује се евалуацијом, што подразумијева процјену да ли је модел примјенљив за симулације у независном периоду (ван калибрационог). Робусни модели могу добро да репродукују осматрања и у независном периоду, што је посебно важно ако ће се модели користити за симулације у различитим условима од оних карактеристичних за калибрациони период.

Одлуку о успјешности модела односно могућности његове примјене у независном периоду, моделар обично доноси на основу поређења резултата симулације модела са осмотреним вриједностима (оцјена ефикасности модела). Ефикасност модела се оцјењују прорачуном нумеричких вриједности као јединствене мјере „слагања“ симулираних и осмотрених величина и/или уз помоћ разних графичких метода.

Разликују се и приступи моделирању односно избор периода за калибрацију и евалуацију. Обично се расположиви осмотрени подаци подијеле у двије (*data-splitting*)

или више група (*cross-validation*) од којих се једна користи за калибрацију а остале за евалуацију модела (Harrell *и остали* 1996, Bennett *и остали* 2013). У зависности од климатских карактеристика периода одређених за калибрацију и евалуацију, тестирање се дефинише као SST (*Split Sample Test*) или DSST (*Differential Split Sample Test*) (Klemeš 1986). Посљедњи подразумева изразито различите климатске карактеристике, нпр. екстремно сушни и водни период.

Поред наведеног, постоје методе *bootstrapping* у којима се насумично бирају подаци и замијењују у оригиналном низу. На овај начин генеришу се нови низови за евалуацију чиме се задржава комплетан оригинални низ протицаја (и падавина) за калибрацију што се сматра предношћу ове методе (Harrell *и остали* 1996). Willmott *и остали* (1985) наводе да је ово поуздана метода евалуације модела у смислу повјерења и значајности статистике којом мјеримо слагање осматраних вриједности и симулираних моделом.

Према Gupta *и остали* (2008) три врсте евалуације требају бити испитане у генералној теорији евалуације модела:

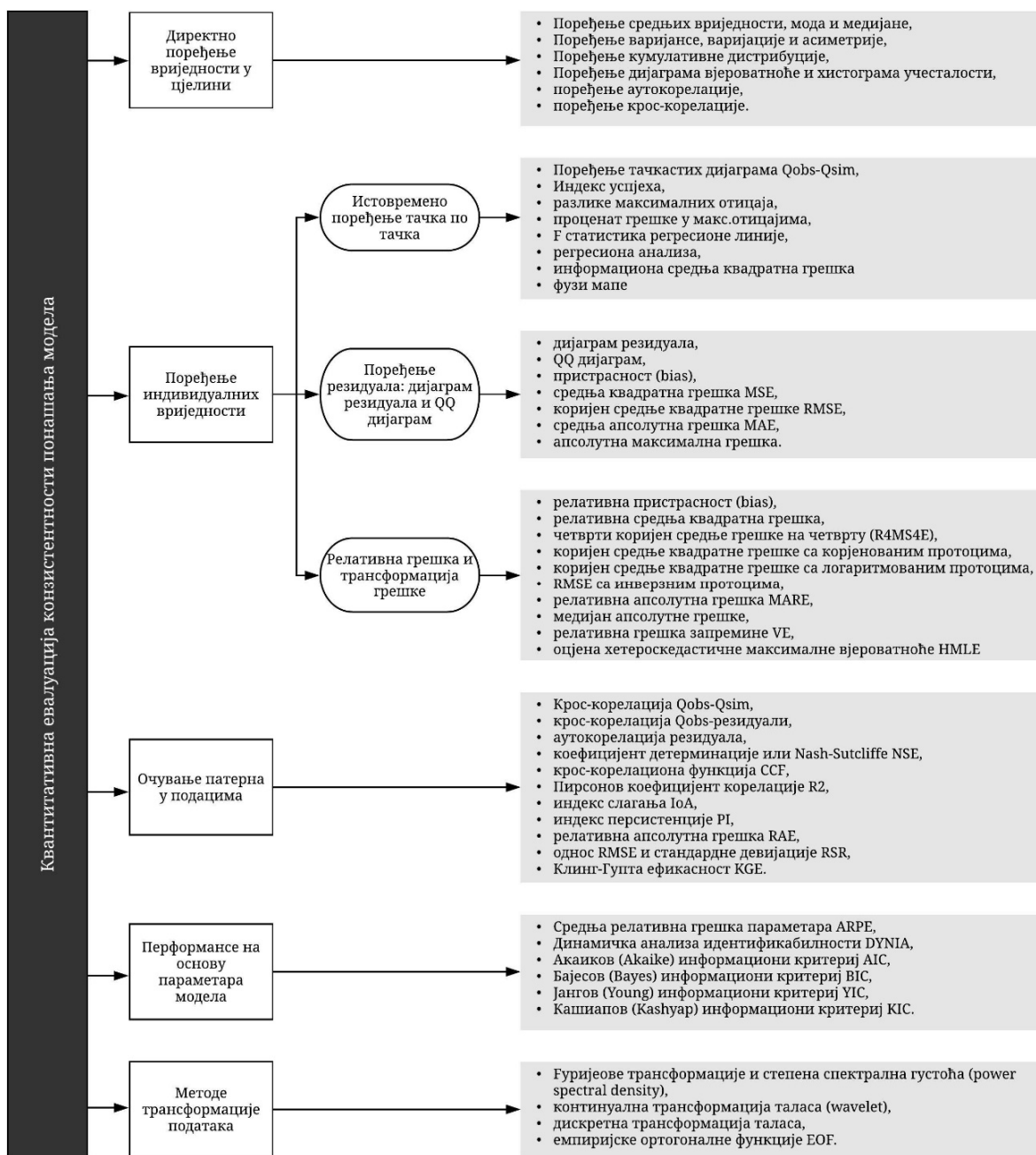
- (1) квантитативна евалуација конзистентности понашања модела (величина разлике, у математичком смислу, између осматраних и симулираних величина),
- (2) квалитативна евалуација конзистентности понашања модела (нпр. визуелно поређење хидрограма, тачкасти дијаграми осматраних и симулираних вриједности, приступ опште вјероватноће - GLUE из Beven (2006a), теорије фази скупова као у Seibert и McDonnell (2002), DYNIA из Wagener (2003), итд.) и
- (3) квалитативна евалуација (или научна евалуација, као што су је назвали Biondi *и остали*, 2012) конзистентности структуре и способности понашања модела (субјективна одлука односно предубјеђење да је неки модел бољи јер боље осликава стварну везу падавине-отицај, нпр. физички базирани моделу су бољи од концептуалних, концептуални су бољи од базираних на подацима попут вјештачких неуронских мрежа итд.).

У посљедњих десетак година уведен је принцип дијагностичке евалуације модела заснован на теорији информације и хидролошких потписа (индекса слива, енгл. *hydrological signatures*), који показују како је модел репродуковао релевантне процесе на сливу (Gupta *и остали* 2008). Дијагностичка евалуација указује на недостатке због којих модели дају лошије резултате ван периода калибрације, на основу чега се могу добити смјернице за побољшање његове структуре.

2.6.1 Квантитативна евалуација модела

Bennett *и остали* (2013) су класификовали квантитативне методе евалуације у пет група са одговарајућим подјелама (Слика 2.5). Директно поређење осматраних и симулираних вриједности у цјелини има задатак да тестира да ли излаз из модела показује сличне карактеристике као цјелина са карактеристикама осматраних вриједности у цјелини. Ту углавном спадају сумарне карактеристике попут средње вриједности, медијане, варијансе, коефицијената варијације и других статистика низа или статистичких особина попут расподеле вјероватноће.

Поређење индивидуалних вриједности узима у обзир парове вриједности нпр. осматраних Q_{obs} и симулираних Q_{sim} протицаја у истом тренутку и на истом мјесту, рачунајући њихову разлику или грешку. Многе методе припадају овдје од којих су најпознатије QQ дијаграм, MSE, RMSE, BIAS, VE и сл.



Слика 2.5. Преглед квантитативних метода евалуације модела (прилагођено према подјели изложеној у Bennett и остали, 2013)

Да би се тестирало да ли модел чува одређене обрасце који постоје у осмотреним подацима, мјере ефикасности модела морају узети у обзир какав је међусобни однос тачака података и њихових грешака. У ову групу спадају графичке методе попут крос-корељације осмотрених и симулираних података, затим осмотрених података и резидуала, те статистички показатељи као што су коефицијент корелације (Pearson, Spearman), NSE, KGE, IoA, RSR, релативна апсолутна грешка и сл. Све ове статистике показују одређену пристрасност па се може десити да модел има значајно одступање од осмотрених вриједности а да нека од ових статистика да добре вриједности. Зато се препоручује комбинација са неким од графичких метода евалуације.

Индириктне мјере које се базирају на вриједностима параметара модела узимају у обзир информационе теорије; дају информацију колико добро су параметри идентификовани (нпр. да ли су при калибрацији на више периода добијене сувише различите вриједности за исте параметре) и сматрају се изузетно важним у евалуацији модела. Неке од ових мјера дају информацију о потенцијалном пре-калибрисању (*over-fitting*) параметара (ARPE), оптималним скуповима параметара (DYNIA, Wagener *и остали*, 2003), идентификацију најједноставнијег модела (AIC - Akaike, 1970, BIC - Schwarz, 1978), итд.

Методе трансформације података као начин евалуације могу да открију аспекте понашања модела који нису били уочљиви у оригиналном домену. Најпознатији из ове групе су Фуријеове трансформације при којима се подаци конвертују у домен фреквенције сигнала (видјети нпр. Fleming *и остали*, 2002), степена спектрална анализа која представља Фуријеову трансформацију аутокорелационе функције (видјети нпр. McLeod и Hipel, 1995; Stoica и Moses, 2005), *wavelet* трансформације (видјети нпр. Meyer, 1993), емпиријске ортогоналне функције или анализа главних компоненти (*eng. principal componente analysis PCA*) (за преглед видјети Hannachi *и остали*, 2007).

2.6.2 Квалитативна евалуација модела

Иако квантитативне мјере ефикасности дају директну вриједност ваљаности модела, разматрање и усвајање ових резултата подлијеже одређеној субјективности. Нпр., према једној мјери један модел ће бити бољи док ће други бити бољи према некој другој мјери. Шта се усваја на крају, је заправо субјективна одлука.

Квалитативна евалуација модела је експертска процјена ваљаности модела углавном на основу визуелних алата и субјективних схватања. Типични дијаграми за визуелно поређење симулираних и осмотрених величина су нпр. хидрограми, затим тачкасти Qsim-Qobs дијаграми, дијаграми резидуала наспрам осмотрених вриједности, дијаграми аутокорелације, расподјеле вјероватноћа, QQ дијаграми, криве трајања, итд. Оцјена сваког појединачног дијаграма ће зависити од разумијевања, интерпретације и искуства посматрача. Bennett *и остали* (2013) су оформили листу питања на која моделар или независни експерт треба да одговори у циљу квалитативне оцјене модела те навели да одговори на ова питања могу да буду значајнији од квантитативних мјера ефикасности.

Математичке стратегије попут већ наведених GLUE и теорије фази скупова се сматрају формалним квалитативним методама евалуације модела док је DYNIA комбинована квалитативна и квантитативна метода (Gupta *и остали* 2008). Постоје и други приједлози комбиновања ових двију метода, нпр. Ehret и Zehe (2011) су у свом раду предложили нову мјеру „удаљености“ између осмотреног и симулираног хидрограма који рефлектује субјективни поступак визуелног поређења. Ова мјера не представља једну нумеричку вриједност базирану на одређеној формули већ процедуру која се састоји из неколико корака. Boyle, Gupta и Sorooshian (2000) су повезали аутоматску и мануелну калибрацију модела уз помоћ визуелних поређења скупова оптималних параметара са Парето фронта да би пронашли најбољи скуп параметара. Иако је ово примјењено на калибрацију, не евалуацију, примјенљиво је по истом принципу. Bennett *и остали* (2013) су такође предложили општу процедуру евалуације модела примјенљиву у пракси која комбинује квалитативне и квантитативне методе.

Иако многи аутори савјетују коришћење квалитативних метода евалуације у комбинацији са квантитативним истичући погодност првих (Chiew and McMahon 1993, Krause *и остали* 2005, Moriasi *и остали* 2007, Bennett *и остали* 2010), мало је радова који

их повезују у смислу да ли дају сличне закључке. Нпр. Chiew и McMahon (1993) су анкетирали 63 хидролога да оцијене модел на основу поређења хидрограма те су резултате ових анкета искористили да предложе адекватну мјеру ефикасности. Olsson и остали (2011) су тражили од 13 експерата да рангирају моделе од 1 до 5 на основу визуелних поређења. Ове резултате су приказали на дијаграму наспрам Nash-Sutcliffe коефицијента ефикасности и закључили да постоји одређено слагање између ово двоје. Houghton-Carr (1999) је такође поредио рангирање 4 различита модела према визуелним методама и неколико квантитативних (NSE, сума најмањих квадрата, разлика индекса базног отицаја) те закључио да су квалитативне методе субјективне и да ранг модела може много да варира у зависности од примијењене методе.

Научна евалуација модела (Biondi и остали 2012) је заснована на идеји да поређење осмотрених и симулираних вриједности неће дати одговор да ли је модел ефикасан са научне тачке гледишта. Другим ријечима, као што је Ogeskes (1998) истакао, ако окарактеришемо модел као валидан (ваљан, коректан) не значи да он то заиста јесте у условима ван граница у којим је евалуиран. Овај сегмент евалуације модела има за циљ да се провјери да ли модел даје праве резултате из правих разлога (Kirchner 2006) те да се утврди његова адекватност изван домена калибрације и евалуације. Научна евалуација модела је заправо увод у дијагностичку евалуацију.

2.6.3 Дијагностичка евалуација ефикасности модела. Хидролошки потписи

Дијагностичку евалуацију модела је предложио Gupta и остали, (2008) у циљу откривања (дијагностике) шта не ваља са концептом модела односно које компоненте модела објашњавају разлике у осмотреним и симулираним вриједностима. Оваква евалуација има упориште у теорији на којој се заснива концептуализација хидролошких модела те се очекује да исти добро симулира основне хидролошке процесе. Сурогати за ове процесе, обзиром да углавном нема података о стварним величинама хидролошких компоненти на сливу, представљају „хидролошки потписи“ односно динамичке карактеристике слива.

Хидролошки потписи (ХП) су индикатори који помажу да се дефинише понашање слива. Преко њих се добијају важне информације о процесу падавине-отицај на сливу, попут доминантног процеса, промјене у простору када се пореде вриједности за више сусједних сливова односно оцјене хидролошке промјене у времену када се пореде вриједности за различита временска раздобља (McMillan и остали, 2017). ХП су обично скаларне величине добијене из осмотрених падавина и протицаја или из моделираних протицаја као нпр. средњи протицај, нагиб криве трајања, коефицијент отицаја, индекс базног отицаја, итд.

Веза између ХП и хидролошких процеса није увијек јасна и једноставна што доводи до неизвјесности и варијабилности њиховог избора (McMillan и остали, 2017). Један од могућих разлога за ово је што већина потписа не представља само један процес већ мјешавину више њих, са изузетком сезоналности протицаја (Addor и остали 2018). McMillan и остали (2017) сматрају да потпис обавезно мора имати дискриминирајућу моћ у смислу да одражава одређени хидролошки процес што није једноставно одредити.

Такође, постоји неизвјесност у вриједностима ХП услед неизвјесности у вриједностима протицаја и падавина из којих се рачунају. Тако нпр. Westerberg и McMillan (2015) наводе да ова неизвјесност највише потиче од неизвјесности криве протицаја и методе просторне интерполације падавина и највећа је за показатеље малих и великих вода, варијабилности екстремних протицаја гдје узима вриједност од

± 20 - 42% . Остали ХП су показали неизвјесност од ± 4.5 - 15% . Наведена неизвјесност се преноси при апликацији ХП на сличан начин, па при регионализацији њихових вриједности најмања неизвјесност резултата регионализације је за потписе који мјере расподјелу протицаја него динамику, односно средње протицаје (затим велике) у односу на мале (Westerberg *и остали* 2016).

Addor *и остали* (2018) су подвукли важност урачунавања неизвјесности потписа кроз свој рад гдје су ранкирали потписе према три различите методе (*machine learning*, концептуални хидролошки модел и глаткоћу просторне расподјеле). Све три методе су дале веома сличне рангове сваком од 15 анализираних потписа. Ови резултати су слични добијеним у раду Westerberg *и остали* (2016). Према томе, потписи попут нагиба криве трајања, еластичности водотока и фреквенције нула протицаја не би требало користити у хидролошким анализама јер се не може објаснити њихова велика варијабилност по простору нити неповезаност са хидроклиматским факторима.

Потреба за дијагностичком евалуацијом модела је истакнута у неколико радова (Kirchner *и остали*, 1996; Yilmaz *и остали*, 2008; Euser *и остали*, 2013; Coron *и остали*, 2014). Ово је инспирисало поједине ауторе да користе одређене хидролошке потписе при евалуацији али и калибрацији хидролошких модела.

Yilmaz *и остали* (2008) су при калибрацији дистрибуираног модела HL-DHM увели хидролошке показатеље (потписе слива) умјесто класичних статистичких. Циљ је био извући информације из осмотрених података које воде ка хидролошки релевантнијим моделима (у смислу мимике хидролошких процеса). Хидролошке потписе су бирали у зависности од захтијева који су поставили моделу, а то је да репродукује: укупан водни биланс, дистрибуцију влажности у вертикалном смислу, дуготрајни базни отицај и временски тачне симулације. У ту сврху, користили су релативну грешку укупног коефицијента отицаја, грешку нагиба криве трајања у домену великих вода (трајања 0-0.2), средњих вода (трајања 0.2-0.7) и малих вода (трајања 0.7-1), релативну грешку времена кашњења те релативну грешку медијане (log) протицаја као додатни хидролошки потпис-индекс средњих протицаја. Резултати су показали конзистентније вриједности оптимизованих параметара и боље перформансе модела по питању водног биланса и временског поклапања хидрограма, док по питању осталих захтијева (дистрибуцију влажности у вертикалном смислу, дуготрајни базни отицај) није било побољшања. На овај начин су дошли до закључка да компонента перколације није добро конципирана у анализираном моделу.

Van Werkhoven *и остали* (2009) су такође сматрали да је важно укључити хидролошке критеријумске функције у процес калибрације. У калибрацији вођеној анализом осјетљивости поред статистичких показатеља увели су два хидролошка потписа, релативна грешка коефицијента отицаја и средњег нагиба криве трајања. Показало се, при поређењу резултата између више сливова, да би одабир оптималних скупова параметара био неуспјешан као и симулације основних хидролошких компоненти без потписа односно ако би се користили само статистички показатељи. У резултатима калибрације и анализе осјетљивости параметара SAC-SMA модела показали су да се кориштењем хидролошких уз статистичке критерије долази до ефикаснијег скупа оптимизованих параметара и да кориштењем само статистичких критерија може доћи до лошег избора скупа параметара који неће дати одговарајућу симулацију хидролошких карактеристика слива (хидролошких показатеља).

Martinez *и Gupta* (2010) су при процјени водних биланса на нивоу континента са мјесечним билансним моделом закључили да математички оптимални скупови не усмјеравају модел да правилно репродуцира стварне хидролошке процесе на сливу већ

да могу да заведу на погрешне закључке. Хидролошки потписи које су користили у својој анализи су грешка водног биланса и варијабилност протицаја (Табела 2.2), који су компоненте KGE.

Поред горе наведених извора, у доста новије литературе примјењивани су хидролошки потписи при евалуацији модела (нпр. Euser *и остали*, 2013; Hrachowitz *и остали*, 2014; Pfannerstill, Guse и Fohrer, 2014; Donnelly, Andersson и Arheimer, 2015). За ово истраживање, најзанимљивији резултати су представљени у Kelleher *и остали* (2016). Од 10,000 скупова параметара, мјерено са статистичким показатељима ефикасности њих 6,384 је дефинисано као оптимални док се тај број смањило на само 26 увођењем хидролошких потписа као мјера ефикасности односно циљних функција. Такође, највећа ефикасност модела у независном периоду се постиже са скуповима параметара добијеним групним ограничавањем статистичких и хидролошких показатеља.

2.6.4 Евалуација мјесечних билансних модела

У литератури, мјесечни билансни модели су углавном тестирани преко стандардних статистичких показатеља као нпр. NSE, MSE, и сл. Изузетак чине радови од Servat и Dezetter (1993) и Martinez и Gupta (2010) гдје су коришћени грешка аутокорејације и грешка средњег протицаја и варијансе, респективно.

Занимљив приједлог евакуације МБХМа долази од стране Vandewiele *и остали* (1992) и касније Xu *и остали* (1996). Ови посљедњи констатују да је стандардна девијација инверзна мјера квалитета перформанси модела те су користили коефицијент варијације као бездимензионалну мјеру за тзв. квалитет модела (у смислу ефикасности). Vandewiele *и остали* (1992) су показали да је овај коефицијент варијације за средњи протицај:

$$\overline{C_{v,m}} = \frac{\sigma_m \sqrt{4\overline{Q_m} + 2\sigma_m^2}}{\overline{Q_m} + \sigma_m^2} \quad (2.5)$$

те је мјера квалитета однос ове вриједности и коефицијента варијације осмотрених протицаја:

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{\overline{C_{v,m}}}{C_{v,o}} = \frac{\overline{C_{v,m}}}{\sigma_o / \overline{Q_o}} \quad (2.6)$$

Овдје су σ_m – стандардна девијација моделираних протицаја, σ_o – стандардна девијација осмотрених протицаја, $\overline{Q_m}$ – средњи моделирани протицај, $\overline{Q_o}$ – средњи осмотрени протицај.

Такође, Xu (2002) предлаже анализу резидуала као један од начина евалуације резултата добијених моделом. Под анализом подразумијева провјеру независности резидуала преко нпр. рачуна аутокорејације са k лагом или ауторегресивних процеса AR1 или ARMA, провјеру хомоскедатичности и тренда плотањем резидуала наспрам моделираних протицаја.

Xu (2002b) дефинише пристраснот резидуала у свакој сезони као:

$$\frac{\bar{u} \cdot \sqrt{N-K}}{\sigma_u} \leq t(N-K, 5\%) \quad (2.7)$$

Гдје су \bar{u} – средња вриједност резидуала, σ_u – стандардна девијација резидуала

N - број података у свакој сезони, K - број параметара модела, $t(N-K, 5\%)$ критична вриједност Студентове расподеле са $N-K$ бројем степени слободe и 5% прага значајности.

У Табели 2.2 дат је преглед мјера ефикасности модела коришћених у литератури при евалуацији МБХМ-а.

2.7 Мјесечни билансни хидролошки модели (МБХМ)

Пионири мјесечних билансних хидролошких модела су објављени половином прошлог вијека (Thorntwaite 1948, Thorntwaite and Mather 1955, 1957) после чега се у литератури појавио велики број предложених структура ових модела. Њихова употреба је различита, углавном за планирање и управљање водних ресурса (van der Beken and Byloos, 1977; Edijatno and Michel, 1989; Vandewiele, Xu and Ni-Lar-Win, 1992; Servat and Dezetter, 1993; Makhoul and Michel, 1994; Xu, Seibert and Halldin, 1996; Conway, 1997; Hay and McCabe, 2002; Xu, 2002), за симулације топљења снијега (Leaf and Brink, 1973, Moussavi *и остали*, 1990; Xu *и остали*, 1996) као и за процјену утицаја климатских промјена (Schaake and Liu 1989, Arnell 1992, Guo 1995, Yates 1996, Wang *и остали* 2009).

Сви ови модели су засновани на једначини биланса вода на сливу али се једначине за прорачун хидролошких компоненти међусобно разликују, зависно од усвојеног концепта. Тако нпр. Yates (1996) је развио једноставан МБХМ, WatBal на основу претходног концепта модела који су предложили Kaczmarek и Krasuski (1991), у коме је компоненту обично емпиријског прорачуна евапотранспирације замијенио физичким, увођењем Пристли-Тејлор формуле. Закључио је да емпиријски модели за прорачун *ET* дају боље резултате те да у симулацијама на дневном и мјесечном нивоу нема значајних разлика у резултатима утицаја климатских промјена.

Zhang *и остали* (2008) су развили модел на принципу граничних вриједности са Будико криве (Budyko 1958) чиме је осигуран конзистентан водни биланс те приказали верзије модела и одговарајуће резултате на годишњем, мјесечном и дневном временском кораку симулације. Разлика у односу на друге моделе је прорачун евапотранспирације (Будико крива која претпоставља да је билансирање контролисано расположивошћу воде и атмосферском потражњом-евапотранспирацијом), директног утицаја и допуне подземља (који се дешавају иако земљиште није засићено што се разликује од већине мјесечних модела).

Chen *и остали* (2007) су увели просторно дистрибуиране умјесто осредњених параметара на сливу реализацијом хибридног мјесечног билансног тропараметарског модела од два позната и широко кориштена модела Xinanjiang и TOPMODEL. Топографски индекс из TOPMODEL-а је конвертован у индекс генерисање утицаја чија је кумулативна расподела учесталости послужила као функција која представља просторну варијабилност капацитета тла. Истакли су да се од три параметра један (средњи капацитет земљишта на сливу) може фиксирати због мале осјетљивости а да се преостала два лако идентификују једноставном оптимизацијом. Ово је уједно и једини МБХМ који има дистрибуиране параметре, док су сви остали који се могу наћи у литератури са искључиво просторно хомогеним параметрима на сливу.

Билансни модели су препознати као веома добро средство за разумијевање и успостављање веза између различитих хидролошких компоненти и процеса генерисања утицаја на сливу. Alley (1984) је упоредном анализом пет МБХМ-а закључио да сви дају релативно сличне грешке у симулацијама протицаја у односу на осмотрене

али да процијењене вриједности појединих компоненти, попут евапотранспирације и влажности тла се међусобно веома разликују. Ову разлику је приписао различитим структурама тј. једначинама прорачуна хидролошких компоненти због којих калибрисани параметри (који контролишу исту хидролошку компоненту биланса) имају веома различите вриједности у различитим моделима. Vandewiele *и остали* (1992) су анализирали неколико варијанти модела којег су развили и закључили да је начин прорачуна *ET* мање критичан него процес отицаја.

Коришћење сложених хидролошких модела уз финију временску и просторну дискретизацију генерално не доприноси смањењу неизвјесности које имају климатске пројекције - резултат климатских модела чија је просторна резолуција далеко грубља него у хидролошким моделима. Стога су МБХМ-и често примјењивани на процјене утицаја климатских промјена. Нпр, Schaake и Liu (1989) су развили једноставан мјесечни билансни модел са 5 параметара да би оцијенили утицај климатских промјена на водне ресурсе. Закључили су да су водни ресурси много осјетљивији на промјену падавина него *PET* или температуре. Ово је потврдио и Guo (1995) на својој верзији МБХМ-а са 6 параметара.

Arnell (1992) је користио модификовани Торнтвајт-Метер модел (Alley 1984) на 12 сливова у Великој Британији да би одредио утицај сценарија климатских промјена на отицај. Закључио је да овај утицај увелико зависи од тренутног коефицијента отицаја, који зависи од тренутне везе падавина и *PET*, барем када су средњи годишњи протоци у питању. Највећи ефекат на утицај климатског сценарија на мјесечне протоке чини љетњи водни биланс и геолошки услови на сливу.

Wang *и остали* (2009) су развили модел DTVGM да би оцијенили количине вода на Чаобаи сливу на сјеверу Кине те квантификовали утицај климатских промјена и људских активности на измијењен режим водотока. Закључили су да је за смањење отицаја на сливу 35% од климатских промјена а 65% од људских активности.

Jiang *и остали* (2007) су анализирали резултате 6 различитих мјесечних билансних модела при предвиђању утицаја климатских промјена са 15 климатских сценарија а у циљу оцјене различитости резултата који се могу очекивати. Сви модели су слично репродуковали осмотрене хидрограме али уз велике разлике у процјени влажности тла, што резултује великим разликама при процјени утицаја климатских промјена.

Vai *и остали* (2015) су поредили ефикасност 12 мјесечних билансних модела различитих структура и комплексности на сливовима са различитим климатским условима. Утицај појединих компоненти на ефикасност модела су показале да *ET* има ограничен утицај за разлику од компоненте генерисања отицаја.

Побољшана могућност симулација са новим комјутерским технологијама је скренула фокус на комплексне моделе са великим бројем параметара иако њихова велика димензионалност превазилази количину информација које типични подаци за калибрацију пружају (Jakeman and Hornberger, 1993; Kirchner, 2006; Perrin *и остали*, 2003). Разумијевање хидролошких процеса, проблем неизвјесности структуре модела, параметризације и евалуације је једноставније разумјети на једноставним структурама са малим бројем степени слободе (параметара) (Martinez и Gupta, 2010). Такође, сматра се да побољшање модела треба почети са основним моделом читавог слива прије него што се слив почне дијелити на мање дијелове а модел усложњавати (нпр. дискусија у Michel, Perrin and Andréassian, 2006).

Табела 2.2. Преглед показатеља ефикасности коришћених за евалуацију мјесечних модела у литератури

РБ	Мјера ефикасности	Једначина	Распон	Циљна вриједн.	Референца
1	Средња квадратна грешка	$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - Q_o)^2}{n}$	$0 \div +\infty$	0	(Griffen 2014)
2	Средња квадратна грешка са логаритмованим протицајима	$MSLE = \frac{\sum_{i=1}^n (\ln Q_{m,i} - \ln Q_o)^2}{n}$	$0 \div \infty$	0	(Rwasoka и остали, 2014)
3	Неш-Сатклиф коефицијент ефикасности	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \bar{Q}_o)^2}$	$-\infty \div 1$	1	Xia и остали, 1997; Xiong и Guo, 1999; Xu, 2002b; Jiang и остали, 2007; Martinez и Gupta, 2010; Griffen, 2014; Rwasoka и остали, 2014)
4	Неш-Сатклиф рачунат са корјенованим протоцима	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_{o,i}} - \sqrt{Q_{m,i}})^2}{\sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_{o,i}} - \sqrt{\bar{Q}_o})^2}$	$-\infty \div 1$	1	(Bai и остали 2015)
5	Грешка у запремини отицаја	$WBE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n Q_{m,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}}$	$-\infty \div +\infty$	0	(Bai и остали 2015)
6	Коријен средње квадратне грешке	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2}$	$0 \div \infty$	0	(Jiang и остали, 2007; Chen, Chen и Xu, 2007; Conway, 1997)
7	Релативна грешка средњег протицаја као фракција протицаја и падавина	$\varepsilon_{sr,q} = \left \frac{\bar{Q}_o - \bar{Q}_m}{\bar{Q}_o} \right \cdot 100(\%)$ $\varepsilon_{sr,p} = \left \frac{\bar{Q}_o - \bar{Q}_m}{\bar{P}} \right \cdot 100(\%)$	$0 \div \infty$	0	(Martinez and Gupta 2010)
8	Релативна грешка у репродукцији варијабилности протицаја	$\varepsilon_{\sigma} = \left \frac{\sigma_o - \sigma_m}{\sigma_o} \right \cdot 100(\%)$	$0 \div \infty$	0	(Martinez and Gupta 2010)
9	Коефицијент корелације	$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)(Q_m - \bar{Q}_m)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_m - \bar{Q}_m)^2}}$	$-1 \div 1$	1	(Servat и Dezetter, 1993; van der Beken и Byloos, 1977; Yates, 1996; Sankarasubramanian и Vogel, 2002)
10	Грешка аутокорелације	$\varepsilon_{ACK} = ACK_o - ACK_m$	$-\infty \div +\infty$	0	(Servat and Dezetter 1993)

Табела 2.2. Преглед показатеља ефикасности коришћених за евалуацију мјесечних модела у литератури (наставак)

РБ	Мјера ефикасности	Једначина	Распон	Циљна вриједн.	Референца
11	Грешка запремине*	$VE = \frac{\left \sum_{i=1}^n (Q_{m,i} - Q_{o,i}) \right }{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}}$	0÷∞	0	(Servat и Dezetter, 1993; Xiong и Guo, 1999; Rwasoka и остали, 2014; Sankarasubramanian и Vogel, 2002)
12	Сумарна квадратна грешка	$SSE = \sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2$	0÷∞	0	(Mouelhi и остали, 2006)
13	Релативна грешка укупног максималног протицаја	$\varepsilon_{\max} = \frac{ Q_{\max,o} - Q_{\max,m} }{Q_{\max,o}}$	0÷∞	0	(Xiong и Guo, 1999; Rwasoka и остали, 2014)
14	Средња апсолутна грешка	$MAE = \frac{\left \sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i}) \right }{n}$	0÷∞	0	(Yates, 1996)
15	Клинг-Гупта показатељ ефикасности	$KGE = 1 - \sqrt{(R^2 - 1)^2 + (\alpha - 1)^2 + (\beta - 1)^2}$ R^2 – коефицијент корелације $\alpha = \frac{\sigma_m}{\sigma_o}, \beta = \frac{\bar{Q}_m}{\bar{Q}_o}$	-∞÷1	1	(Rwasoka и остали, 2014)
16	Средња квадратна деривативна грешка (грешка извода)	$MSDE = \frac{\sum_{i=1}^n [(Q_{o,i} - Q_{o,i-1}) - (Q_{m,i} - Q_{m,i-1})]^2}{n-1}$	0÷∞	0	(Rwasoka и остали, 2014)
17	Индекс слагања	$IoA = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{m,i})^2}{\sum_{i=1}^n (\bar{Q}_o - Q_{m,i} + \bar{Q}_o - Q_{o,i})}$	0÷∞	0	(Rwasoka и остали, 2014)

*Ова вриједност се у новијој литератури означава као *BIAS* односно пристрасност или %*BIAS* ако се израз помножи са 100, док се грешка запремине са ознаком *VE* у том случају дефинише као 1-*BIAS*.

2.8 Моделирање у климатски промјенљивим условима

2.8.1 Климатска варијабилност и промјене. Стационарност и нестационарност

Клима се дефинише као осредњени временски услови у дужем временском периоду (бар 30 година) док је климатска варијабилност одступање климатских показатеља (нпр. падавине и температуре) од средњих вриједности на мјесечном, годишњем или неком другом временском периоду (CSIRO 2015). Иако се о климатским промјенама и варијабилности говори као о новонасталом феномену чије су директне посљедице промјене у хидролошком режиму (Seola и остали, 2014), постоје мишљења да клима заправо никад није била константна и да је климатска варијабилност велика чак и за дугачке временске периоде реда величине у милионима година (Markonis и Koutsoyiannis, 2013). То практично значи да се промјене дешавају на свим временским периодима и да је оно што данас називамо климатским промјенама само природни циклус наше планете односно (једна од многих у историји планете Земље) фаза

отопљења у којој се тренутно налазимо (Koutsoyiannis 2013). Овакав приступ додатно наглашава потребу да хидролошки модели могу симулирати овакве промјене односно да су независни од хидроклиматских карактеристика калибрационог периода у смислу репродукције истих у периоду различитом од калибрационог.

Паралелно са коришћењем израза „климатска варијабилност“ и „климатске промјене“, користи се и израз „хидролошка нестационарност“ при објашњењу или дефинисању много појава. Нпр., Chiew и Vaze (2015) су навели да нестационарност описује:

„...од различитих веза клима-отицај евидентних у различитим периодима унутар дугачких хидроклиматских серија до промјена у хидроклиматским карактеристикама и доминантних хидролошких процеса у појачано топлијем свијету и богатијем са угљен диоксидам.“

Међутим, неки аутори се не слажу са оваквом употребом израза из простог разлога што појмови *стационарности* и *промјене* нису синоними; промјене су генерални појам док се стационарност може примјенити само на моделе (не на стварни свијет) и његова дефиниција се даје искључиво у оквиру стохастике (дискусија у Koutsoyiannis и Montanari, 2015). Koutsoyiannis и Montanari (2015) су дали класичну дефиницију стационарности:

„стационарни процес је процес чије се статистичке особине не мијењају током времена“.

Исти ови аутори предлажу да се израз *нестационарност* не користи у случајевима који се не могу предвидјети детерминистички, што је случај када се модели користе за предвиђање будућих догађаја (нпр. поплава, суша, утицаја сценарија климатских промјена на водне ресурсе, итд.) обзиром да будућност тешко може да се предвиди детерминистички.

Поред горе наведене дефиниције стационарности, Beven (2015) је класификовао нестационарност као епистемичку ¹ грешку. Према њему, постоје четири врсте нестационарности: нестационарност као стохастички процес, нестационарност у карактеристикама слива, нестационарност у граничним условима који се постављају моделу и нестационарност у резидуалима модела, која је посљедица претходне три.

2.8.2 Трансферабилност модела у времену

Да би модели били примјенљиви у нестационарним условима, очекује се да његови оптимални параметри буду трансферабилни (Hartmann and Bardossy 2005). То подразумијева да модел даје добре резултате не само у периоду калибрације већ и у другом периоду без обзира да ли се он разликује од калибрационог по хидроклиматским карактеристикама.

Један од најпознатијих оквира за тестирање су оперативни тестови које је предложио Клемеш (1986). Назвао их је *оперативним* због тога што су намијењени тестирању модела у ситуацијама када се њихови резултати примјењују у практичној примјени. Иако су тестови поприлично ригорозни (Andréassian и остали 2009), Клемеш је сматрао да представљају минимални стандард при провјери „*оперативне валидности*“ модела. Такође констатује да структура модела која ће проћи сва четири нивоа предложеног тестирања неће вјероватно бити постигнута у наредним деценијама. Тестови и њихова примјена су прегледно дати у табели 2.3. У посљедњој колони табеле 2.3 дати су примјери гдје су коришћени ови тестови. Примјећује се да је врло оскудан број

¹ Епистемичка грешка, појам настао од грчке ријечи *epistanaí* што значи знати, разумјети. Односи се на грешку која се прави услед недостатка знања, разумијевања и/или перцепције.

објављених радова гдје су примјењивани тестови 2 а нарочито 4 (тестови намијењени географској трансферабилности), вјероватно због тога што аутори не објављују радо лоше резултате (Oreskes 1998).

Табела 2.3. Тестови за провјеру трансферабилности хидролошких модела (Klemeš 1986)

РБ	Тест	Примјена	Употреба у истраживањима
1	Тест са подијељеним узорком (Split Sample Test, SST)	Основна валидација модела- Осмотрени подаци се подијеле на 2 дијела на којима се врши калибрација и валидација	Тест који се стандардно спроводи у пракси и у објављеним радовима (према Google Scholar претраживачу, у преко 1000 радова је спроведен овај тест при хидролошком моделирању у посљедњих 30ак година)
2	Тест слива-заступника	Основни тест географске трансферабилности-калибрација на сливу А, валидација на сливу В и обрнуто	(Refsgaard <i>и остали</i> , 1995; Refsgaard and Knudsen, 1996; C. Xu, 1999; Donnelly-Makowecki and Moore, 1999;Henriksen <i>и остали</i> , 2003; Jin <i>и остали</i> , 2009; Kizza <i>и остали</i> , 2013; Refsgaard <i>и остали</i> , 2013; Wrede <i>и остали</i> , 2013; dos R. Pereira <i>и остали</i> , 2016; Pontes <i>и остали</i> , 2016; Todorovic and Plavsic, 2016)
3	Диференцијални тест са подијељеним узорком (Differential Split Sample Test, DSST)	Основни тест климатске трансферабилности модела- осмотрени подаци се подијеле на два дијела гдје је један изразито влажан а други изразито сув. Калибрација се врши на једном и валидација на другом и обрнуто.	(Refsgaard, Storm and Refsgaard, 1995; Refsgaard and Knudsen, 1996; C. Xu, 1999; Donnelly-Makowecki and Moore, 1999; Seibert, 2003; Heuvelmans <i>и остали</i> , 2004; Hartmann and Bardossy, 2005; Wilby, 2005; Chiew <i>и остали</i> , 2009; Vaze <i>и остали</i> , 2010; Bastola <i>и остали</i> , 2011; Coron <i>и остали</i> , 2012; Seiller <i>и остали</i> , 2012; Li <i>и остали</i> , 2012; Teutschbein, 2013; Fowler <i>и остали</i> , 2016; Fowler <i>и остали</i> , 2018)
4	Тест слива-заступника са диференцијално подијељеним узорком	Тест климатске и географске трансферабилности- комбинација дрого и трећег теста	(Donnelly-Makowecki and Moore 1999, Xu 1999b, Son and Kim 2008)

У овој дисертацији, од четири нивоа тестирања дата у табели 2.3 од интереса су само тестови 1 и 3. Примјена овог посљедњег теста (DSST) показује значајан пад ефикасности модела при валидацији на периоду са различитим хидроклиматским карактеристикама, што је више пута наглашено у литератури (нпр. Klemeš, 1986; Seibert, 2003; Andréassian *и остали*, 2009; Merz, Paraјка и Blöschl, 2011; Тодоровић и Плавшић, 2016).

Резултати ових истраживања сугеришу да модели могу да се користе само у периодима са сличним хидроклиматским карактеристикама (Hartmann and Bardossy 2005, Le Lay *и остали* 2007, Li *и остали* 2012) или гдје су разлике ограничене на неки проценат (нпр. разлике у падавинама, Vaze *и остали*, 2010).

Као проширење ових тестова, неколико протокола за евалуацију модела су произашли у скорије вријеме. Coron *и остали* (2012) су формулисали генерализовани тест са подијељеним узорком (*Generalised Split Sample Test – GSST*) који подразумијева калибрацију модела у клизним 5-огодишњим периодима са растојањем од једне године између периода и валидацију на преосталим непреклапајућим периодима. Резултати су

показали пад ефикасности модела у периодима са различитим климатским показатељима (у односу на калибрациони), нарочито при промјени количине падавина.

Thirel *и остали* (2015) су успоставили евалуациони протокол за примјену на сливовима који су под утицајем климатских промјена или промјена коришћења земљишта (нпр. урбанизација, сјеча шума, пожари). У овом протоколу модел се калибрише на комплетном периоду и пет непреклапајућих периода (унутар комплетног) исте дужине, и валидацију на преосталим периодима (крос-валидација).

Дијагностички евалуациони оквир намијењен да препозна узроке лоше ефикасности модела у валидационом периоду су предложили Fowler *и остали* (2018). Овај оквир, који је базиран на DSST и састоји се од неколико корака, треба да установи шта смањује трансферабилност модела у климатски промјенљивим условима: структура модела, калибрациона стратегија или квалитет улазних података.

Поред ових примјера, има примјера гдје су периоди за калибрацију и валидацију модела специфично одабрани због њихових хидроклиматских карактеристика. Нпр. Vaze *и остали* (2010) су одабрали периоде према средњој вриједности падавина: четири водна и четири сушна периода са растућом дужином периода. Резултати крос-валидације са четири модела на 61 сливу упућују да модели генерално не би требало да се користе на периодима гдје су вриједности падавине ниже од 15% односно веће од 20% у односу на калибрациони период.

Значајно смањена ефикасност модела у сушном валидационом периоду је запажена и од стране Li *и остали* (2012) који су валидовали два модела на два најводнија и најсушнија периода на 30 сливова. Показали су да трансфер са водног на сушни период (калибрација на водном, валидација на сушном) даје прецијењене запремине отицаја док обрнут трансфер потцијењене.

Лошију ефикасност модела у трансферу са водног на сушни период него обрнуто су забиљежили и Seiller *и остали* (2012), који су такође показали да је трансферабилност модела боља са вишемоделским осредњавањем резултата у односу на резултате појединачног модела. Brigode *и остали* (2013) су примијенили различите калибрационе стратегије да би добили најбољу могућу ефикасност два модела у најсушнијем периоду на 89 сливова. Испитали су утицај калибрационог периода и начина оптимизације модела те показали да нити један приступ не резултује ефикасношћу модела која је бар блиска оној добијеној при калибрацији у најсушнијем периоду.

Osuch *и остали* (2015) су калибрисали и валидовали HBV модел на преклапајућим периодима дужине 5 година, помјераних за по једну годину, на четири слива. Открили су статистички значајну корелацију између Клинг-Гупта коефицијента ефикасности (KGE, Gupta *и остали*, 2009) и падавина: ниже вриједности KGE су добијене у сушнијим периодима.

Веома мали број студија је испитивао трансферабилност мјесечних билансних модела. Xu (1999) је спровео сва четири теста предложена од стране Klemeša (1986) на симулације WASMOD модела (Xu *и остали*, 1996; Xu, 2002b) на 11 сливова користећи релативну грешку протицаја као мјеру ефикасности модела. Резултати су показали добре перформансе модела у сва четири теста упућујући да је WASMOD погодан за симулације мјесечних и сезонских протицаја у стационарним и промјенљивим условима као да је географски трансферабилан (на друге сливове).

Hughes (2015) је примијенио Тирелов евалуациони протокол (Thirel *и остали*, 2015) на Питман мјесечном хидролошком моделу (Xu and Singh 1998) и закључио да ефикасност

много варира у односу на симулациони период без уочене зависности од хидроклиматских показатеља.

Занимљив приједлог моделирања са временски промјенљивим параметрима као рјешење проблема трансферабилности примјењен на двопараметарски МБХМ су дали Deng и остали (2019). Оквир моделирања се састоји из четири корака: (а) одређивање временски промјенљивих параметара (неком од техника за асимилацију података, нпр. Калманови филтери), (б) регресиона анализа између параметара и карактеристика сливова (нпр. NDVI, PET, P), (в) извођење функција за временски промјенљиве параметре (у виду линеарних, квадратних и кубних једначина, узимајући у обзир и вишеструку регресију) и (г) оцјена ефикасности оваквог модела се пореди са ефикасношћу истог у случају константних параметара. Резултати су зависни од слива али генерално су бољи у случају временски промјенљивих параметара, нпр. кад су оба параметра модела временски промјенљиви. У том случају, на једном сливу је побољшање NSE доста мало (1.7% и без побољшања у KGE вриједности) док је на другом сливу NSE бољи за 1% док је KGE за значајних 8.6%. Међутим, било је и примјера кад су резултати најбољи при константној вриједности параметра капацитета влажности тла.

2.9 Побољшање структура хидролошких модела

Раније у тексту (поглавља 2.3 и 2.4) било је ријечи о перцепцији и концептуализацији хидролошких модела што доводи до формирања њихове структуре. У овом поглављу даје се преглед развоја хидролошког модела са аспекта анализе ваљаности структуре (концепта) модела (поглавље 2.9.1) као и преглед могућих мањкавости у структурама концептуалних хидролошких модела (поглавље 2.9.2).

2.9.1 Развој и хипотезе хидролошког модела

Према општем концепту развоја хидролошког модела датог у поглављу 2.4, може да се сачини много алтернативних структура модела што је случај у тренутној хидролошкој пракси (Clark и остали, 2011). Иако су ови модели међусобно веома различити по начину концептуализације хидролошких процеса, њихова ефикасност у симулацији осмотрених протицаја је доста слична (нпр. Alley, 1984; Duan и остали, 2006; Jiang и остали, 2007). Претпоставља се да је разлог велика неизвјесност у осмотреним подацима и у концепту хидролошких процеса унутар модела (Hornberger and Spear 1981, Beven and Freer 2001, Pfister and Kirchner 2017). Провјера ваљаности модела (тј. његове перцепције, концептуализације) би морала да се састоји од свеобухватне анализе више аспеката модела, обзиром да структуру модела чини више хипотеза (Pfister and Kirchner, 2017). Из класичног тестирања ваљаности модела наспрам осмотрених протицаја тешко се може закључити који процеси су заслужни за његову добру или лошу ефикасност, иако има оваквих примјера (поглавље 2.9.2). У овом процесу, методе за вишеструко тестирање хипотеза (Clark и остали, 2008, 2015; Clark и остали, 2011; Fenicia и остали, 2011), између осталих (комплетан преглед у Pfister and Kirchner, 2017; стр. 1796), представљају моћан алат. С друге стране, неки аутори сматрају да су опције попут примјене метода вишемоделског осредњавања резултата или њихове екстензије (нпр. Marshall и остали, 2007) један од начина за умањење неизвјесности структуре модела.

2.9.2 Могуће мањкавости у структурама хидролошких модела

У прегледаној литератури, најчешћи начини идентификације мањкавости у структури модела су:

1. Кроз анализу промјене параметара при калибрацији на различитим периодима,
2. Кроз анализу утицаја различитих формулација (хипотеза) о хидролошким процесима у структури модела на ефикасност модела,
3. Преко метода вишеструких хипотеза за хидролошко моделирање,
4. Кроз увођење временски промјенљивих параметара.

У наставку се даје неколико примјера из литературе гдје су ове методе примијењене и који су резултати добијени, односно који дијелови структуре модела су оцијењени као најслабији.

Анализа промјене параметара при калибрацији на различитим периодима

Идеја да су параметри модела нестабилни у времену потиче још од шездесетих година, ако не и раније (Lin and Beck 2007). Један од одличних примјера ове анализе дали су Wagener *и остали* (2003) са динамичком анализом идентификабилности параметара у којој се идентификабилност (изражена преко резидуала тј. мјере ефикасности модела) рачуна у покретном временском периоду (нпр. 10 дана, мјесец, 3 мјесеца и слично). На овај начин се лако уочава промјенљивост оптималне вриједности сваког параметра у времену која је јасан индикатор мањкавости структуре модела, или како су појаснили Wagener *и остали* (2003):

„постоји јасна инконзистенција у начину како се модел прилагођава осмотреним подацима слива.“

Уз помоћ ове анализе, аутори су закључили да постоје проблеми у структури анализираног концептуалног модела везани за параметре који контролишу удио воде из резервоара тла који ће постати или допуна подземља или директни отицај и количину стварне евапотранспирације. За први проблем предложили су увођење динамичке компоненте тако да овај дио воде буде зависан од стања влажности тла.

Reusser и Zehe (2011) су проширили претходну анализу на симултану анализу временске промјенљивости ефикасности модела уз промјенљивост параметара (тачније њихове осјетљивости). Испоставило се, на примјеру WaSiM-ETH модела и једног слива са Чешко-Њемачке границе, да су најосјетљивији параметри везани за процес снијега, директног отицаја и донекле међуотицаја. Међутим, нема јасне везе са промјеном ефикасности у тим периодима који би конкретно упутили на одређену компоненту модела која је узрок лоше ефикасности.

Merz *и остали* (2011) су анализирали оптималне параметре при калибрацији HBV модела на 273 аустријска слива на 6 непреклапајућих периода дужине 5 година и закључили да су параметри снијега и влажности тла изузетно варијабилни са промјеном калибрационог периода што објашњавају порастом температуре и *PET*. Са овим порастом, максимални капацитет влажности тла расте чиме се мијењају услови отицања на сливу.

Herman *и остали* (2013) су анализирали три модела, Humod, HBV и Sacramento на 12 сливова у источној САД у циљу проналажења доминантних параметара и процеса. Закључили су да се доминантни параметри разликују у зависности од модела, иако неки од њих имају сличну једначину за прорачун неке компоненте. Тако нпр. за Humod параметри запремине тла (горњи резервоар) доминирају у дугорочном билансу, за Sacramento то су параметри евапотранспирације, директног отицаја и перколације док за HBV, доминантни параметри зависе од године (да ли је водна или сушна) па тако у сушнијим годинама доминантни параметри су везани за залихе воде у тлу (као код Humod) док у воднијим годинама за расподјелу воде између запремине воде у тлу и подземног резервоара.

У новије вријеме неколико аутора је радило на анализи промјене параметара у времену уз помоћ метода изједначавања података (*data assimilation*), попут Калмановог филтера, уз закључак да је веома ефектна метода за идентификацију варијабилности параметара (нпр. Deng *и остали* 2016 на примјеру мјесечног модела, Pathiraja *и остали* 2017 на примјеру дневног модела).

Анализа утицаја различитих хипотеза о хидролошким процесима у структури модела

Alley (1984) је анализирао утицај двије промјене у структури Т модела (Thorntwaite and Mather 1955) на његове перформансе: увођењем директног отицаја као фракције α од количине падавина (Т α модел) и промјеном начина прорачуна влажности тла и алокације вишка воде тако да допуна подземља може да се деси и кад постоји дефицит влаге у тлу (Т γ модел). Обје верзије модела дају мало побољшање ефикасности.

Seibert *и остали* (2003) су увели динамичко ажурирање максималне запремине влажности у тлу, узимајући у обзир да се запремина незасићене зоне смањује кад се повећава ниво подземних вода, и добили максимално повећање ефикасности модела за 5%.

Hughes (2004) је додао нове компоненте у Питман мјесечни билансни модел, допуну подземља и отицај из подземних аквифера. Резултати указују на мало побољшање у ефикасности модела али велико у смислу вјеродостојности процеса генерисања отицаја.

Fenicia *и остали* (2008) су пробали неколико структура модела, од најједноставније до комплексне и просторно дистрибуиране, да би боље разумјели понашање слива и одредили доминантне процесе на сливу. Дошли су до неколико интересантних закључака на основу тога која формулација неког хидролошког процеса доводи до побољшања ефикасности модела. Најважнији од њих је да је ефикасност модела веома осјетљива на претходно стање влажности на сливу те да иста зависи од процеса интерцепције као и просторне расподјеле како компоненти модела (стања) тако и падавина. У нешто ранијем раду (Fenicia *и остали* 2007), модел коме је додана интерцепција и комплекснија репрезентација допуне подземља је показао много бољу ефикасност у односу на претходну верзију модела.

Martinez and Gupta (2010) су увели модул снијега у структуру *abcd* модела и закључили да је у неколико сливова (од 764 анализираних) са доминантним процесом снијега значајно побољшање ефикасности док више од 78% сливова има побољшање NSE мање од 0.05.

Hughes *и остали* (2013) су измијенили структуру GR4J модела додајући граничну вриједност у запремини (влажности) тла и промјеном формулисања прорачуна стварне *ET* којим се омогућава веће „памћење“ ове варијабле из претходних година. Добили су мало побољшање ефикасности (између 1.1-2.5%, у зависности од слива) али бољу везу између запремине влажности тла и осмотрене дубине до подземних вода.

Hughes and Vaze (2015) су, слично као Seibert *и остали* (2003), предложили динамичку промјену максималне влажности тла у горњем резервоару. Нису тестирали ово потенцијално побољшање модела али су закључили да би овакав приступ у моделирању био непходан у ситуацијама гдје се дешавају дуготрајне промјене у запреминама како незасићене тако и засићене зоне (нпр. у југо-западној Аустралији).

Fowler *и остали* (2018) су показали на примјеру IHACRES модела (Jakeman and Hornberger 1993) да побољшана структура даје доста боље резултате при калибрацији и валидацији модела на периодима са доста различитим климатским условима. Побољшање се односило на промјену начина прорачуна дијела воде из резервоара тла

који одлази у подземни резервоар (перколација): уведена је нелинеарна веза између индекса влажности слива и поменутог отицаја као и праг индекса влажности који мора бити пређен да би се падавине претвориле у отицај.

Методe вишеструких хипотеза за хидролошко моделирање

Методe вишеструких хипотеза за хидролошко моделирање (Clark *и остали*, 2011) су се појавиле у посљедњих 10-так година као алтернатива фиксним моделима и вишемоделском осредњавању. Једна од њих је *FUSE (Framework for Understanding Structural Errors; Clark и остали, 2008)* унутар које може да се бирају алтернативне опције прорачуна влажности тла на основу неколико постојећих модела. На овај начин, дефинисано је 79 различитих структура модела (комбинацијама хипотеза о хидролошким процесима из 4 постојећа модела) који су тестирани на примјеру два слива. Резултати показују да је ефикасност једнако добра као и код основна 4 модела, тј. да генерално нема значајног побољшања. Веће побољшање ефикасности се примјећује на сушнијем сливу, док на влажнијем сливу највећу ефикасност показује структура у којој је површински отицај параметризован тако да количина воде у засићеној зони зависи од запремине у нижем слоју тла. Staudinger *и остали* (2011) су коришћењем *FUSE* на једном норвешком сливу закључили да хипотеза индивидуалног процеса не утиче битно на ефикасност модела, али зато комбинације хипотеза више процеса (у њиховом случају у доњем -подземном резервоару, процеса потповршинског течења и перколације) веома утичу.

Fenicia *и остали* (2011) су отишли корак даље и у свом моделском оквиру са вишеструким хипотезама о хидролошким процесима, кога су назвали *SUPERFLEX*, дали опцију генерисања нових хипотеза комбинацијама постојећих „блокова“: елемената резервоара (формирање запремине и испуштање отицаја из ових запремина), елементи функција кашњења (пренос и кашњење флуксева) и елементи чворова (спајање и раздвајање флуксева). Поред вишеструких формулација различитих процеса, напредак се огледа и у напреднијим нумеричким методама коришћеним за њихово рјешавање. У примјени (Kavetski and Fenicia 2011), показало се да не постоји једна структура модела која показује највећу ефикасност на свим анализираним сливовима што говори да за сваки слив, због његових карактеристика, постоји једнакостена структура модела која му највише одговара. Такође, није случај да модели са комплекснијим структурама дају боље резултате. Модел са једноставнијом структуром на поједним сливовима је показао једнако добру ефикасност као и комплекснији.

Конкретније резултате су добили van Esse *и остали* (2013) који су формирали 12 алтернативних структура модела унутар *SUPERFLEX-a* и примјенили их на 237 сливова. Уочили су да модели који имају резервоар незасићене зоне тла и који користе степену функцију за прорачун ове компоненте дају боље резултате. Увођење друге степене функције није дало побољшање као ни додавање функције кашњења и резервоара за интерцепцију. Генерално, резултати су бољи на влажнијим у односу на сушније сливова.

Један од примјера метода вишеструких хипотеза је и Оквир за процесно оријентисано хидролошко моделирање *SUMMA (Structure for Unifying Multiple Modeling Alternatives)* дефинисан од стране Clark *и остали* (2015). *SUMMA* представља збир једначина одржања постављених за основне хидролошке и термодинамичке варијабле са алгоритмима за њихово нумеричко рјешавање.

Увођење временски промјенљивих параметара у структуру модела

У посљедњих 15-ак година доста радова је објављено на ову тему гдје су, иначе константни параметри, замијењени промјенљивим у виду зависности (линеарне,

ступене, логаритамске,...) од климатских и других карактеристика сливова. Ове зависности су обично добијене регресионом анализом (Paik *и остали* 2005, Du *и остали* 2013, Westra *и остали* 2014, Deng *и остали* 2018, Sadegh *и остали* 2019), неком од метода изједначавања података попут Калмановог филтера (нпр. Deng *и остали* 2016, 2019, Pathiraja *и остали* 2016, 2017, Xiong *и остали* 2019) а има и примјера употребе вјештачких неуронских мрежа (Wallner and Haberlandt 2015). Сви аутори су пријавили веће или мање побољшање ефикасности модела, зависно од анализираног модела и примјера слива на коме је метод примијењен.

Нпр. Westra *и остали* (2014) су на GR4J моделу увели промјену да параметар максималне влажности тла варира у времену као комбинација линеарног тренда и сезонске и годишње варијабилности и добили су боље резултате модела. Модел је додатно још значајније побољшан увођењем више слободе (додавањем новог параметра) у једначину раздвајања нето кише између површинског и подземног резервоара. Други примјер увођења динамичког параметра максималне влажности тла, овај пут у виду растуће Вејбулове функције (Nijzink *и остали* 2016), није дао значајно повећање ефикасности модела.

Zeng *и остали* (2019) су провјерили трансферабилност GR4J модела са временски промјенљивим параметрима користећи DSST. Само осјетљиви параметри су дефинисани као временски промјенљиви и то у виду регресионе функције падавина, *PET* или нормализованог индекса разлике у вегетацији (NDVI). Највеће релативно повећање ефикасности од 88% се добија на једном од периода валидације кад се осјетљиви параметар замијени функцијом од све три величине, *P*, *PET*, NDVI. Средња вриједност релативног повећања ефикасности на свих 26 валидационих периода је добијена око 15% што је веома обећавајуће.

Радови од Deng *и остали* (2018) и Deng *и остали* (2019) су ријетки примјери анализе мањкавости у структури мјесечних билансних модела уопште. У ранијем раду (Deng *и остали* 2018), два параметра модификованог *abcd* модела су задата са годишњом расподјелом (за сваки мјесец једна вриједност) добијеном из установљене зависности од вегетације (NDVI) и варијабилности падавина (процент кишних дана у мјесецу) што је дало мало повећање ефикасности модела. У новијем раду (Deng *и остали* 2019), варијабилност параметара је одређена уз помоћ Калмановог филтера а затим је успостављена корелација са *P*, *PET* и NDVI. Уношењем ових израза у двопараметарски мјесечни модел, показало се да побољшање ефикасности модела зависи од слива до слива; нпр. максимални капацитет тла за воднији слив може остати константан јер нема значајног побољшања ефикасности док код сушнијег слива има.

2.10 Методе осредњавања резултата више модела

Обзиром да се показало да ниједан модел нема бољу ефикасност у односу на остале, аутори су предложили осредњавање резултата више модела као начин побољшања неизвјесности резултата и симулације отицаја.

Метода вишемоделског осредњавања (ВМО) резултата или комбиновање више предикција се помиње још крајем шездесетих година прошлог вијека (Bates and Granger 1969). Касније су произашли многи радови на ту тему (преглед у Clemen 1989 и Ajami *и остали* 2006) са идејом да један модел носи једне врсте претпоставки и информација а да се њиховим комбиновањем добијају бољи резултати модела (Oudin *и остали* 2006). Вишемоделским осредњавањем резултата у литератури су се постизала боља слагања са осматраним подацима у односу на сваки модел појединачно (нпр. Ajami *и остали* 2006;

Vrugt and Robinson 2007; Block *u остали* 2009; Diks and Vrugt 2010; Nicolle *u остали* 2014; Arsenault *u остали* 2015). Осим тога, комбинација резултата више модела, са свим њиховим манама и погодностима, води ка конзистентнијим и поузданијим резултатима симулација обзиром да садрже више информација (Hagedorn *u остали* 2005).

Процедура ВМО се углавном састоји из два дијела (Oudin *u остали* 2006 и тамо поменуте референце):

- (a) Одабир одговарајућих структура модела,
- (b) Одабир методе за вишемоделско осредњавање.

Метода за ВМО има много, од једноставних које узимају средњу вриједност резултата више модела до веома комплексних. Сматра се да је и најједноставнији метод средње вриједности бољи од резултата појединачних модела (Bates and Granger 1969, Ајами *u остали* 2006, Seiller *u остали* 2012). Генерално, методе ВМО могу да се подијеле на:

- (1) Осредњавање са једнаким пондерисаним вриједностима за све моделе (аритметичка средина),

$$Q_{m,avg} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{m,i}^t \quad (2.8)$$

- (2) Пондерисано осредњавање (Cavadias and Morin 1986),

$$Q_{m,avg} = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot Q_{m,i}^t \quad (2.9)$$

- (3) Једноставно осредњавање у виду линеарне регресије са слободним чланом (Georgakakos *u остали* 2004) гдје пондерисане вриједности могу бити једнаке или различите.

$$Q_{m,avg} = \bar{Q}_o + \sum_{i=1}^n \alpha_i (Q_{m,i}^t - \bar{Q}_m) \quad (2.10)$$

У горњим једначинама $Q_{m,avg}$ је резултат осредњавања n модела са $Q_{m,i}^t$ моделираним протицајима i -тог модела у тренутку t и пондерисаним вриједностима (тежински фактор) α_i . Поред тога, \bar{Q}_o и \bar{Q}_m су средње вриједности осмотрених и моделираних протицаја, респективно, на комплетном периоду на коме се врши осредњавање.

Све ове методе користе пондерисане вриједности те се у зависности од њиховог одређивања разликују и методе осредњавања. Најједноставније начин њиховог одређивања је преко варијансе модела при минимизирању средње квадратне грешке (Bates and Granger 1969). Још један начин је коришћење обичне методе најмањих квадрата без ограничења (сума пондерисаних вриједности не мора бити једнака јединици) и корекције пристрасности (Granger and Ramanathan 1984) или са ограничењем и корекцијом пристрасности (Arsenault *u остали* 2015). Raftery (1993) и Raftery *u остали* (2005) су предложили коришћење Бајесове методе осредњавања која третира накнадне (*posterior*) функције расподеле вјероватноће појединог модела као пондерисане вриједности. На тај начин, тотална функција расподеле вјероватноће вишемоделских резултата је пондерисана условна вјероватноћа сваког од модела (најчешће дефинисана као нормална расподела) гдје су пондерисане вриједности накнадне вјероватноће модела (видјети Raftery *u остали* 2005, стр. 1158). Тежински фактори могу да се одреде и преко Акаике (Akaike 1974) или Бајесовог (Schwarz 1978) информационог критеријума као што су предложили Buckland *u остали* (1997) и Burnham and Anderson (2001). Оптимизациони алгоритми такође могу да послужују ове

сврхе ако се пондерисане вриједности третирају као параметри модела, као што су радили (Arsenault *и остали* 2015). Shamseldin *и остали* (1997, 2007) су за калибрацију тежинских фактора користили вјештачке неуронске мреже док постоје методе које комбинују Малоус (Mallows) критеријум (пенализована сума квадрата резидуала преко броја параметара и варијансе модела) и оптимизациони алгоритам за калибрацију пондерисаних вриједности (Diks and Vrugt 2010).

У прегледаној литератури, аутори нису много разматрали одабир модела већ одабир методе, најчешће поредећи више њих. Нпр., Ајами *и остали* (2006) су поредили четири различите методе и закључили да чак и једноставно аритметичко осредњавање даје боље слагање него било који анализирани појединачни модел, док се комплекснијим методама добија још боље слагање. Diks and Vrugt (2010) су поредили 7 различитих метода и предложили Гренџер-Раманатан (*Granger-Ramanathan*) методу која је једнако добра као и компликоване (попут Бајесове методе осредњавања) а много једноставнија за коришћење. Такође су нагласили да се пондерисаним вриједностима треба дозволити да узимају негативне вриједности јер су се те методе показале најбоље. Arsenault *и остали* (2015) су поредили 9 различитих метода и такође предложили Гренџер-Раманатан методу коју су модификовали тако што нису поставили ограничење суми пондерисаних вриједности али су кориговали одступање средњих протицаја.

Нешто другачији приступ су показали Oudin *и остали* (2006) осредњавајући резултате истог модела али добијене при калибрацији са различитим циљним функцијама. Такође, ВМО је базирано на једноставном осредњавању с тим што је пондерисана вриједност временски варијабилна. Слично овоме, Marshall *и остали* (2007) су предложили екстензију метода ВМО у виду оквира у коме се пондерисане вриједности добијају динамички као временски промјенљиве.

Li and Sankarasubramanian (2012) су примијенили ВМО на симулацијама мјесечних билансних модела. Предложили су динамичко ВМО са временски промјенљивим пондерисаним вриједностима који комбинује резултате више модела дајући већу пондерисану вриједност моделима са највећом ефикасношћу. Добијене резултате су поредили са класичним ВМО (са фиксним пондерисаним вриједностима) под претпоставком да нема грешака у осмотреним вриједностима протицаја и са генерисаним синтетичким грешкама. Резултати су показали да је динамичко ВМО боље од статичког као и од сваког појединачног модела, нарочито у случају присуства грешака у осматрањима протицаја.

У табели 2.4 дат је преглед једначина за прорачун пондерисаних вриједности.

Табела 2.4. Преглед једначина за прорачун пондерисаних вриједности (ПВ) у вишемоделском осредњавању (прилагођено према Diks и Vrugt 2010)

Начин одеђивања ПВ	Једначина
Једнаке тежине	$\alpha_i = \frac{1}{n}$
Бејтс-Гренџер	$\alpha_i = \frac{1}{\hat{\sigma}_i^2 \sum_{j=1}^n \hat{\sigma}_j^2}$
Гренџер-Раманатан	$\alpha_i = (X^T X)^{-1} X^T Y$
Информациони критеријум	$\alpha_i = \frac{\exp(-I_i / 2)}{\sum_{j=1}^n \exp(-I_j / 2)}$ $I_i = -2 \log(L_i) + q(p_i)$
Бајесово осредњавање (ПВ су веће или једнаке нули и њихова сума износи 1)	$\alpha_{BMA} = \max \left\{ \sum_{t=1}^n \log \left(\sum_{i=1}^k f_{i,t}(Y_t) \right) \right\}$ $f_{i,t}(Y_t) = (2\pi\sigma_i^2)^{-0.5} \exp \left(-(Y - X_{i,t})^2 / (2\sigma_i^2) \right)$ $\alpha_{BMA} \geq 0 \& \sum_{i=1}^n \alpha_{BMA} = 1$
Бајесово осредњавање у контексту линеарног регресионог модела (ПВ могу бити негативне а сума не мора бити једнака 1)	$\alpha_{BMAlin} = \max \left\{ \sum_{i=1}^n \log(h_t(Y_t)) \right\}$ $h_t(Y_t) = (2\pi\sigma^2)^{-k/2} \exp \left(- \left(Y_t - \sum_{i=1}^k \alpha_i X_{i,t} \right)^2 / (2\sigma^2) \right)$
Малоус критеријум	$\alpha_M = \min \left\{ \sum_{t=1}^n (Y_t - \beta' X_t)^2 + 2 \sum_{j=1}^k \alpha_j p_j S^2 \right\}$
Оптимизација (калибрација)	Изрази 2.8-2.10 се оптимизују неким од оптимизационих алгоритама

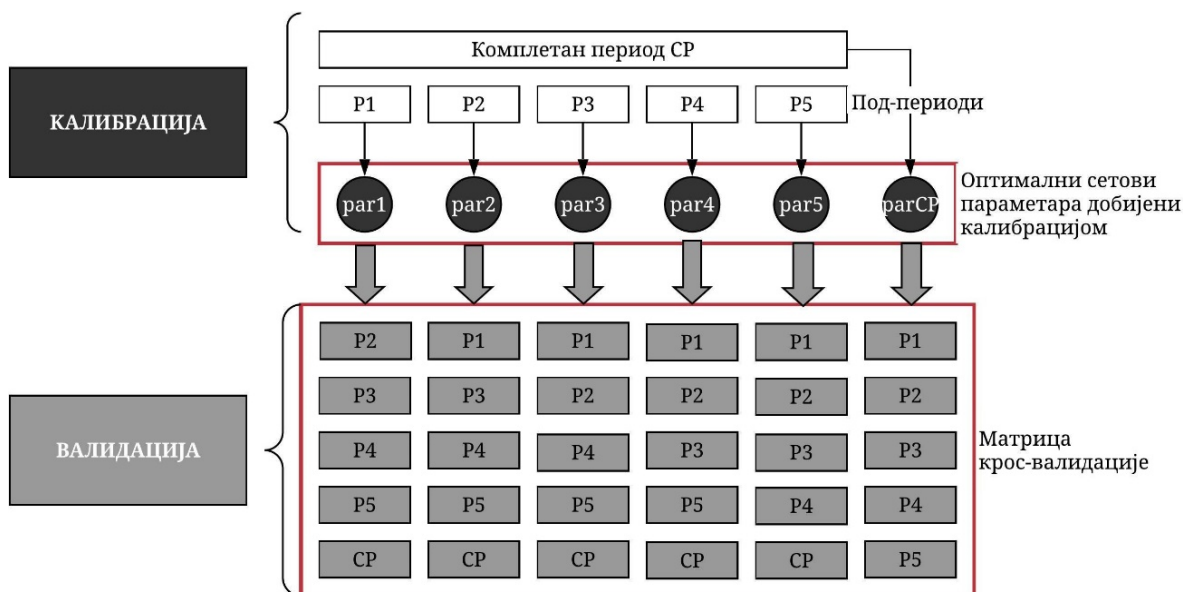
k - број модела у ВМО; α_i - пондерисана вриједност за i -ти модел
 $\hat{\sigma}_i$ - варијанса узорка разлика симулација модела и више модела $Y - X_{i,t}$
 X - матрица симулираних вриједности k модела дужине n ; Y - вектор резултата вишемоделског осредњавања ; L_i - вјероватноћа i -тог модела (нпр. изражена преко вриједности RMSE); p_i - број параметара i -тог модела
 α_{BMAlin} и α_{BMAlin} - вектори пондерисаних вриједности у Бајесовом осредњавању (процјена се добија заједно са вектором непознатих варијанси резидуала $(Y_t - X_{i,t})$)
 α_M - вектор вриједности у осредњавању са Малоус критеријумом; n - дужина калибрационог низа; $f_{i,t}$ - густина расподеле i -тог модела у временском тренутку t
 S - процјењена варијанса, нпр. најмања вриједност RMSE међу свим моделима

3 МЕТОДОЛОГИЈА ИСТРАЖИВАЊА

3.1 Преглед методологије истраживања

Основно питање на које ова дисертација жели да одговори јесте: како развити модел који ће бити робустан за примјену у промјенљивим климатским условима? Развој модела прије свега подразумијева структуре модела, а затим избор периода расположивих података за калибрацију и валидацију модела и избор методе калибрације (оптимизације параметара). За једну изабрану структуру модела, у развоју модела се могу примијенити различите калибрационе стратегије, које укључују избор калибрационог и валидационог периода као и начин калибрације (једнокритеријумска или вишекритеријумска оптимизација).

У овој дисертацији, разматрана су два приступа моделирању у погледу избора периода за калибрацију и валидацију модела који се, према прегледаној литератури, сматрају адекватним за примјену модела у климатски промјенљивим условима. Први приступ се заснива на протоколу предложеном од стране Thirela *и осталих* (2015). Према овом приступу, комплетан период (CP) расположивих података осматрања дијели се на 5 потпериода исте дужине који се не преклапају. Модел се калибрише прво на комплетан период затим на 5 потпериода након чега се валидује на преосталих 5 периода. Овакав поступак се може схватити и као поступак крос-валидације. Слика 3.1. даје шематски приказ овог протокола, који ће даље у тексту да се обиљежава као приступ моделирању 1 или ПМ1. Овај приступ је базиран на DSST предложеном од стране Klemeša (1986) и генерализован слично као у Согон *и остали* (2012) са разликом што се потпериоди не преклапају.



Слика 3.1. Шематски приказ протокола моделирања према Тирелу.

У другом приступу, који представља класични DSST, CP је подијељен на два периода, од којих је један узастопни низ „сушних“ година а други је комплементаран њему односно представља остатак расположивих података. При одабиру „сушног“ периода (надаље ће

се обиљежавати као SP) логичан избор би било одабрати одређени број најсувљих година у периоду осматрања, без обзира да ли су једна иза друге поређане хронолошки. Међутим, при анализи суша у Аустралији показало се да је важно да су године узастопне због урачунавања претходног стања слива који утиче на саму појаву суше (Fowler, 2017). Другим ријечима, дужина трајања суше је једнако важна као и њена магнитуда. Из овог разлога, у овом другом приступу, CP је подијељен на сушни и водни период који се надаље означавају као SP и VP. Ова стратегија омогућава провјеру резултата са нешто дужим периодима у поређењу са потпериодима у ПМ1 који су доста кратки (6-8 година). Имајући на уму да се сматра да дужина калибрационог периода у случају МБХМ-а треба бити најмање 10 година (Görgens 1983, Xu and Vandewiele 1994, Gibbs *и остали* 2018) као и чињеницу да је DSST начин калибрације много уобичајенији од претходне, уврштен је у анализу. Слика 3.2. приказује шему другог приступа, који ће се даље означавати као приступ моделирања 2 или ПМ2.

Подјела на наведене периоде за калибрацију и валидацију за сваки појединачни слив дата је у поглављу 4.



Слика 3.2. Шематски приказ протокола моделирања према приступу DSST.

Приказани приступи моделирању су примјењени у оквиру евалуационог оквира којим се омогућава оцјена ефикасности модела у промјенљивим климатским условима. Калибрација модела је спроведена кроз једнокритеријумску, а потом кроз вишекритеријумску оптимизацију параметара модела. Евалуациони оквир треба да омогући анализу утицаја структуре модела на његове перформансе, па ће укључити анализу различитих показатеља ефикасности (статистичких показатеља и хидролошких потписа), анализу конзистентности параметара у калибрационим периодима, као и анализу конзистентности симулираних компоненти водног биланса.

У овом поглављу се најприје даје опис разматраних МХБМ-а и описује се поступак калибрације тј. оптимизације параметара. Поглавље 3.4 се бави евалуационим оквиром као централном темом дисертације. Посљедње поглавље приказује приступ који је примијењен за вишемоделско осредњавање резултата симулација и за оцјену употребљивости тог приступа у односу на примјену једног модела.

3.2 Структуре тестираних мјесечних билансних модела

У овом поглављу даје се детаљни приказ структура појединачних МБХМ-а који су коришћени у овом истраживању. Од много модела који су представљени у научној свјетској литератури, овдје је за истраживање одабрано 6, водећи се сљедећим критеријима:

- Броју радова гдје су модели коришћени,
- Специфичности у структури модела, нпр. да би се истраживањем покрио што већи распон различитих структура МБХМ-а,
- Према прелиминарним резултатима класичне калибрације и валидације тј. модели са лошим резултатима су одбачени.

3.2.1 *abcd* модел

Thomas (1981) је дефинисао *abcd* мјесечни билансни модел са четири параметра: a , b , c и d . Модел је базиран на концепту који је предложио Thornthwaite (1948) али са доста реалнијом концептуализацијом инфилтрације која допушта генерисање отицаја чак и у условима незасићеног горњег резервоара тла (Martinez and Gupta 2010). Прва два параметра модела, a и b , се односе на горњу незасићену зону тла. Параметар a представља могућност за формирање отицаја прије него се горњи резервоар тла засити а параметар b је капацитет влажности горње зоне тла. Параметар c дефинише расподјелу количине воде између подземног резервоара и отицаја из горњег резервоара. Посљедњи параметар d дефинише количину базног отицаја.

Улазни подаци потребни за симулације су мјесечне падавине P и мјесечна потенцијална евапотранспирација PET . Модел се састоји из два повезана резервоара: горњи резервоар или запремина воде у тлу S и доњи резервоар или запремина подземне воде G . Модул снијега није предвиђен у моделу али се може лако додати (нпр. Martinez и Gupta, 2010).

Једначина континуитета постављена за контролну запремину воде у тлу гласи:

$$P_i - ET_i - R_i - Q_d = \Delta S_i = S_i - S_{i-1} \quad (3.1)$$

Након преуређивања, једначина може да се запише у облику:

$$(P_i + S_{i-1}) = (ET_i + S_i) + R_i + Q_d \quad (3.2)$$

Одакле се сада јасно издвајају двије варијабле, расположива вода и потребна вода или потенцијал за испаравање (Sankarasubramanian and Vogel 2002).

Расположива вода у сваком мјесецу i , X_i , се дефинише као сума од P_i и влажности тла из претходног мјесеца S_{i-1} :

$$X_i = P_i + S_{i-1} \quad (3.3)$$

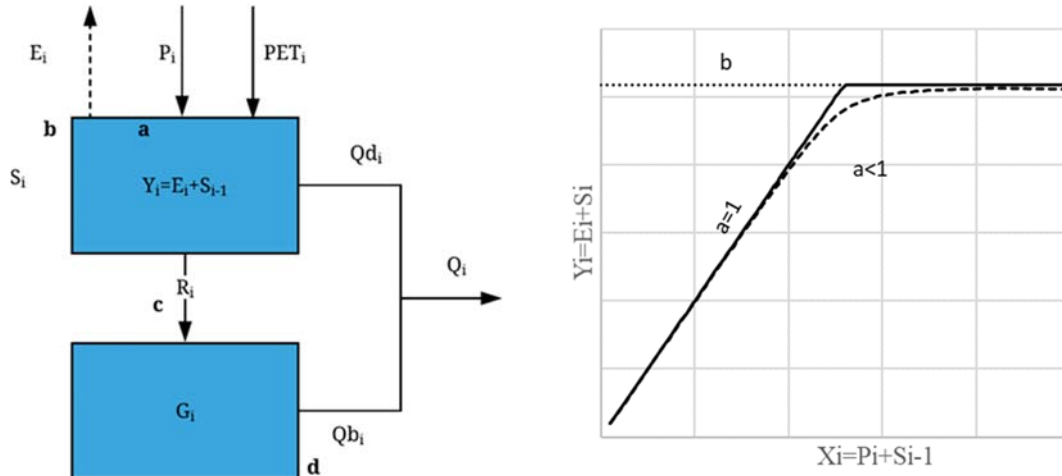
Потенцијал за ET , Y , представља суму ET и влажности тла из претходног мјесеца S_{i-1} и одређен је нелинеарном функцијом од X :

$$Y_i = ET_i + S_{i-1} = \frac{X_i + b}{2a} - \sqrt{\left(\frac{X_i + b}{2a}\right)^2 - \frac{X_i \cdot b}{a}} \quad (3.4)$$

Ова функција је ограничена одозго са вриједношћу параметра b и $a=1$. Како расположива вода X_i , или „понуда“, расте тако се „потражња“ односно потенцијал за ET

асимптотски приближава вриједности параметра b . Кад X_i опада, извод dY/dX се приближава јединици па отицај и допуна подземља тежи ка нули (Слика 3.3).

Thomas (1981) је навео да функција дата једначином (3.4) нема посебно функционално значење те да било која функција код које важи да је $Y'(0)=1$ и $Y'(\infty)=0$ може да се користи.



Слика 3.3. Шематска структура $abcd$ модела (лијево) и границе функције потражње (десно)

Стварна евапотранспирација ET представља разлику између потенцијала за испаравање Y_i и влажности тла за тај мјесец S_i :

$$ET_i = Y_i \left[1 - \exp\left(-\frac{PET_i}{b}\right) \right] \quad (3.5)$$

Параметар c контролише у ком омјеру се расподјељује вода између директног отицаја Q_d и допуне подземља R , гдје важи према једначини (3.2):

$$X_i - Y_i = Q_{d,i} + R_i \quad (3.6)$$

односно:

$$Q_{d,i} = (1-c)(X_i - Y_i) \quad (3.7)$$

$$R_i = c(X_i - Y_i) \quad (3.8)$$

Запремина подземне воде се рачуна из биланса подземних вода:

$$G_i = R_i + G_{i-1} - Q_b \quad (3.9)$$

Одакле се добија израз,:

$$G_i = \frac{1}{1+d} \left[c(X_i - Y_i) + G_{i-1} \right] \quad (3.10)$$

Базни отицај Q_b је пропорционалан запремини подземне воде гдје коефицијент пропорционалности представља параметар d :

$$Q_{b,i} = d \cdot G_i \quad (3.11)$$

Коначан отицај са слива је сума базног и директног:

$$Q_i = Q_{b,i} + Q_{d,i} \quad (3.12)$$

Модел претпоставља да брзина опадања влажности тла након падавина услијед ET је пропорционална PET те да је коефицијент пророрционалности једнак S_i / b који рефлектује степен засићења тла:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{S}{b} PET \quad (3.13)$$

Рјешење ове једначине за $t = 1$ мјесец доводи до израза за прорачун влажности тла у мјесецу i :

$$S_i = Y_i \exp\left(-\frac{PET_i}{b}\right) \quad (3.14)$$

Специфичност овог модела у односу на већину других је што се отицај може формирати чак и када горњи резервоар није засићен. Параметар a је повезан са параметром b преко сљедеће функције:

$$a = f(b) = \frac{2b}{Y(b)} - \left(\frac{b}{Y(b)}\right)^2 \quad (3.15)$$

и представља тенденцију слива за отицај прије постизања капацитета влажности тла. Вриједност овог параметра може да буде било која између 0 и 1, с тим да се приближава јединици за равније сливове са ниском густином дренажања. Урбанизација и сјеча шума на сливу може да смањи вриједност овог параметра. Параметар b представља горњу границу запремине S и генерално узима веће вриједности при симулацијама на водним сливовима а мање на сушним.

Из биланса слива добија се сљедећа једнакост:

$$\frac{S_i}{b} = \frac{X_i - Q_i - \Delta S_i - \Delta G_i}{PET_i} \quad (3.16)$$

гдје су $\Delta S_i = S_i - S_{i-1}$ и $\Delta G_i = G_i - G_{i-1}$ промјене у запреминима воде у тлу и подземљу, респективно. Аутор модела је уочио да је први члан са десне стране, X_i / PET_i коришћен од стране климатолога за класификацију свјетских климатских региона. Обзиром на допуну са хидролошким промјенљивим (преостала три члана са десне стране једначине (3.16)), ова формула може да се користи за класификацију сливова.

У сљедећој табели дат је упоредни приказ опсега параметара за аутоматску калибрацију и то теоријских вриједности, коришћених од стране других аутора и у овој дисертацији.

Табела 3.1. Границе вриједности параметара *abcd* модела

Параметар	a	b	c	d
Теоријски опсег	0-1	n/a	0-1	0-1
Alley (1984)	0.975-0.999	14-50	0.01-0.46	0.07-1
Vandewiele, Xu и Ni-Lar-Win (1992)	0.96-0.999	260-1900	0.04-0.7	0.0003-0.415
Martinez и Gupta (2010)	0.873-0.999	133-922	0-1	0-1
Wang и Zhou (2016)	0.91-0.97	33-179	0.68-0.97	0.05-0.19
Sankarasubramanian и Vogel (2002)	0.91-0.99	348-1550	0-1	0-1
Ова студија	0.87-0.999	50-1900	0-1	0-1

3.2.2 Budyko модел

Овај модел је развио Zhang *и остали* (2008) а на основу Будико концепта о средњем годишњем водном билансу (Budyko 1958). Будико претпоставља да је водни биланс контролисан односом расположиве воде (нпр. падавине) и атмосферске потражње (односно потенцијала за испаравање) што се најчешће поистовјећује са *PET*. Наведени Будико концепт је даље унапријеђен од стране Milly (1993, 1994) и Zhang *и остали* (2001) убацивањем додатних варијабли попут карактеристика вегетације на површини слива. Fu (1981) је предложио емпиријску једначину за прорачун *ET* водећи се Будиковим концептом о понуди и потражњи:

$$\frac{ET}{P} = 1 + \frac{PET}{P} - \left[1 + \left(\frac{PET}{P} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \right]^{1-\alpha} \quad (3.17)$$

Zhang *и остали* (2008) су генерализовали овај облик једначине у смислу односа понуде и потражње према Будико концепту те су све остале компоненте модела рачунали преко ове генерализоване формуле:

$$F(\varphi, \alpha) = 1 + \varphi - \left(1 + \varphi^{\frac{1}{1-\alpha}} \right)^{1-\alpha} \quad (3.18)$$

У претходној једначини, је φ однос граничне потражње и понуде а α је параметар модела скалиран да узима вриједности између 0-1, гдје високе вриједности представљају високу ефикасност искоришћења расположиве воде.

Модел је концептуализован као систем од два резервоара: резервоар зоне коријења (горњи слој тла) и подземних вода. У билансу слива, претпоставља се да се падавине раздвајају на директни отицај и суму осталих компоненти водног биланса:

$$P_i = Q_{d,i} + X_i \quad (3.19)$$

Величина X представља ретензију воде коју слив задржава за *ET*, промјену влажности тла $S_i - S_{i-1}$ и допуну подземља R_i и дефинисана је изразом:

$$X_i = P_i \cdot F\left(\frac{X_0}{P}, \alpha\right) = P_i \cdot \left\{ 1 + \frac{X_{0,i}}{P_i} - \left[1 + \left(\frac{X_{0,i}}{P_i} \right)^{\frac{1}{1-\alpha}} \right]^{1-\alpha} \right\} \quad (3.20)$$

У овој једначини гранична потражња је $X_{0,i} = (S_{\max} - S_{i-1}) + PET_i$, гдје је S_{\max} максимална запремина резервоара у зони коријења и представља параметар модела, а падавине P су гранична понуда, односно према ознакама у једначини (3.18), $\varphi = \frac{X_o}{P}$. У претходној једначини, a_1 је параметар модела.

Са познатом ретензијом слива, директни отицај се рачуна према изразу:

$$Q_{d,i} = P_i - X_i \quad (3.21)$$

Слично моделу *abcd*, потенцијал за ЕТ се дефинише као сума ЕТ и влажности тла:

$$Y_i = ET_i + S_i \quad (3.22)$$

У Будико моделу ова величина се рачуна поново из аналогије са Фу-овом једначином:

$$Y_i = W_i \cdot \left\{ 1 + \frac{PET_i + S_{\max}}{W_i} - \left[1 + \left(\frac{PET_i + S_{\max}}{W_i} \right)^{\frac{1}{1-a_2}} \right]^{1-a_2} \right\} \quad (3.23)$$

Гранична потражња за Y_i је $PET_i + S_{\max}$ а гранична понуда је расположива вода W_i . Расположива вода је збир ретензије слива и влажности горњег резервоара у претходном мјесецу:

$$W_i = X_i + S_{i-1} \quad (3.24)$$

Слично претходном изразу за Y_i , стварна ЕТ се рачуна као производ расположиве воде W_i и Фу-ове једначине облика $F\left(\frac{PET}{W}, a_2\right)$:

$$ET_i = W_i \cdot \left\{ 1 + \frac{PET_i}{W_i} - \left[1 + \left(\frac{PET_i}{W_i} \right)^{\frac{1}{1-a_2}} \right]^{1-a_2} \right\} \quad (3.25)$$

гдје је a_2 параметар модела. Уочава се да је гранична потражња за ЕТ једнака PET док је гранична понуда W_i .

Тренутна влажност зоне коријења се рачуна као разлика потенцијала за ЕТ и стварно реализоване ЕТ, односно:

$$S_i = Y_i - ET_i \quad (3.26)$$

Надопуна подземља се рачуна из једноставне разлике расположиве воде и потенцијала за ЕТ:

$$R_i = W_i - Y_i \quad (3.27)$$

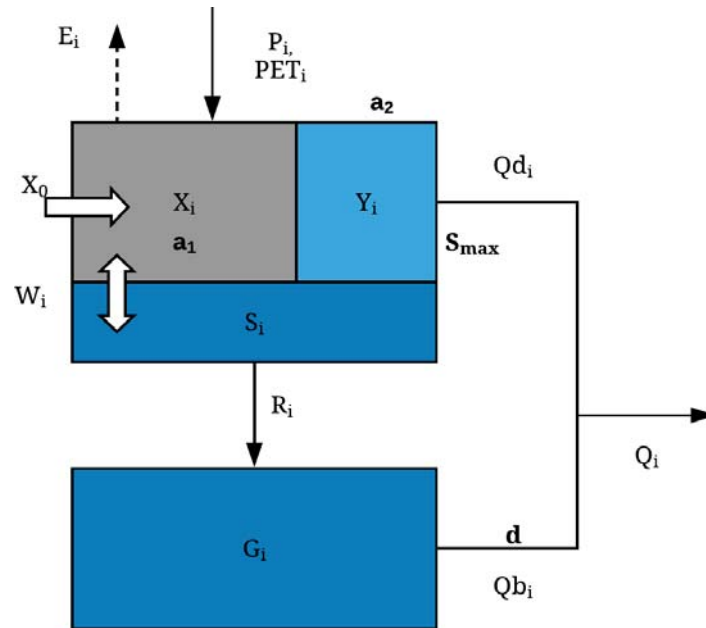
Запремина воде у подземном резервоару се рачуна из једначине:

$$G_i = (1-d) \cdot G_{i-1} + R_i \quad (3.28)$$

гдје је d посљедњи параметар модела. Базни отицај је пропорционалан количини подземне воде у претходном мјесецу, односно:

$$Q_{b,i} = d \cdot G_{i-1} \quad (3.29)$$

Наведени параметри модела представљају ефикасност ретензирања падавина на сливу a_1 , ефикасност евапотранспирације a_2 , максимална запремина резервоара у зони коријења S_{\max} и параметар линеарне везе запремина-отицај (Zhang и остали 2008). Шематски приказ структуре Будико модела, или како га је Zhang назвао динамички билансни модел, је приказан на слици 3.4.



Слика 3.4. Шематски приказ структуре Будико модела.

Табела 3.2 приказује граничне вриједности параметара Будико модела коришћених при калибрацији у литератури и у овој дисертацији.

Табела 3.2. Границе вриједности параметара Будико модела.

Параметар	a_1	a_2	S_{\max}	d
Теоријске вриједности	0-1	0-1	n/a	0-1
Zhang и остали (2008)	0-5	0-5	50-500	0-1
Wang и остали (2011)	1-10	1-10	5-1000	0-1
Tekleab и остали (2011)	0-1	0-1	100-600	0-1
Li и остали (2012)	1-5	1-5	5-500	0.01-1
Ова студија	0.1-0.9	0.1-0.9	50-300	0.1-1

3.2.3 GR2M

GR2M модел предложили су Mouelhi (2003) и Mouelhi и остали (2006) а на платформи модела који су раније развили Edijatno и Michel (1989) и Makhlouf и Michel (1994). Модел се састоји од два повезана резервоара названих резервоар продукције S односно количина воде у тлу и резервоар усмјеравања G односно резервоар подземних вода.

Mouelhi и остали (2006) су поступно дошли до ове варијанте модела са два параметра од почетне структуре од 5 параметара (GR5M) искључујући преостале параметре након доказивања да перформансе модела нису значајно боље са њима (нпр. параметар перколације је фиксиран, закључено је да директни отицај фигурише само ван подземног резервоара и капацитет подземног резервоара је фиксиран на вриједност од 60mm).

У овој двопараметарској варијанти модела, количина воде у тлу се услијед падавина и тренутне влажности тла повећава на вриједност $S_{1,i}$:

$$S_{1,i} = \frac{S_i + X_1 \varphi_i}{1 + \varphi_i \frac{S_i}{X_1}}, \quad \varphi = \operatorname{tg} \left(\frac{P_i}{X_1} \right) \quad (3.30)$$

Гдје је X_1 први параметар модела који представља максимални капацитет продуктивног резервоара S . У овом кораку, вишак падавина се дефинише изразом:

$$P_{1,i} = P_i + S_i - S_{1,i} \quad (3.31)$$

Одзимањем стварне ET , са сличном нелинеарном функцијом долази се до ажуриране вриједности расположиве воде у тлу $S_{2,i}$:

$$S_{2,i} = \frac{S_1 (1 - \psi_i)}{1 + \psi_i \left(1 - \frac{S_{1,i}}{X_1} \right)}, \quad \psi_i = \operatorname{tg} \left(\frac{PET_i}{X_1} \right) \quad (3.32)$$

Из овога произилази да је стварна ET разлика претходних влажности:

$$ET_i = S_{1,i} - S_{2,i} \quad (3.33)$$

Запремина воде у тлу расположива за сљедећи мјесец се добија из израза:

$$S_i = \frac{S_{2,i}}{\left[1 + \left(\frac{S_{2,i}}{X_1} \right)^3 \right]^{1/3}} \quad (3.34)$$

Нова запремина воде у тлу даје нову вриједност вишка падавина:

$$P_{2,i} = S_{2,i} - S_i \quad (3.35)$$

Укупна количина нето падавина која стиже у подземље је сума претходних количина:

$$P_{3,i} = P_{1,i} + P_{2,i} \quad (3.36)$$

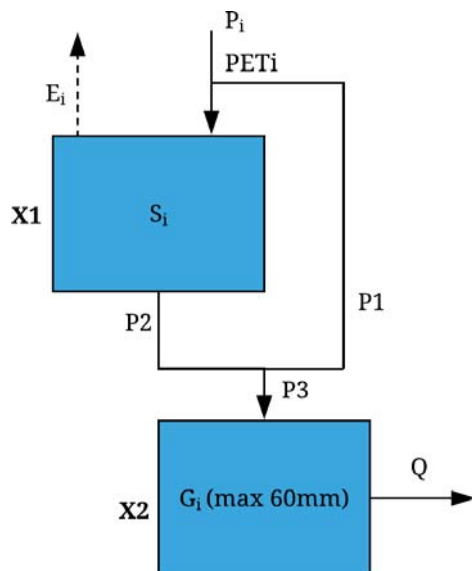
Расположива вода у подземном резервоару представља збир залиха из претходног мјесеца и дотицаја из незасићеног резервоара тла:

$$G_{1,i} = G_{i-1} + P_{3,i} \quad (3.37)$$

Ажурирана количина воде у подземном резервоару је тада:

$$G_{2,i} = X_2 \cdot G_{1,i} \quad (3.38)$$

гдје је X_2 други параметар модела и представља фактор размјене воде. Нпр. ако је већи од један, постоји дотицај воде на слив са сусједних сливова.



Слика 3.5. Шематски приказ структуре GR2M модела

Укупни отицај са слива се тада дефинише као:

$$Q_i = \frac{G_{2,i}^2}{G_{2,i} + 60(\text{mm})} \quad (3.39)$$

гдје је максимални капацитет резервоара подземних вода фиксиран на вриједност од 60mm. Ажурирана количина воде у подземним резервоарима спремна за сљедећи мјесец се добија из израза:

$$G_{i+1} = G_{2,i} - Q_i \quad (3.40)$$

Код овог модела интересантно је што подземни резервоар нема ниједног параметра за калибрацију. Умјесто тога, фактор размјене воде слива са околним сливовима, параметар X_2 , коригује отицај. Аутори дискутују о овом параметру да би лако могао бити схваћен управо као корекциони фактор али исто тако и као параметар размјене воде са околином на подземном нивоу, као величина која постоји у стварним условима и не може бити игнорисана (Mouelhi и остали 2006).

Параметарски простор који се дефинише за аутоматску калибрацију је одређен минималном и максималном вриједношћу параметара. У табели 3.3 дате су ове вриједности према препорукама из литературе и оне коришћене у овој дисертацији.

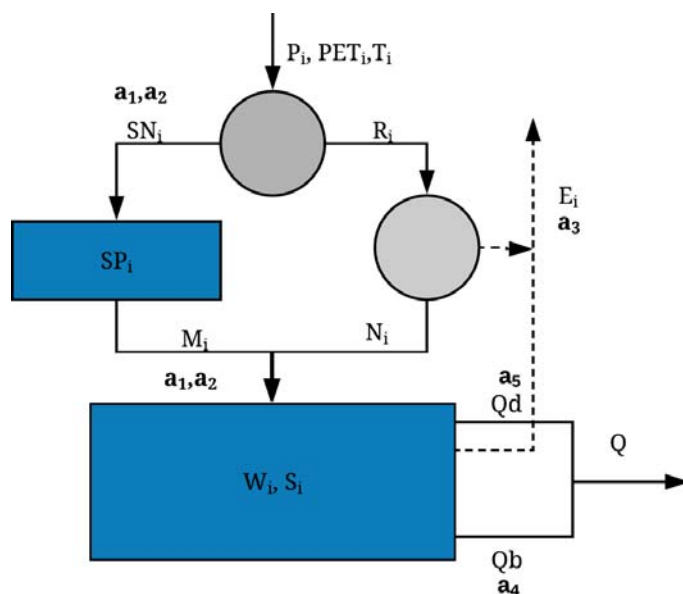
Табела 3.3. Граничне вриједности параметара GR2M модела

Параметар	X_1	X_2
Теоријска вриједност	≥ 0	≥ 0
Mouelhi и остали (2006)	140-2640	0.21-1.31
Rwasoka и остали (2014)	630-1210	1.9-2.2
Ова студија	100-2500	0.2-2

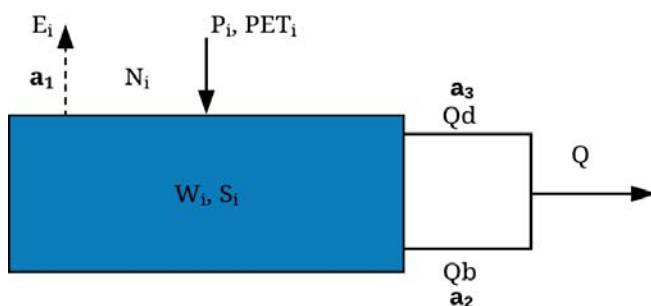
3.2.4 WASMOD

WASMOD (*the Water And Snow balance MODelling system*) (Xu и остали 1996, Xu and Halldin 1997, Xu 2002b, 2002a) је мјесечни билансни модел специјално дизајниран за симулације отицаја на сливовима са доминантним утицајем снијега, односно на сливовима сјеверне хемисфере (NOPEX: A Northern hemisphere climate Processes land-surface Experiment Project). Концепт модела је базиран на VUB моделу који су предложили раније Vandewiele, Xu и Ni-Lar-Win (1992). WASMOD има пет параметара са модулом снијега док без модула снијега има само три. Може да се уведе додатни шести параметар ако се *PET* рачуна унутар модела. Састоји се од запремине воде у тлу и запремине снијега те нема запремину подземних вода (Слика 3.6).

А)



В)



Слика 3.6. Шематски приказ структуре WASMOD модела: А) са снијегом, В) без снијега.

Падавине се прво раздвајају на снијег и кишу. Снијег се рачуна из једначине:

$$SN_i = P_i \left\{ 1 - e^{\left(\frac{T_i - a_1}{a_1 - a_2} \right)^2} \right\} \quad (3.41)$$

Гдје су a_1, a_2 параметри модела који представљају граничне температуре које одређују задржавање и топљење снијега и услов $a_1 \geq a_2$ мора бити испуњен. Преостали износ падавина представља кишу:

$$R_i = P_i - SN_i \quad (3.42)$$

Количина отопљеног снијега која се додаје запремини воде у тлу се добија из израза:

$$M_i = SP_{i-1} \left\{ 1 - e^{-\frac{(T_i - a_2)^2}{(a_1 - a_2)}} \right\} \quad (3.43)$$

Гдје је T_i средња мјесечна температура.

Висина сњежног покривача се рачуна као збир висине сњежног покривача из претходног мјесеца и палог снијега у текућем мјесецу од чега се одузима количина отопљеног снијега која се придружила резервоару у тлу:

$$SP_i = SP_{i-1} + SN_i - M_i \quad (3.44)$$

Из претходног је јасно да се као почетни услов у моделу треба поставити висина сњежног покривача на почетку симулације.

Расположива вода у резервоару тла представља збир кише и претходне влажности тла:

$$W_i = R_i + S_{i-1} \quad (3.45)$$

Xu, Seibert и Halldin (1996) су предложили два израза за прорачун стварне ET која прате идеју да ET расте са порастом PET_i и W_i , увијек је мања од PET_i и W_i , асимптотски се приближава PET како расположива вода тежи бесконачности и узима вриједност 0 када су PET или W_i једнаки 0:

$$ET_i = \min \left\{ W_i \left[1 - e^{-a_3 PET_i} \right], PET_i \right\} \quad (3.46)$$

$$ET_i = \min \left\{ PET_i \left(1 - a_3 \frac{W_i}{\max(PET_i, 1)} \right), W_i \right\} \quad (3.47)$$

Гдје је a_3 трећи параметар за који важи $a_3 \geq 0$ у изразу (3.46), а $0 \leq a_3 \leq 1$ у изразу (3.47). За мање вриједности овог параметра већи су губици на ET .

Спори отицај је компонента слична базном отицају но аутори су избјегавали да га тако зову због идеје да није исправно говорити о базном отицају на мјесечном нивоу. У WASMOD-у спори отицај је функција влажности тла:

$$Q_{b,i} = a_4 \cdot S_{i-1}^{b_1} \quad (3.48)$$

Гдје су a_4 и b_1 ненегативни параметри који су веома корелисани. Стога је предложено да b_1 узме вриједност 1 или 2 (0 или $\frac{1}{2}$ за аридна и семи-аридна подручја) те да ће бар једна од ових вриједности погодовати за предметни слив. Параметар a_4 контролише дио отицаја који се појављује као базни отицај те веће вриједности овог параметра производе веће базне отицаје.

За прорачун брзог (директног) отицаја, уводи се појам ефективне кише која представља остатак кише након извршене ET :

$$N_i = R_i - PET_i \left(1 - e^{-\frac{R_i}{\max(PET_i, 1)}} \right) \quad (3.49)$$

Сада се може срачунати брзи отицај према изразу:

$$Q_{d,i} = a_5 \cdot S_{i-1}^{b_2} \cdot (N_i + M_i) \quad (3.50)$$

Гдје су a_5 и b_2 такође ненегативни параметри и слично као код спорог отицаја, параметру b_2 може да се додијели вриједност 1 или 2. Параметар a_5 ће порасти у случају урбанизације и повећаног директног отицаја а мање вриједности се очекују за сливове са израженом шумом (Xu 2002a).

Укупан отицај са слива представља збир спорог и брзог отицаја, односно:

$$Q_i = Q_{b,1} + Q_{d,i} \quad (3.51)$$

Нова вриједност количине воде у тлу спремна за наредни мјесец се добија из једначине водног биланса:

$$S_i = S_{i-1} + R_i + M_i - ET_i - Q_i \quad (3.52)$$

У овој дисертацији, вриједност параметара b_1 и b_2 је фиксирана на вриједност 1 јер се прелиминарним симулацијама показало да се са том вриједношћу постижу бољи резултати модела у односу на остале вриједности.

Табела 3.4. Граничне вриједности параметара WASMOD-а.

Параметар	a1	a2	a3	a4	a5
Xu (2002b)	0.97-2.35	-2.67÷-1.45	3.34 x10 ⁻³ - 0.79	7.9x10 ⁻⁵ -5x10 ⁻⁴	8.1x10 ⁻⁶ - 2.55x10 ⁻³
Westerberg и остали (2011)	n/a	n/a	0-1	10 ⁻⁹ -1	10 ⁻⁷ -10 ⁻⁴
Westerberg и остали (2014)	n/a	n/a	0-1	10 ⁻¹² -1	10 ⁻¹¹ -1
Ова студија	0-15	-15-0	0-0.1	0.001-0.3	10 ⁻⁵ -0.1

3.2.5 WatBal модел

Прву верзију овог модела разрадили су Kaczmarek и Krasuski (1991) и Kaczmarek (1993) под називом CLIRUN, док је надограђену верзију, која се овдје и представља, предложио (Yates 1996). WatBal се састоји из једног резервоара, зоне влажности тла те водни биланс укључује падавине, ET и отицај док PET служи као покретач одузимања влажности из резервоара тла. Главна намјена овог модела је била процјена утицаја климатских промјена на водне ресурсе чиме је модел посебно занимљив за предметно истраживање. У оригиналној верзији, постоји дио у структури модела за прорачун PET по методи Priestley-Taylor. Посебност модела је представљање једначине континуитета за контролну запремину (слив) у диференцијалном облику гдје су отицај, ET и

инфилтрација зависни од релативне запремене $z = \frac{S_i}{S_{\max}}$. Диференцијална једначина

континуитета односно водног биланса за слив је:

$$S_{\max} \frac{dz}{dt} = P_{eff}(t) - Q_d(t) - Q_s(z,t) - Q_{ss}(z,t) - ET(PET, z, t) - Q_b \quad (3.53)$$

P_{eff} – ефективна киша (након апстракције сњежног покривача)

S_{max} – максимални капацитет влажности тла

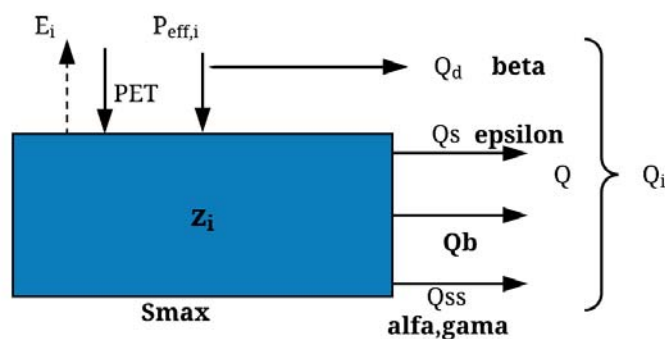
Q_d – директни отицај

Q_s – површински отицај

Q_{ss} – потповршински отицај

Q_b – базни отицај.

Једначина (3.53) се рјешава нумерички, предиктор-коректор методом. Шематски приказ модела дат је на слици 3.7.



Слика 3.7. Шематски приказ WatBal модела.

Директни отицај је пропорција ефективних падавина, односно:

$$Q_d(t) = \beta \cdot P_{eff}(t) \quad (3.54)$$

Гдје је β други параметар модела. Површински отицај је функција релативне влажности, ефективних падавина и временског корака t и јавља се само ако су ефективне падавине веће од унапријед дефинисаног базног отицаја:

$$Q_s(z, t, P_{eff}) = \begin{cases} z^\epsilon (P_{eff} - Q_b) & \text{за } P_{eff} > Q_b \\ 0 & \text{за } P_{eff} \leq Q_b \end{cases} \quad (3.55)$$

Занимљиво је што је базни отицај заправо параметар модела и његова константна вриједност се добија калибрацијом. Величина ϵ је четврти параметар модела.

Потповршински отицај се добија из степене функције зависности од релативне влажности и два параметра:

$$Q_{ss} = \alpha z^\gamma \quad (3.56)$$

Стварна ET је нелинеарна функција PET и z облика:

$$ET(z, PET, t) = PET \left(\frac{5z - 2z^2}{3} \right) \quad (3.57)$$

Ефективне падавине су посебан модул унутар овог модела и њихов прорачун је базиран на процесу топљења снијега:

$$P_{eff,i} = mf_i(A_{i-1} + P_i) \quad (3.58)$$

Гдје су P_i осмотрене падавине у мјесецу i , mf_i је фактор топљења снијега дефинисан изразом:

$$mf_i = \begin{cases} 0 & \text{за } T_i \leq T_s \\ 1 & \text{за } T_i \geq T_l \\ \frac{T_i - T_s}{T_l - T_s} & \text{за } T_s < T_i < T_l \end{cases} \quad (3.59)$$

Док се акумулација снијега A рачуна из израза:

$$A_i = (1 - mf_i)(A_{i-1} + P_i) \quad (3.60)$$

Величина T_i је средња мјесечна температура а T_s и T_l су доња и горња граница температуре у процесу топљење/смрзавање које се одређују калибрацијом.

WatBal има укупно 8 параметара за оптимизацију: S_{max} параметар који представља максимални капацитет влажности тла, параметар β који одређује директни отицај, константну вриједност базног отицаја Q_b , параметар ε који дефинише степен функције зависности од релативне влажности за прорачун површинског отицаја, параметре α и γ који дефинишу степену функцију зависности од релативне влажности тла за прорачун потповршинског отицаја и параметре T_s и T_l који представљају доњу и горњу границу температуре у процесу накупљања и топљења снијега.

У прегледаној литератури нису експлицитно дате границе вриједности параметара те су у овом истраживању одређене методом пробавања. Почетне вриједности су преузете из Yates (1996) а на основу тамо представљене калибрације два слива у сјеверној Америци. Симулацијама на сливовима који се користе у овом докторату, итеративно су подешене границе за калибрацију.

Табела 3.5. Границе вриједности параметара WatBal модела

Параметар	T_s	T_m	S_{max}	ε	α	β	γ	Q_b (mm/mj)
Yates (1996)	-3	6	295-400	1-1.7	12.3	0-0.1	2	0.15-6
Ова студија	-15÷0	0-10	100-700	0.5-3	0-12	0-0.4	0-6	0-15

3.2.6 XIN'ANJIANG модел (XAJ)

Xinanjiang (Zhao и остали 1980) је концептуални хидролошки модел у широкој употреби у водним и семи-аридним подручјима Кине. Главна одлика овог модела је систем попуњености запремина гдје се отицај не генерише док влажност аерационе зоне (зоне коријења) не постигне капацитет влажности тла. Оригиналноост овог модела је статистичка расподела капацитета влажности тла у свакој тачки слива чиме постаје модел дистрибуиране вјероватноће (Lu and Li 2014) односно семи-дистрибуирани модел (Liu и остали 2001).

Оригинални модел је развијен за симулације са временским кораком од једног сата односно једног дана. Варијанта модела коришћена у овој дисертацији је нешто модификовани модел у односу на оригинални представљен у Zhao (1992) и Li (2014). Модификације се односе на број резервоара у тлу; у оригиналном моделу горњи резервоар влажности тла се представља са три резервоара: горњи, нижи и дубоки и из сваког се посебно рачуна ET . У коришћеној варијанти модела запремина воде у тлу је представљена са једним резервоаром, јер се сматрало непотребним уводити додатне параметре у модел а укупна ET је представљена збирно као ET из горњег, нижег и дубоког слоја резервоара тла.

Хетерогеност слива по питању капацитета влажности тла се описује параболичном кривом:

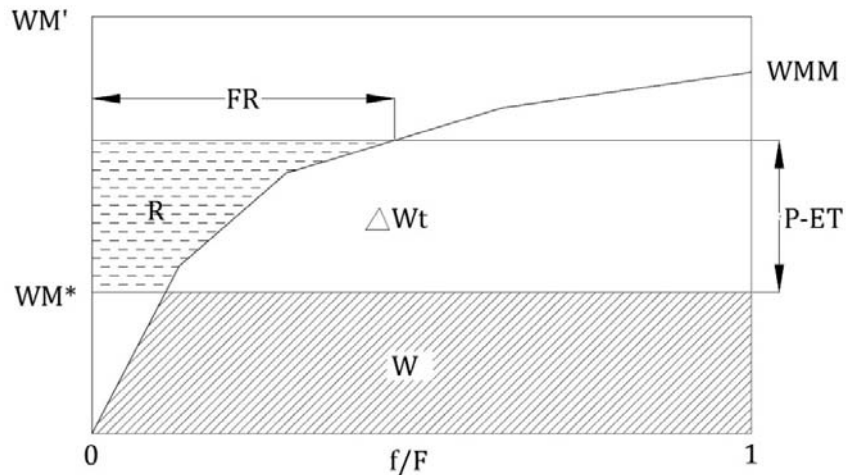
$$\frac{f}{F} = 1 - \left(1 - \frac{WM'}{WMM}\right)^b \quad (3.61)$$

гдје је F површина слива, WM' капацитет влажности тла у тачки за који вриједи $0 \leq WM' \leq WMM$, WMM представља максимални капацитет тла за цијели слив, b је параметар модела. Крива зависности WM' и f/F је приказана на слици 3.8.

Средњи капацитет влажности тла на сливу, WM , представља интеграл $(1 - f/F)$ између $WM' = 0$ и $WM' = WMM$, односно:

$$WM = WMM \frac{1 - IMP}{1 + b} \quad (3.62)$$

Гдје IMP представља удио непропусних површина на сливу.



Слика 3.8. Крива капацитета влажности тла у зависности од фракције слива у ХАЈ моделу.

Средња влажност тла слива у тренутку t је интеграл $(1 - f/F)$ између 0 и критичне влажности тла у тренутку t , WM^* :

$$W = WM \left[1 - \left(1 - \frac{WM^*}{WMM}\right)^{1+b} \right] \quad (3.63)$$

одакле се добија вриједност критичног капацитета влажности који одговара Wt :

$$WM^* = WMM \left[1 - \left(1 - \frac{W}{WM} \right)^{\frac{1}{1+b}} \right] \quad (3.64)$$

Отицај R се формира када влажност тла достигне максимални капацитет (Слика 3.8) а количина отицаја зависи од односа нето падавина (P-ET), WM^* и WMM :

$$\begin{aligned} &\text{Ако је } P_i - ET_i + WM_i^* < WMM \\ R_i &= P_i - ET_i - \Delta W_i = P_i - ET_i - WM + W_i + \\ &WM \left[1 - \frac{(P_i - ET_i + WM_i^*)}{WMM} \right]^{1+b} \end{aligned} \quad (3.65)$$

$$\begin{aligned} &\text{Ако је } P_i - ET_i + WM_i^* \geq WMM \\ R_i &= P_i - ET_i - WM + W_i \end{aligned}$$

Стварна ET у оригиналном раду одакле је преузет концепт модела се дефинише као PET у горњем слоју док се не исцрпе резерве воде, у нижем слоју је:

$$ET_i = PET_i \cdot \frac{WL_i}{WM} \quad (3.66)$$

гдје је WL тренутна влажност у нижем резервоару. Када овај однос, $\frac{W_i}{WM}$ достигне неку вриједност C , у дубоком слоју ET износи:

$$ET_i = C \cdot PET_i \quad (3.67)$$

Ако се горњи слој тла представи као један резервоар, стварна ET се може дефинисати на сљедећи начин:

$$\begin{aligned} &\text{за } \frac{W_i}{WM} > C, \quad ET_i = PET_i \cdot \frac{W_i}{WM} \\ &\text{за } \frac{W_i}{WM} \leq C, \quad ET_i = C \cdot PET_i \end{aligned} \quad (3.68)$$

Укупан отицај се раздваја на површински и подземни. Оригиналан модел има још и међуотицај који није неопходан при моделирању на мјесечном нивоу а број параметара се његовим искључењем смањује за два. По сличном принципу генерисања укупног отицаја приказаног на слици 3.8, генерише се површински отицај што је приказано на слици 3.9.

Zhao (1992) уводи нови резервоар, запремина слободне воде на сливу SM' са максималним капацитетом SMM . Слично као код критичне влажности тла WM^* , дефинише се критична вриједност слободне воде:

$$SM^* = SMM \left[1 - \left(1 - \frac{S}{SM} \right)^{\frac{1}{1+Ex}} \right] \quad (3.69)$$

гдје је SM средња вриједност капацитета запремине слободне воде односно параметар модела. Максимални капацитет ове запремине на цијелом сливу се дефинише као:

$$SMM = SM(1 + Ex) \quad (3.70)$$

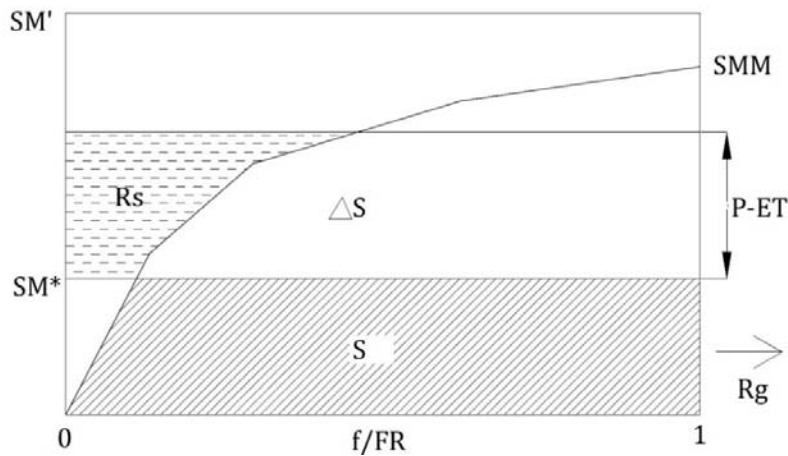
гдје је Ex параметар модела. Према слици 3.9, површински отицај се рачуна на сљедећи начин:

Ако је $P_i - ET_i + SM_i^* < SMM$

$$Rs_i = \left(P_i - ET_i - SM + S_i + SM \left[1 - \frac{(P_i - ET_i + SM_i^*)}{SMM} \right]^{1+Ex} \right) FR \quad (3.71)$$

Ако је $P_i - ET_i + SM_i^* \geq SMM$

$$Rs_i = (P_i - ET_i - SM + S_i) FR$$



Слика 3.9. Шема генерисања површинског отицаја у XAJ моделу.

Разлика $R - Rs = \Delta S$ се додаје актуелној количини слободне воде S_i , чиме се ажурира количина слободне воде:

$$S_i = S_{i-1} + \Delta S \quad (3.72)$$

Тада је количина воде која контрибуира трећем и посљедњем резервоару у структури XAJ модела, запремини подземне воде G једнака:

$$Rg_i = Kg \cdot S_i \cdot FR_i \quad (3.73)$$

гдје је Kg параметар модела. Док површински отицај пролази немодификован у систем водотока, подземни се рутира у линеарном подземном резервоару. Подземни отицај из овог резервоара износи:

$$Qg_i = Cg \cdot Qg_{i-1} + (1 - Cg) Rg_i \quad (3.74)$$

Укупан отицај са слива је тада:

$$Q_i = Rs_i + Qg_i \quad (3.75)$$

Ова верзија Xianan'jiang модела има осам параметара: средња вриједност максималног капацитета тла за цијели слив WM , проценат непропусних површина IMP , коефицијент степене функције у резервоару тла b , средња вриједност максималног капацитета слободне воде SM , коефицијент степене функције у резервоару слободне воде Ex ,

параметар евапотранспирације C , параметар допуне подземља K_g и коефицијент линеарног подземног резервоара C_g .

Документација о мјесечним варијантама овог модела је веома скромна те нису пронађене препоруке о границама вриједности параметара. Слично као за WatBal модел, исте су одређене пробавањем на конкретним симулацијама модела мијењањем граница и посматрањем како то утиче на ефикасност модела. Након доста пробних симулација, границе су постављене као што је приказано у табели 3.6.

Табела 3.6. Границе вриједности параметара Xinanjiang модела.

Параметар	WM	b	IMP	C	SM	Ex	K_g	C_g
Границе	100-1000	0.1-1	0-1	0-1	100-1000	0-10	0.001-1	0.007-1

3.2.7 Поређење структура коришћених МБХМ-а

Након дефинисања структура МБХМ-а коришћених у овом истраживању, даје се кратки преглед њихових основних карактеристика. Од 6 модела, три модела у својој структури имају двије запремине: запремина воде у тлу (горњи резервоар) и подземни (доњи) резервоар. Само један модел има и трећу запремину слободне воде на сливу. Два модела имају само горњу запремину (незасићене зоне) без подземног резервоара.

Број параметара модела се креће од 2 (GR2M) до 8 (WatBal у варијанти са снијегом и Xinanjiang). Сви модели симулирају вриједности стварне ET и влажности тла. Компоненту допуне подземља R симулирају само три модела ($abcd$, Budyko и Xinanjiang) као и запремину подземне воде ($abcd$, Budyko, GR2M). Посебне компоненте базног и директног отицаја симулирају сви модели осим GR2M. Табела 3.7. приказује основне карактеристике структура модела.

Сви резервоари подземне воде у наведеним структурама модела су углавном линеарни, осим у GR2M моделу који има квадратни облик функције зависности улаза и излаза. Само Xinanjiang узима у обзир просторну дистрибуцију влажности тла и запремине слободне воде на сливу у виду експоненцијалне функције.

Ове карактеристике модела су у поглављу 6.3 доведене у везу са њиховом ефикасношћу при калибрацији и валидацији у циљу дефинисања структуре модела која је најпогоднија за симулације на мјесечном нивоу у условима промјенљивих климатских карактеристика.

Табела 3.7. Преглед структура МБХМ-а коришћених у истраживању

Модел	Бр. запремина	Врста запремине	Компоненте водног биланса	Параметри модела
abcd	2	Запремина горњег резервоара (влажности тла) Запремина подземних вода	ET, S, R, G, Q_b, Q	<p><i>a</i>: способност слива за отицај прије засићења</p> <p><i>b</i>: капацитет задржавања воде у горњој запремини тла</p> <p><i>c</i>: однос између допуне подземља и директног отицаја</p> <p><i>d</i>: индекс пропорционалности базног отицаја и запремине подземне воде</p>
	2	Запремина горњег резервоара (влажности тла) Запремина подземних вода	ET, S, R, G, Q_b, Q_d, Q	<p><i>a</i>: ефикасност ретензирања воде на сливу</p> <p><i>a</i>₂: ефикасност евапотранспирације</p> <p><i>S</i>_{max}: максимални капацитет запремине влажности тла</p> <p><i>d</i>: параметар линеарног резервоара запремине подземних вода</p>
GR2M	2	Запремина горњег резервоара (влажности тла) Запремина подземних вода	ET, S, G, Q	<p><i>X</i>₁: максимални капацитет влажности тла</p> <p><i>X</i>₂: фактор размјене воде / уддио отицаја из подземног резервоара</p>
	1	Запремина горњег резервоара (влажности тла)	ET, S, Q_b, Q_d, Q	<p><i>a</i>₁, <i>a</i>₂: граничне темп. за топљење и задржавање снијета</p> <p><i>a</i>₃: контролише стварну ET</p> <p><i>a</i>₄: рецесиона константа спорог отицаја</p> <p><i>a</i>₅: параметар брзог отицаја</p>
WatBal	1	Запремина горњег резервоара (влажности тла)	$ET, S, Q_b, Q_{ss}, Q_{ss}$	<p><i>T</i>_s, <i>T</i>_m: доња и горња темп. граница у процесу тољења и замрзавања снијета</p> <p><i>S</i>_{max}: максимални капацитет запремине тла</p> <p><i>ε</i>: степен ф-је зависности релативне вл. тла и површинског отицаја</p> <p><i>α</i>, <i>γ</i>: параметри потповршинског отицаја</p> <p><i>β</i>: индекс пропорционалности за директни отицај</p> <p><i>Q</i>_b: фиксна вриједност базног отицаја</p>
	3	Запремина горњег резервоара (влажности тла) Запремина слободне воде на сливу Запремина подземних вода	$ET, S, R, FW, Q_b, Q_d, Q$	<p><i>IM</i>: ср. вриједност макс. капацитета тла на сливу</p> <p><i>b</i>: коеф. степене функције просторне дистрибуције влажности тла</p> <p><i>IMR</i>: проценат непропусних површина</p> <p><i>C</i>: параметар ET</p> <p><i>SM</i>: ср. вриједност макс. капацитета слободне воде на сливу</p> <p><i>Ex</i>: коеф. степене ф-је просторне дистрибуције слободне воде на сливу</p> <p><i>Ku</i>: параметар допуне подземља</p> <p><i>Su</i>: коефицијент линеарног резервоара подземне воде</p>

3.3 Калибрација мјесечних билансних хидролошких модела

3.3.1 Оптимизациони алгоритам

AMALGAM (*A MultiAlgorithm Genetically Adaptive Multiobjective*, (Vrugt 2016a) је оптимизациони алгоритам који комбинује неколико глобалних оптимизационих алгоритама односно оператора за еволуцију популације. На тај начин, сваки од ових алгоритама контролише одређени број иницијалних скупова параметара. Број ових скупова додијељен сваком оптимизационом алгоритму се динамички мијења у процедури калибрације на начин да алгоритми са највишим репродуктивним успјехом у претходној итерацији производе више потомака у тренутној итерацији. Иницијално узорковање популације је базирано на методи Latin Hypercube (LHS, McKay и остали 1979, Vrugt and Robinson 2007). Према овој методи, иницијални опсег вриједности параметара се дијели на N број непреклапајућих интервала једнаке вјероватноће (према нормалној расподјели). Насумична вриједност кумулативне функције расподјеле (кфр) се затим узоркује са сваког интервала и одговарајућа вриједност параметра се процјењује са узоркованих вриједности кфр. На овај начин, добија се N вриједности за сваки параметар модела који комбиновано са осталим параметрима чине N различитих скупова параметара.

Глобални оптимизациони алгоритми који фигуришу у склопу AMALGAM алгоритма су диференцијална еволуција (*differential evolution DE*), оптимизација роја честица (*particle swarm optimization PSO*), прилагођени Метрополис алгоритам (*adaptive Metropolis algorithm AMA*) и NSGA-II генетски алгоритам. Детаљне дефиниције и начин рада ових оптимизационих алгоритама је детаљно објашњен у Vrugt (2016) и тамо датим референцама.

Неки резултати показују да AMALGAM долази чак 10 пута брже до рјешења него други алгоритми (Vrugt and Robinson 2007).

При једнокритеријумској калибрацији МБХМ-а, добија се једно најбоље рјешење оптималног скупа параметара. При вишекритеријумској оптимизацији добија се скуп од више оптималних параметара односно Парето-оптималних параметри. У овој дисертацији, Парето фронт чини 100 скупова најбољих параметара (Парето-оптимални параметри) који дају најбоље вриједности ЦФ и уједно испуњавају услов да дају вриједност ЦФ изнад (или испод) унапријед дефинисане границе (нпр. $KGE > 0.5$, $IAFD < 0.25$, итд.). Ове границе су постављене у евалуационом оквиру (поглавље 3.4.1) и дате у табели 3.10 и 3.11. Број Парето-оптималних параметара може бити и мањи од 100, у случајевима када свих 100 не испуњава задати услов за вриједност ЦФ-ја.

AMALGAM оптимизациони алгоритам у форми MATLAB© скрипти је преузет са сајта Калифорнијског Универзитета у Ајрвину². Са овим оптимизационим алгоритмом, МБХМ-и описани раније су повезани преко посебних скрипти, написаних за потребе извођења нумеричких експеримената у овој дисертацији.

3.3.2 Број и избор циљних функција

Одабрани МБХМ-и су калибрисани са једном, двије и три циљне функције (ЦФ) односно примијењена је једно- и вишекритеријумска оптимизација. У првом кораку извршена је једнокритеријумска оптимизација као често коришћен избор калибрације хидролошких модела, након чега је приступљено вишекритеријумској оптимизацији са двије и три

² <http://faculty.sites.uci.edu/AMALGAM>

циљне функције. Резултати једнокритеријумске оптимизације су једноставнији за приказати што је погодно детаљнијем приказу евалуационог оквира развијеног у склопу овог истраживања. Такође, резултати једнокритеријумске оптимизације су служили као базни резултати за лакше поређење утицаја калибрационе стратегије на ефикасности модела.

У једнокритеријумској оптимизацији, коришћена је Kling-Gupta ефикасност односно KGE:

$$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_o} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_s}{\mu_o} - 1\right)^2} \quad (3.76)$$

Гдје су r , σ и μ Пирсонов коефицијент корелације, стандардна девијација и средња вриједност, респективно, од осмотреног Q_o и симулираног протицаја Q_s .

Обично је први избор ЦФ при калибрацији модела Nash-Sutcliffe ефикасност (NSE) обзиром да је у великој већини радова управо ова ЦФ коришћена за калибрацију хидролошких модела те су резултати међусобно упоредиви. Gupta *и остали* (2009) су извршили декомпозицију NSE и уочили да је одступање у овој ЦФ нормализовано са стандардном девијацијом осмотрених података. Ово значи да, код сливова са високом варијабилношћу протицаја, одступање може бити доста велико а да се то не одрази на вриједност NSE. KGE је функција исте три компоненте као и NSE (линеарна корелација, грешка средњих протицаја и грешка стандардне девијације) али у KGE формулацији уклоњене су везе између ових компоненти те се сматра робуснијом мјером слагања осмотрених и моделираних протицаја (Gupta *и остали* 2009, Martinez and Gupta 2011, Bennett *и остали* 2013, Fowler 2017).

У вишекритеријумској оптимизацији прво су комбиноване двије циљне функције из реда статистичких показатеља које циљају на општу динамику хидрограма (нпр. NSE, RSR, IoA, итд.) и запреминску грешку (нпр. BIAS и WBE). Обзиром да је потребно упоредити резултате добијене при калибрацији са различитим комбинацијама ЦФ-ја, класична KGE је изостављена из ових комбинација и коришћена само при евалуацији, ради лакшег поређења са резултатима добијеним из једнокритеријумске оптимизације. Умјесто ове мјере, коришћена је њена модификована непараметарска верзија (Pool *и остали* 2018).

Табела 3.8. приказује почетне комбинације са 2 статистичка критеријума. Границе према којима је филтриран Парето фронт за прву ЦФ је да буде већа од 0.5 док за другу (запреминску) да буде већа од 0.75 (односно да је грешка мања од 25%).

Трећа циљна функција је из реда хидролошких потписа, бира на основу резултата једнокритеријумске калибрације. Нпр. неинформативни потписи (потписи који су једнако добри или лоши при калибрацији и трансферима на друге периоде тј. крос-валидацији) неће утицати на побољшање процеса калибрације. Другим ријечима, такви потписи неће допринијети у проналажењу оптималног скупа параметара за које ће модел давати задовољавајуће резултате у периодима са различитим климатским карактеристикама.

Табела 3.9 приказује једначине за прорачун циљних функција коришћених при вишекритеријумској калибрацији модела. Све ЦФ-је су подешене да узимају вриједности од 1 до $-\infty$ тако да се при калибрацији у AMALGAM-у, уз додатак минуса испред, све функције минимизирају тј. оптимизациони алгоритам тражи параметре са којима је вриједност ових функција што ближе вриједности -1. Изузетак чине комбинације у којима све ЦФ узимају вриједност од 0 до $+\infty$ (нпр. WBE) и као такве су већ подешене да се минимизирају. Међутим, кад се нађу у комбинацији са функцијама које узимају

вриједности од 1 до $-\infty$ (попут NSE), формулација им је измијењена (Табела 3.9, формула за WBE).

Табела 3.8. Комбинације циљних функција из реда статистичких показатеља коришћене при вишекритеријумској калибрацији.

Ознака комбинације	Циљне функције
<i>a</i>	NSE+BIAS
<i>b</i>	KGenp+WBE
<i>c</i>	RSR+WBE
<i>d</i>	MSE+BIAS
<i>e</i>	IoA+BIAS
<i>f</i>	R2+BIAS
<i>g</i>	SP+WBE
<i>h</i>	NSE _{sqrt} +WBE

Табела 3.9. Преглед циљних функција из реда статистичких показатеља кориштених у вишекритеријумској оптимизацији.

Р.б.	Циљна функција	Ознака и једначина	Распон	Циљна вриједност
1	Коефицијент Неш-Сатклиф (Nash and Sutcliffe 1970)	$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \mu_o)^2}$	$-\infty \div 1$	1
2	Неш-Сатклиф коефицијент са трансформисаним протицајима са квадратним коријеном (Vandewiele и остали 1992)	$NSE_{sqrt} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_{o,i}} - \sqrt{Q_{s,i}})^2}{\sum_{i=1}^n (\sqrt{Q_{o,i}} - \sqrt{\mu_o})^2}$	$-\infty \div 1$	1
3	Релативна грешка запремине односно релативна пристрасност (Otis и остали 1978)	$BIAS = 1 - \frac{\left \sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i}) \right }{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}}$	$-\infty \div 1$	1
4	Коријен средње квадратне грешке нормализован са стандардном девијацијом осматрених протицаја (Moriasi и остали 2007)	$RSR = 1 - \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}}{\sigma_o}$	$-\infty \div 1$	1
5	Пирсонов коефицијент корелације (Pearson 1895)	$R2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \mu_o)(Q_{s,i} - \mu_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - \mu_o)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - \mu_s)^2}} \right)^2$	$1 \div +\infty$	1
6	Сpearman-ов коефицијент корелације (Spearman 1904)	$SP = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n (rank Q_{o,i} - rank Q_{s,i})^2}{n(n^2 - 1)}$	0-1	1

Табела 3.9. Преглед циљних функција из реда статистичких показатеља кориштених у вишекритеријумској оптимизацији (наставка)

Р.б.	Циљна функција	Ознака и једначина	Распон	Циљна вриједност
7	Грешка водног биланса	$WBE = 1 - \left 1 - \frac{\sum_{i=1}^n Q_{s,i}}{\sum_{i=1}^n Q_{o,i}} \right $	$-\infty \div 1$	1
8	Средња квадратна грешка (Dekking 2005)	$MSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{o,i} - Q_{s,i})^2}{n}$	$-\infty \div 1$	1
9	Модификовани индекс слагања (Willmott и остали 1985)	$IoA = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n Q_{s,i} - Q_{o,i} }{\sum_{i=1}^n (Q_{s,i} - \mu_o + Q_{o,i} - \mu_o)}$	$-\infty \div 1$	1
10	Непараметарска верзија Клинг-Гупта ефикасности (Pool и остали 2018)	$KGE = 1 - \sqrt{(SC - 1)^2 + (\alpha_{np} - 1)^2 + \left(\frac{\mu_s - 1}{\mu_o}\right)^2}$ $\alpha_{np} = 1 - \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \left \frac{Q_s(I(k))}{n\mu_s} - \frac{Q_o(J(k))}{n\mu_o} \right $	$-\infty \div 1$	1

Q_o и Q_s - осмотрени и симулирани протоци, респективно
 μ_o и μ_s - средње вриједности осмотрених и симулираних протицаја
 n - број временских корака при симулацији
 σ_o - стандардна девијација осмотрених протицаја
 SC - Спирманов коефицијент корелације
 $I(k)$ и $J(k)$ - трајања када се појавио k -ти највећи протицај са криве трајања симулираних и осмотрених протицаја, респективно.

3.3.3 Провјера резултата калибрације

Обзиром да је AMALGAM еволуционарни алгоритам могуће је да при претрази параметарског простора у калибрацији прорачун дâ различите резултате за свако сљедеће покретање оптимизације. Да би се провјерила ваљаност оптимизационог алгоритма у овом случају, за сваки модел су пуштене по 3 симулације са по 15,000 узоркованих скупова параметара за евалуацију оптимизационе функције (величина популације 100 и број генерација 150). Конзистентност рјешења је провјерена преко вриједности KGE за сваку симулацију. Ако се испостави да три рјешења нису конзистентна, нпр. разлика је већа од 0.01, удуплан је број генерација параметара и прорачун поновљен. Одабрани МБХМ-и у свим случајевима калибрација су прошли тест при првој итерацији од 15,000 евалуација те су све оптимизације извршене са горе наведеном величиним популације и бројем генерација.

3.4 Евалуација ефикасности модела

У наредним поглављима је представљен евалуациони оквир за евалуацију трансферабилности и робусности МБХМ-а у условима промјенљиве климе. Ова методологија је централни дио ове докторске дисертације и главни алат који је послужио да се истраже и дају одговори на питања којима се дисертација бави. Општа поставка евалуационог оквира је увијек иста, али има разлика у испитивању појединих корака у зависности од примијењеног приступа моделирању као и избора

једнокритеријумска или вишекритеријумска оптимизација. Приступ моделирању у вишекритеријумској оптимизацији ће бити један од два који се покаже као робуснији из резултата једнокритеријумске калибрације.

3.4.1 Евалуациони оквир за једно-критеријумску оптимизацију

У циљу постављања оквира за евалуацију трансферабилности и робусности МБХМ-а, постављају се сљедеће хипотезе које треба тестирати:

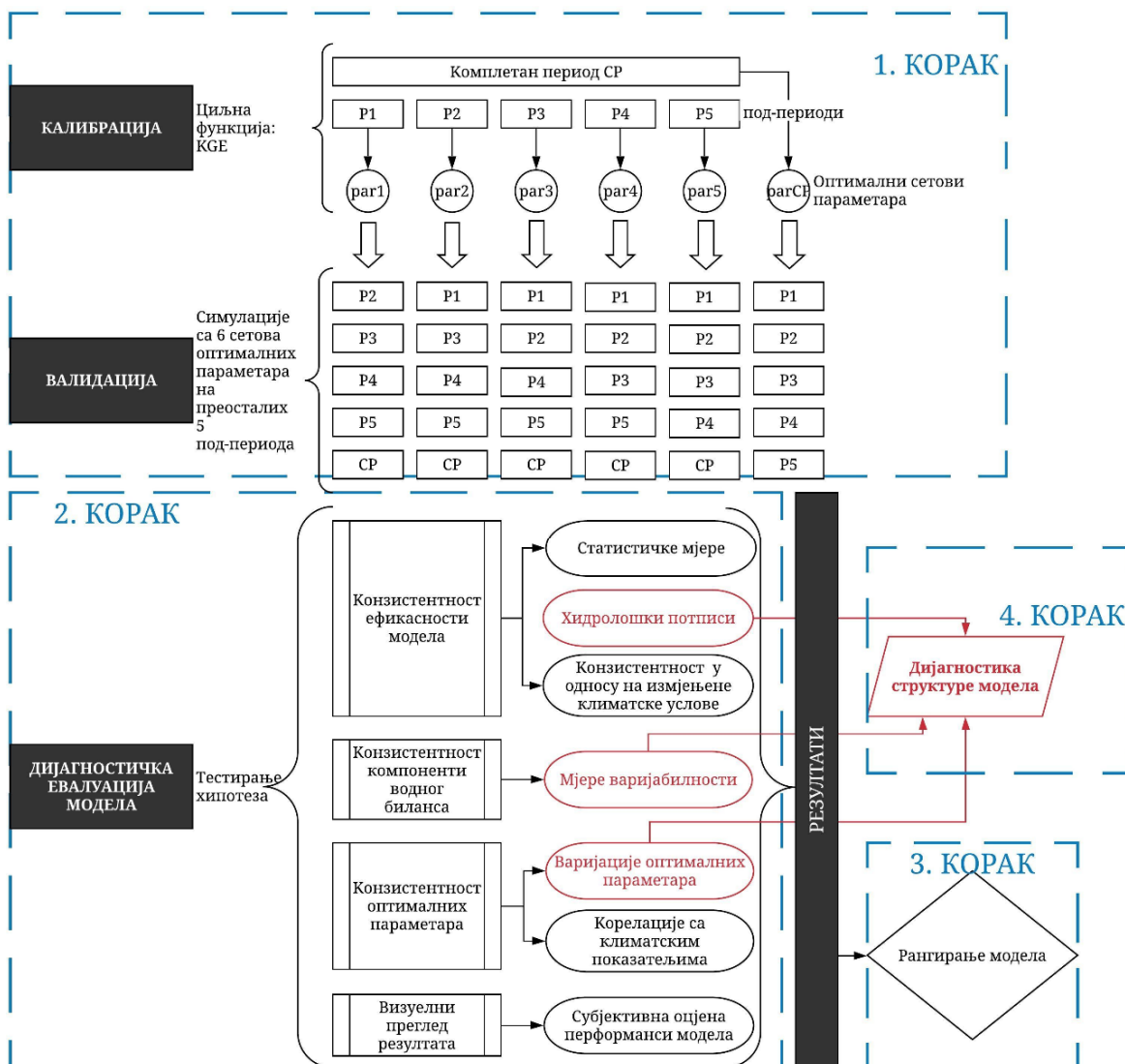
- (1) *Конзистентност у ефикасности модела.* Перформансе модела су конзистентне у периоду калибрације и валидације без обзира на хидроклиматске карактеристике периода. Конзистентне перформансе модела подразумевају мале разлике у ефикасности мјерене између периода калибрације и валидације. Мјере ефикасности су математичке (статистичке) и грешке у моделираним и осмотреним вриједностима хидролошких потписа. У случају да ефикасност није конзистентна, испитују се границе трансферабилности у смислу дозвољене разлике у промјени падавина P или потенцијалне евапотранспирације PET (промјена у односу на вриједности P и PET у калибрационом периоду). То подразумева одређивање граница гдје је ефикасност модела конзистентна односно ван којих модел није трансферабилан.
- (2) *Конзистентност параметара модела.* Оптимални параметри се не мијењају значајно у различитим калибрационим периодима што значи да рефлектују стварну везу падавина и отицаја на сливу а не понашање модела у одређеном хидроклиматском (калибрационом) периоду (Le Lay и остали 2007). Мјера ове конзистентности је варијабилност параметра у различитим калибрационим периодима. У случају велике варијабилности, разлог за то се тражи у зависности параметара од хидроклиматских карактеристика слива као и у њиховој осјетљивости односно неизвјесности (из улоге у структури модела).
- (3) *Конзистентност симулираних компоненти водног биланса (ВБ).* У једном периоду симулације, модел симулира компоненте ВБ конзистентно (са малим разликама) без обзира на калибрациони период. Другим ријечима, нема значајнијих разлика у компонентама симулираних са параметрима добијеним калибрацијом у различитим периодима тј. компоненте нису осјетљиве на калибрациони период. У одсуству мјерених вриједности компоненти, конзистентност њихових симулација је измјерена у односу на вриједности добијене при калибрацији у том периоду.

На основу овога, предлаже се евалуациони оквир који се састоји из четири (4) корака:

- (1) Калибрације модела на одабраним калибрационим периодима и валидација на осталим,
- (2) Евалуације трансферабилности модела која представља централну активност у овом оквиру и састоји се од неколико задатака:
 - a. Испитивање конзистентности ефикасности модела,
 - b. Испитивање конзистентности (скупа) оптималних параметара,
 - c. Испитивање конзистентности симулираних вриједности компоненти водног биланса,
 - d. Визуелни преглед резултата и поређење истих са „математичким“,
- (3) Рангирање модела према унапријед одабраним критеријумима који се наслањају на резултате евалуације из претходног корака,
- (4) Дијагностичка евалуација структура модела која проистиче из добијене ефикасности модела, првенствено хидролошких потписа, затим варијабилности

симулација компоненти биланса као и варијабилности оптималних (скупова) параметара.

Овај посљедњи корак је база за унапријеђење структуре модела. Шематски приказ евалуационог оквира је приказан на слици 3.10. за случај ПМ1. Код ПМ2 је иста осим што се корак 1 разликује те је одговарајућа шема као што је приказана на слици 3.2.



Слика 3.10. Шематски приказ методологије за евалуацију МБХМ-а.

Испитивање конзистентности ефикасности модела

Дио евалуације модела који тестира прву хипотезу укључује анализу ефикасности модела и њену конзистенцију при валидацији. Ефикасност модела је оцењена помоћу неколико статистичких показатеља и преко грешака у симулацији хидролошких потписа.

Коришћени су следећи статистички показатељи: Клинг-Гупта ефикасност KGE, Nash-Sutcliffe ефикасност NSE, запреминска ефикасност VE и однос корјена средње квадратне грешке RMSE и стандардне девијације осмотрених протицаја (RSR). Срачунати су и неки други показатељи (у табели 3.9) у циљу одређивања њихове међусобне зависности, али

су наведена четири коришћена за приказ резултата. NSE је срачунат са корјенованим протицајима (даље ће се означавати са NSE_{sqrt}) да би се повећала осјетљивост модела на грешке у средњим протицајима и стандардној девијацији (Martinez and Gupta 2010) те да би се уклонила хетероскедастичност резидуала (Vandewiele *и остали* 1992). Показатељ ефикасности RSR је узета према препоруци Moriasi *и остали* (2007) као бездимензионална варијанта RMSE због лакше интерпретације. У табели 3.10 дате су једначине за прорачун наведених показатеља.

Табела 3.10. Статистички показатељи ефикасности модела у евалуационом оквиру.

Показатељ ефикасности	Једначина	Опсег вриједности	Граница прихватљиве ефикасности
Клинг-Гупта ефикасност	$KGE = 1 - \sqrt{(r-1)^2 + \left(\frac{\sigma_s}{\sigma_o} - 1\right)^2 + \left(\frac{\mu_s}{\mu_o} - 1\right)^2}$	$[-\infty, 1]$	> 0.5
Nash-Sutcliffe ефикасност са кројенованим протоцима	$NSE_{\text{sqrt}} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (\varrho_{s,i}^{1/2} - \varrho_{o,i}^{1/2})^2}{\sum_{i=1}^n (\varrho_{o,i}^{1/2} - \overline{\varrho_{o,i}^{1/2}})^2}$	$[-\infty, 1]$	> 0.5
Корјен средње квадратне грешке нормализован са стандардном девијацијом осмотрених протицаја	$RSR = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\varrho_{s,i} - \varrho_{o,i})^2}}{\sigma_o}$	$[0, \infty)$	$< 0.7^*$
Запреминска ефикасност	$VE = 1 - \frac{\left \frac{\sum_{i=1}^n (\varrho_{s,i} - \varrho_{o,i})}{\sum_{i=1}^n \varrho_{o,i}} \right }{\frac{ \mu_s - \mu_o }{\mu_o}}$	$[-\infty, 1]$	> 0.75

*Moriasi *и остали*, 2007

Хидролошки потписи коришћени при евалуацији, дати у табели 3.11, су одабрани имајући на уму мјесечни временски корак симулација модела, расположивости осмотрених података за њихов прорачун (протицаји, падавине) и према препорукама датим у Addor *и остали* (2018).

Табела 3.11. Грешке хидролошких потписа као показатељи ефикасности модела при евалуацији.

Хидролошки потпис	Дефиниција грешке хидролошког потписа	Опсег вриједности	Граница прихватљиве ефикасности
Мале воде (5-и перцентил, Q_5)	$\varepsilon_{Q5} = \frac{Q_{5,s} - Q_{5,o}}{Q_{5,o}}$	$(-\infty, \infty)$	± 0.25
Мале воде (20-и перцентил, Q_{20})	$\varepsilon_{Q20} = \frac{Q_{20,s} - Q_{20,o}}{Q_{20,o}}$	$(-\infty, \infty)$	± 0.25
Средње воде (50-и перцентил, Q_{50})	$\varepsilon_{Q50} = \frac{Q_{50,s} - Q_{50,o}}{Q_{50,o}}$	$(-\infty, \infty)$	± 0.25
Велике воде (80-и перцентил, Q_{80})	$\varepsilon_{Q80} = \frac{Q_{80,s} - Q_{80,o}}{Q_{80,o}}$	$(-\infty, \infty)$	± 0.25
Велике воде (95-и перцентил, Q_{95})	$\varepsilon_{Q95} = \frac{Q_{95,s} - Q_{95,o}}{Q_{95,o}}$	$(-\infty, \infty)$	± 0.25
Индекс базног отицаја (BFI)**	$\varepsilon_{BFI} = BFI_s - BFI_o$	$(-\infty, \infty)$	± 0.1
Унутаргодишња расподјела протицаја (IAFD)	$\varepsilon_{IAFD} = \frac{\sum_{m=1}^{12} Q_{m,s} - Q_{m,o} }{12 \cdot \mu_o}$	$[0, \infty)$	< 0.25
Еластичност водотока (SEL)*	$\varepsilon_{SEL} = SEL_s - SEL_o $, $SEL = \text{median} \left(\frac{\Delta Q_{ann}}{\Delta P_{ann}} \frac{\bar{P}}{\bar{Q}} \right)$	$(0, \infty)$	< 0.1
Лаг 1 аутокорелација, AC1 ($k = 1$)*** Лаг 12 аутокорелација, AC12 ($k = 12$)	$\varepsilon_{ACK} = ACK_s - ACK_o $	$[0, \infty)$	< 0.25
Стандардна девијација, σ	$\varepsilon_{\sigma} = \left 1 - \frac{\sigma_s}{\sigma_o} \right $	$[0, \infty)$	< 0.25
Процент нула протицаја, P_0	$\varepsilon_{P0} = \frac{ P_{0,s} - P_{0,o} }{n}$	$[0, \infty)$	< 0.1
Трајање (у мјесецима) 20-ог перцентила (Q_{20}) срачунатог из комплетног низа података, D20	$\varepsilon_{DQ20} = \frac{ DQ20_s - DQ20_o }{n}$	$[0, 1]$	< 0.1

Два хидролошка потписа су посебно одабрана због присуства нула протицаја у осмотреним подацима једног од анализираних сливова: проценат нула протицаја ε_{P0} и трајање перцентила протицаја 20%, ε_{D20} . Релативне или апсолутне разлике између симулираних и осмотрених потписа су постављене као показатељ ефикасности. Границе прихваћања ефикасности као задовољавајуће су усвојене произвољно или према препорукама из литературе, углавном као грешка од максимум 10 или 25 %, у зависности од потписа. То значи да добијена вриједност ефикасности ван ове границе, у том конкретном случају, није задовољавајућа односно у случају валидације да модел није трансферабилан.

Поред овога, анализиране су границе трансферабилности као однос промјене ефикасности и промјене у климатском показатељу (релативној промјени количине падавина и РЕТ у валидационом периоду у односу на калибрациони). На овај начин се не тестира директно прва хипотеза али се добија информација у ком опсегу промјене климатске карактеристике се хипотеза прихвата односно за које разлике између калибрационог и валидационог периода се модел сматра трансферабилним. За сваки валидациони период, промјене се рачунају према сљедећим једначинама:

$$\Delta P = \left(\frac{P_{val}}{P_{cal}} - 1 \right) \cdot 100, \quad \Delta PET = \left(\frac{PET_{val}}{PET_{cal}} - 1 \right) \cdot 100 \quad (3.77)$$

За одвајање базног и директног отицаја примијењена је метода рекурзивног дигиталног филтера предложена од стране Eckhardt (2005) према којој се базни отицај добија из једначине:

$$Q_{b,i} = \frac{(1 - BFI_{max}) \cdot a \cdot Q_{b,i-1} + (1 - a) \cdot BFI_{max} \cdot Q_{t,i}}{1 - a \cdot BFI_{max}} \quad (3.78)$$

$Q_{b,i}$ - базни отицај у временском кораку i

$Q_{t,i}$ - укупни отицај у временском кораку i

BFI_{max} - параметар-максимална вриједност базног индекса

a - параметар филтера.

Вриједност параметра a је фиксирана на 0.97, а према резултатима које је објавио Eckhardt (2012), док је вриједност BFI_{max} усвојена да буде: 0.25 за трајне водотоке са чврстом стијенском масом, 0.5 за повремене водотоке са порозним аквифером и 0.8 за трајне водотоке са порозним аквифером (Eckhardt 2005).

Иако ова метода није намијењена мјесечним протицајима већ оним осмотреним у краћим периодима (дневним, сатним), постоје истраживања која доказују да се прави мала грешка у вриједностима базног отицаја при одвајању из мјесечних и акумулираних мјесечних након одвајања из дневних протицаја (Smakhtin 2001). С тим у вези, провјерена је грешка која се прави са различитим приступом одвајању базног отицаја (директно из мјесечних протицаја и директно из дневних па акумулираних на мјесечном нивоу). Закључак је да слагање ових дијаграма базних отицаја зависи од усвојеног коефицијента a из једначине (3.78). Коријен средње квадратне грешке (RMSE) као и остали показатељи ефикасности (KGE, NSE, VE) је најмањи за вриједност $a=0.82$ док је коефицијент детерминације R^2 највећи за $a=0.5$. У случају $a=0.97$, $R^2=0.7$ јер су мјесечни базни отицаји доста мањи од дневних (Слика 3.11), док за $a=0.82$, $R^2=0.93$ и базни отицаји по обе методе одвајања су доста изједначени. Да се овај коефицијент мора смањити ако се базни отицај одваја директно од мјесечних протицаја, закључио је и Smakhtin (2001). Међутим, како је грешка базног отицаја релативна мјера и не зависи од потенцијалне грешке која се прави у зависности од примијењене методе одвајања базног отицаја, усвојене су константне вриједности коефицијената из једначине (3.78) те даље овај проблем није разматран (изван је подручја истраживања у овом докторату).



Слика 3.11. Разлике у базним отицајима у зависности од временског корака протока на којима је извршено рздвајање за $\alpha=0.82$.

Испитивање конзистентности скупа оптималних параметара

У циљу тестирања друге хипотезе, анализирани су промјене вриједности оптималног скупа параметара унутар различитих калибрационих периода. Према Wagener и остали (2003), варијација оцјењених параметара може да се квантификује преко статистике садржаја информације (енг. *information content, IC*), која се рачуна из распона вриједности ових параметара из шест калибрационих периода:

$$IC = 1 - (\theta_{\max} - \theta_{\min}) \quad (3.79)$$

Вриједности θ_{\max} и θ_{\min} означавају максималну и минималну вриједност параметра од шест вриједности добијених калибрацијом на шест периода, респективно. Ове вриједности су нормализоване у односу на претходни распон вриједности параметара коришћен при оптимизацији, тако да узимају вриједност од 0 до 1:

$$\hat{\theta}_{norm} = \frac{\theta_{\max} - \hat{\theta}_{pareto}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}} \quad (3.80)$$

Гдје су θ_{\max} и θ_{\min} горња и доња граница интервала вриједности коју одређени параметар може да узме. Ове граничне вриједности параметара су дате уз описе сваког модела у поглављу 3.2.

IC статистика узима вриједност од 0 до 1, гдје већа вриједност означава ужи распон оптимизованих вриједности параметара односно већу конзистентност оцјене параметара кроз калибрацију у различитим периодима.

Поред овога, у склопу тестирања друге хипотезе анализирани су потенцијалне зависности параметара од хидроклиматских карактеристика калибрационих периода. Корелациони коефицијент према Спирмановом (Spearman 1904) рангу је коришћен као мјера зависности односно осјетљивости параметра (и компоненте модела) од хидроклиматских карактеристика. Спирманов коефицијент корелације се дефинише као:

$$SCC = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n [rg(X_i) - rg(Y_i)]^2}{n(n^2 - 1)} \quad (3.81)$$

Гдје rg означава ранг промјенљивих X и Y а n означава број промјенљивих, у овом случају вриједности параметара из 6 калибрационих периода и хидроклиматске промјенљиве у сваком од тих 6 периода.

Коришћене хидроклиматске карактеристике у овој анализи су средња вриједност годишњих сума падавина P_{sr} , PET_{sr} , средње мјесечне температуре T_{sr} , средњи мјесечни протицаји Q_{sr} , однос средњих годишњих РЕТ и Р односно индекс суше и коефицијент отицаја односно однос запремине отицаја и средњих годишњих падавина. Преглед и дефиниција ових карактеристика је дата у табели 3.12.

Табела 3.12. Преглед хидроклиматских карактеристика калибрационих периода коришћених у анализи зависности између њих и оцјењених параметара модела.

Хидроклиматска карактеристика	Ознака	Дефиниција	Јединица мјере
Средње годишње падавине	P_{sr}	$P_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{god,i}$	mm/god
Средње годишње вриједности РЕТ	PET_{sr}	$PET_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n PET_{god,i}$	mm/god
Средње мјесечне температуре	T_{sr}	$T_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{T}_{god,i}$	°C
Средњи мјесечни протицаји	Q_{sr}	$Q_{sr} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Q_{god,i}$	mm/god
Индекс суше	AR	$AR = \frac{PET_{sr}}{P_{sr}}$	-
Коефицијент отицаја	RR	$RR = \frac{\sum_{i=1}^n Q_{god,i}}{\sum_{i=1}^n P_{god,i}} = \frac{V_o}{P_{sr}}$	-

Ознаке:
 P_{god} – годишња сума падавина [mm]
 PET_{god} – годишња сума РЕТ [mm]
 \bar{T}_{god} – средње годишње температуре [°C]
 Q_{god} – годишња сума протицаја [mm]
 n – број година у калибрационом периоду

Испитивање конзистентности симулираних вриједности компоненти водног биланса

При тестирању треће хипотезе, анализира се конзистентност симулираних вриједности компоненти водног биланса са шест различитих скупова оптималних параметара добијених у различитим калибрационим периодима. Очекује се да компонента ВБ у једном периоду даје разумно различите вриједности када је симулирана са различитим скупом оптималних параметара. Ово је сличан услов који се поставља моделу по питању вриједности симулираних протицаја: очекујемо да ефикасност модела не варира много ван калибрационог периода. Као мјера конзистентности узима се релативни ранг симулације SR_{rel} који се дефинише као ширина скупа симулација са шест оптималних

скупова параметара у односу на стандардну девијацију анализиране компонентне симулиране у калибрационом периоду:

$$SR_{rel} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\max_j WBC_i - \min_j WBC_i \right)}{\sigma_{WBC,cal}}, j = 1, 2, \dots, 5 \quad (3.82)$$

Гдје су WBC_i симулиране компоненте ВБ у мјесецу i , n је број мјесеци симулације у анализираном периоду и j је симулациони индекс који представља пет симулација са параметрима из преосталих 5 калибрационих периода. Ова мјера је аналогна γ -фактору дефинисаном од стране Zhang и остали (2011). Како нису били на располагању осмотрени подаци компоненти водног биланса на анализираним сливовима, стандардна девијација $\sigma_{WBC,cal}$ се рачуна из симулираних вриједности компоненте ВБ добијене при калибрацији. Мале вриједности SR_{rel} означавају конзистентност у симулираној компоненти водног биланса и обрнуто.

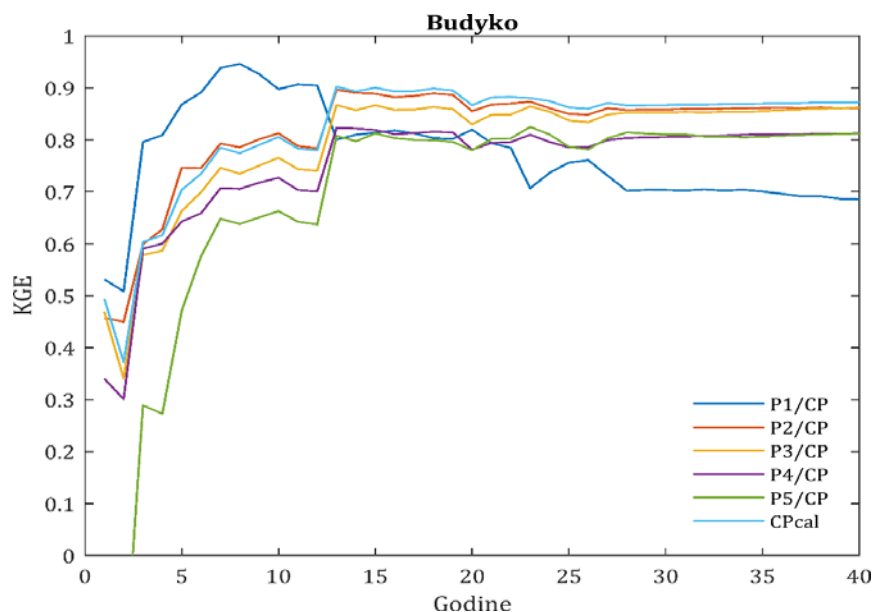
Поред претходне, уводи се још једна мјера конзистентности симулираних компоненти ВБ као релативна средња апсолутна девијација (RMAD). Ова мјера је аналогна средњој апсолутној грешки (MAE) између осмотрених и моделираних вриједности. Legates и McCabe (1999) су предложили да MAE мања од једне половине стандардне девијације осмотрених вриједности може да се сматра прихватљивом ефикасношћу модела. Аналогно са тим, овдје се RMAD дефинише као:

$$RMAD = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |WBC_{val,i} - WBC_{cal,i}|}{0.5 \cdot \sigma_{WBC,cal}} \quad (3.83)$$

Ознаке у индексу val и cal се односе на период валидације и калибрације, респективно. Ова бездимензионална мјера може узети вриједности од 0 до $+\infty$, гдје се вриједности мање од 1 сматрају прихватљивим.

Визуелни преглед резултата

Посљедњи задатак у другом кораку предложеног евалуационог оквира је визуелни преглед резултата који не тестира директно ниједну од три постављене хипотезе али је важан додаток евалуацији модела и провјери резултата добијених математичким дефиницијама. У овај дио спада визуелни преглед хидрограма осмотрених и симулираних протицаја, унутаргодишње расподјеле протицаја и везе падавине отицај добијене из осмотрених и симулираних протицаја. Симулације са мјесечним вриједностима подразумевају значајно краћи низ података за прорачун ефикасности у поређењу са дневним подацима (нпр. 40 година мјесечних података је еквивалентно 1,3 године дневних података по питању дужине). Кратке серије података могу утицати на поузданост индикатора ефикасности, како је приказано на слици 3.12. Такође, као што су нагласили Crochemore и остали (2015), нити један нумерички критеријум не може у потпуности замијенити експертско мишљење при прегледу хидрограма. Стога су нумерички показатељи употпуњени визуелним прегледом хидрограма и субјективном оцјеном ефикасности модела.



Слика 3.12. Утицај дужине низа података на вриједност KGE на примјеру симулација Budyko моделом на сливу Вимера

Надаље, МБХМи би требали добро репродуковати унутаргодишњу расподелу отицаја по мјесецима (IAFD). Иако је ова мјера укључена као нумерички показатељ ефикасности, додатно је испитана визуелним прегледом ових дијаграма обзиром на релативно кратак број података на основу којих се овај потпис рачуна.

Веза падавине-отицај, иако веома комплексна, је апроксимирана линеарном везом да би се лакше остварио визуелни преглед (као што су раније у својим радовима радили Petrone *и остали* 2010, Hughes and Vaze 2015). модели су оцијењени према слагању нагиба регресионих линија и слободног члана просте линеарне регресије која заправо представља границу количине падавина након које почиње отицај. Иако је ово у потпуности субјективан процес, може открити систематична под- или прецијењивања отицаја или остале обрасце у понашању модела (Krause *и остали* 2005) у вишекритеријумском и од случаја до случаја специфичном начину (Ehret and Zehe 2011).

Рангирање модела

Претпосљедњи корак у евалуацији модела комбинује резултате претходних корака и омогућава рангирање модела по питању трансферабилности и конзистенције а према сљедећим тачкама:

1. Статистичке мјере ефикасности,
2. Грешке у хидролошким потписима,
3. Границе трансферабилности базиране на нумеричким показатељима ефикасности (статистичким показатељима и грешкама у хидролошким потписима),
4. Конзистентност у оцјени параметара,
5. Конзистентност симулираних компоненти водног биланса,
6. Визелни преглед резултата модела.

Према критеријумима 1 и 2, модели су рангирани у односу на број неприхватљивих трансфера односно трансфера према којима су статистички показатељи или грешке потписа ван дефинисаних граница прихватљивости. Рангирање према критеријуму 3 је

извршено у складу са величином промјене у климатском показатељу за који модел има дозвољене вриједности показатеља ефикасности. За критеријум 4, рангирање је извршено на основу IC статистике. Рангирање модела по критеријуму 5 је извршено према вриједностима добијених SR_{rel} и $RMAD$, осредњавањем рангова по обје мјере. На основу визуелног прегледа резултата, по критеријуму 6, донесен је закључак о средњем рангу од три ранга добијена посебно из визуелног прегледа хидрограма, IAFD и везе падавине-отицај. Коначни ранг представља средњу вриједност од претходних 6. Иако овакав начин осредњеног рангирања није веома робустан, послужиће при одабиру модела на који ће се даље примијенити детаљно испитивање броја и врсте циљних функција при вишекритеријумској калибрацији као и остали дијелови истраживања у овом докторату.

Дијагностика структуре модела

Под дијагностиком структуре модела подразумијевају се дијелови евалуационог оквира из којих проистиче закључак који дијелови структуре модела требају побољшање да би се повећала њихова укупна ефикасност. Поред укупне ефикасности модела у периодима валидације, отклањањем структуралних грешака очекује се побољшање конзистентности симулација компоненти ВБ.

У дијагностику структуре модела спада увођење хидролошких потписа при евалуацији модела, што ће дати слику о томе који потписи су константно лоше или добро симулирани. Такође, установиће се који потписи подржавају резултате добијене стандардним статистичким показатељима а који их допуњавају или откривају неки други аспект ефикасности.

Поред потписа уведених у тестирање хипотезе 1, испитивање конзистентности параметара и симулираних компоненти ВБ (хипотезе 2 и 3) такође даје директан одговор које компоненте модела конзистентно имају велике грешке тј. које компоненте су изузетно осјетљиве на калибрациони период. Уз компоненте су везани и параметри модела па се очекује да ће варијабилност једних узроковати варијабилност других, без изузетка.

Код ПМ2 уведена је додатна анализа која ће послужити у дијагностици структуре модела а то је анализа резидуала модела. Ова анализа представља успостављање регресије између компоненти водног биланса и резидуала (разлике осмотреног и моделираног протицаја) као додатак евалуационог оквиру у дијелу дијагностичке евалуације а са циљем откривања која компонента је најодговорнија за грешке модела (Kirchner и остали 1996). Генерално гледајући, резидуали хидролошког модела обухватају низ грешака, нпр. грешке у мјерењу улазних података, грешке у структури модела и грешке у одређивању оптималног скупа параметара (Kjeldsen and Jones 2009. и поглавље 0). Ако постоји значајна корелација неке компоненте у моделу и резидуала, може се сматрати да је симулација управо те компоненте одговорна за грешке модела.

3.4.2 Евалуациони оквир за више-критеријумску оптимизацију

Овај евалуациони оквир се разликује од претходног у представљању и обради резултата јер умјесто једне вриједности ефикасности модела у валидационој матрици (доњи дио правоугаоника првог корака, Слика 3.10) односно једне вриједности мјере варијабилности компоненти водног биланса и оптималних параметара, биће распон вриједности добијен из скупа од максимално 100 оптималних параметара са Парето фронта. Ово усложњава примјену представљеног евалуационог оквира, те су потребна одређена прилагођавања.

Умјесто матричног приказа резултата, исти су представљени у облику Box & Whiskers дијаграма или као дијаграми са само једном статистиком резултата са Парето фронта (нпр. медијана, максималне или минималне вриједности).

Конзистентност оцјењених параметара преко садржаја информације IC је код вишекритеријумске оптимизације дефинисан онако како је оригинално изложено у Wagener *и остали* (2003), обзиром да сад постоји довољно велики узорак за прорачун перцентила:

$$IC = 1 - (\hat{\theta}_{norm,97.5} - \hat{\theta}_{norm,2.5}) \quad (3.84)$$

Гдје су $\hat{\theta}_{norm,97.5}$ и $\hat{\theta}_{norm,2.5}$ 97.5 и 2.5 перцентил, респективно, из расподјеле нормализованих Парето-оптималних параметара.

Слично овоме, конзистентност симулација компоненти водног биланса је такође другачије оцијењена:

$$SR_{rel} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(WBC_{97.5} - WBC_{2.5} \right)}{\sigma_{median}^{WBC,cal}}, \quad j = 1, 2, \dots, 5 \quad (3.85)$$

Гдје су $WBC_{97.5}$ и $WBC_{2.5}$, за разлику од једначине (3.82) за једнокритеријумску калибрацију, 97.5 и 2.5 перцентил симулираних компоненти водног биланса у одређеном мјесецу (добитен из скупа симулација са Парето-оптималним параметрима), респективно, n је дужина симулације, $\sigma_{median}^{WBC,cal}$ је медијана компоненти ВБ добијених симулацијом у калибрационом периоду. Ова вриједност представља релативну ширину у којој се налази 95% симулација компоненти ВБ при крос-валидацији.

Умјесто RMAD, срачунат је проценат медијане калибрисаних вриједности компоненти ВБ која се налази унутар 95% интервала симулираних компоненти добијених при крос-валидацији (тзв. рачун ефикасности, Bastola *и остали* 2011):

$$PC = \frac{\sum_{i=1}^n m_{95\%}}{n} \quad (3.86)$$

Гдје $m_{95\%}$ означава број корака (мјесеци) кад се медијана компоненте ВБ добијена при калибрацији налази у распону 95% симулираних вриједности при крос-валидацији (између 97.5 и 2.5 перцентила).

Субјективна оцјена резултата је код вишекритеријумске оптимизације скраћена на визуелни преглед унутаргодишње расподјеле протицаја као веома важан елемент мјесечних билансних модела и на преглед везе падавине-отицај, због специфичности ових резултата који се разликују од осталих. Обзиром да се показало у једнокритеријумској оптимизацији да визуелни преглед хидрограма у потпуности одговара статистичким показатељима као и грешкама потписа који дају конзистентне резултате са статистичким показатељима, у вишекритеријумској није разматрана.

Због обимности резултата и ради једноставнијег приказа, вишекритеријумска оптимизација је извршена на само једном моделу, који се показао као најбољи према резултатима једнокритеријумске, и на само једном сливу на коме су највише заступљене промјене хидроклиматских услова.

3.5 Више-моделско осредњавање резултата модела

Ова анализа је обухватила више-моделско осредњавање (ВМО) са шест одабраних метода: метода једнаких тежина (пондерисаних вриједности), метода Гренџер-Бејтс (Granger-Bates, GBA), метода информационог критеријума (ICA), метода Гренџер-Раманатан (Granger-Ramanathan, GRA), Бајесов метод (BMA) и Малоусов (Mallows) метод осредњавања (MMA). Осредњавање је примијењено на једном релативно добром трансферу и на једном најлошијим из ПМ1, као најнеповољнији случај. Такође, осредњавање је примијењено и на серије симулација добијене из вишекритеријумске оптимизације, гдје су умјесто симулација различитих модела улаз представљале симулације једног модела али добијене са различитим циљним функцијама.

За прорачун је коришћен алат MODELAVG (Vrugt, 2016b), пакет MATLAB© скрипти који може да се преузме са сајта Калифорнијског Универзитета у Ајрвину³. Прије самог ВМО односно прије одређивања пондерисаних вриједности за сваку од одабраних метода, извршена је корекција пристрасности појединачних моделираних серија у виду линеарне трансформације:

$$\hat{Q}_{j,m}^b = a_m + b_m Q_{j,m}^s \quad (3.87)$$

$\hat{Q}_{j,m}^b$ су кориговани протицаји, $Q_{j,m}^s$ симулирани протицаји из модела m , a_m и b_m коефицијенти који се добијају методом најмањих квадрата у односу на осмотрене протицаје Q_j^o , $Q_j^o = a_m + b_m Q_{j,m}^s + \varepsilon_j$, ε_j је секвенца бијелог шума нормалне расподеле са нула средњом вриједношћу и непознатом варијансом, j означава временски тренутак у преиоду симулације n . Корекција пристрасности није неопходан корак у самом ВМО и оваква корекција врло мало побољшава резултате (Vrugt 2016b), али се ипак препоручује (Granger and Ramanathan 1984).

Коришћене методе вишемоделског осредњавања су већ дјелимично формулисане у поглављу 2.10. Овдје се даје само кратак опис и евентуалне опције коришћене у оквиру MODELAVG алата.

3.5.1 Метода једнаких тежина

У методи једнаких тежина (пондерисаних вриједности) сваки модел има исти удио у коначном резултату. Пондерисане вриједности су независне од осмотрених података већ зависе само од броја модела чије симулације се осредњавају. Резултујући хидрограм осредњених вишемоделских протицаја се добија из израза:

$$\hat{Q}_j^{ewa} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M Q_{j,m}^s \quad (3.88)$$

Гдје је M број модела са $Q_{j,m}^s$ протицајима а $j=1, \dots, n$, n је дужина симулације.

Иако врло једноставан метод, у ранијим истраживањима се показало да резултује са бољом ефикасношћу од било ког појединачног модела (поглавље 2.10).

3.5.2 Метода Гренџер-Бејтс (ГБА)

Пондерисане вриједности за сваки модел у овој методи се добијају као реципрочна вриједност варијансе грешке модела у периоду симулације. Да би збир овако добијених

³ <http://faculty.sites.uci.edu/MODELAVG>

пондерисаних вриједности био једнак јединици, нормализују се дијелењем са сумом реципрочних вриједности за све моделе. Протицаји ВМО се тада добијају из израза:

$$Q_j^{BGA} = \sum_{m=1}^M \left(\frac{1/\hat{\sigma}_m^2}{\sum_{m=1}^M 1/\hat{\sigma}_m^2} \right)_m \cdot Q_{j,m}^s \quad (3.89)$$

Гдје је варијанса једнака $\hat{\sigma}_m^2 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (Q_{j,m}^o - Q_{j,m}^s)$ за сваки модел m .

3.5.3 Метода информационог критеријума (ICA)

Према овој методи, пондерисане вриједности за сваки модел се рачунају из израза:

$$\beta_m^{ICA} = \frac{\exp(-0.5I_m)}{\sum_{m=1}^M \exp(-0.5I_m)} \quad (3.90)$$

гдје је $I_m = -2\log(L_m) + q(p_m)$. Под претпоставком нормалне расподеле грешке модела, први члан претходног израза може да се срачуна као $-2\log(L_m) = n\log\hat{\sigma}_m^2 + n$. Други члан се дефинише у зависности од одабраног IC, Акаике или Бајес. Како су коначни резултати доста слични, одабран је и коришћен само Акаике IC према коме је $q(p_m) = 2p$, p број слободних параметара модела. Коначан израз за прорачун осредњених хидрограма је тада:

$$Q_j^{ICA} = \sum_{m=1}^M \beta_m^{ICA} \cdot Q_{j,m}^s \quad (3.91)$$

3.5.4 Метода Гренџер-Раманатан (ГРА)

За разлику од претходно описаних метода осредњавања, овдје се примјењује метода обичних најмањих квадрата за добијање пондерисаних вриједности (ПВ). ПВ су заправо коефицијенти регресионог модела односно генералне једначине за осредњавање

резултата више модела: $Q_j = \sum_{m=1}^M \beta_m \cdot Q_{j,m}^s$. Избор методе обичних најмањих квадрата је због

испитивања постојања коваријансе у грешкама индивидуалних модела (Granger and Ramanathan 1984) по чему је ова метода јединствена.

Једначина за ВМО по овој методи записана у матричном облику гласи:

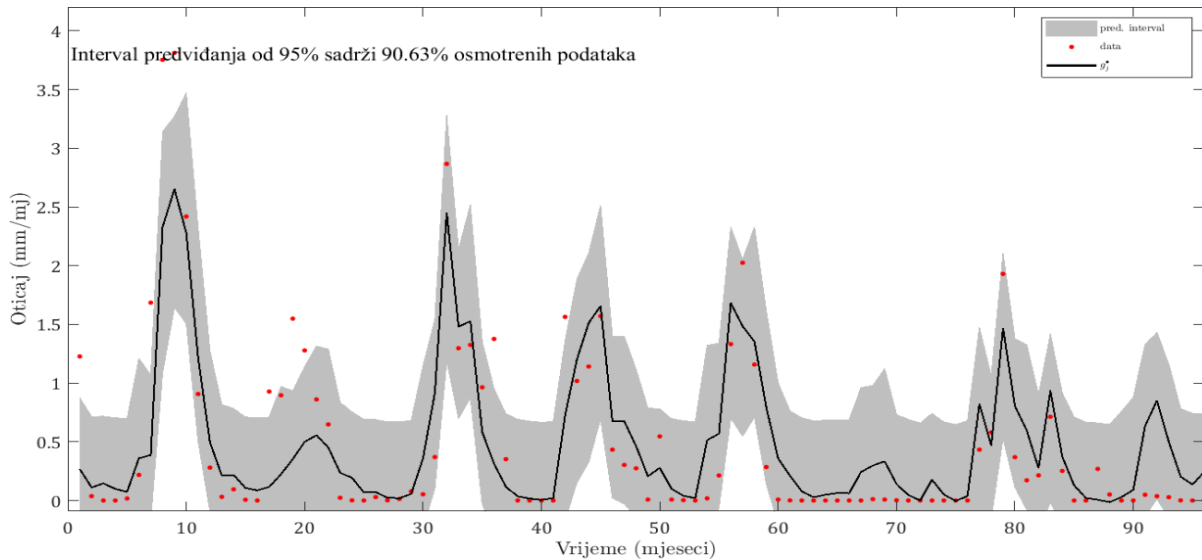
$$Q^{GRA} = (Q_s^T Q_s)^{-1} Q_s^T Q_o Q_s \quad (3.92)$$

Q_s је матрица $n \times M$ протицаја дужине n симулираних са M модела, Q_o је вектор осматраних протицаја, а ознака T у експоненту означава транспоновану матрицу.

3.5.5 Бајесов метод осредњавања (БМА)

БМА је најкомплекснија метода вишемоделског осредњавања од свих шест коришћених у овом истраживању. У овој методи неизвјесност симулираних протицаја сваког модела се рачуна и користи за конструисање расподеле прогнозираних протицаја, поред

осредњених, детерминистичких вриједности. Пондерисане вриједности су позитивне и њихов збир износи један. Добијају се као релативни удио сваког модела односно његова корисност у процесу приближавања осредњених протицаја осмотреним. Другим ријечима, што је вриједност β_m већа за модел m , тај модел је боље рангиран међу осталим моделима (његове симулацију су највише „помогле“ у вишемоделском осредњавању). Тиме је БМА, поред вишемоделског осредњавања, алат за одабир најбољег модела. Поменути процес је заправо оптимизација за коју се у оквиру MODELAVG алата користи DREAM (*DiffeRential Evolution Adaptive Metropolis, Vrugt и остали 2008*). На слици 3.13. приказан је примјер резултата БМА методе. Више детаља о методи може да се нађе у радовима Raftery и остали (2005, Vrugt (2016b)).



Слика 3.13. Примјер резултата Бајесовог вишемоделског осредњавања.

3.5.6 Mallows метод осредњавања (ММА)

ММА је фреквентистичко рјешење проблема вишемоделског осредњавања (Diks and Vrugt 2010, Vrugt 2016b). Пондерисане вриједности се добијају минимизирањем Малоус (Mallows) критеријума (одакле и назив методе) који је заправо пенализована сума квадрата резидуала за све моделе:

$$\beta_m^{MMA} = \min \left\{ \sum_{j=1}^n (Q_{j,m}^o - \beta^T Q_{j,m}^s)^2 + 2\hat{\sigma}^2 \sum_{m=1}^M \beta_m p_m \right\} \quad (3.93)$$

У горњем изразу, p_m је број параметара модела, T у експоненту означава транспоновану матрицу, $\hat{\sigma}^2$ је варијанса грешке (у односу на осмотрене протицаје) најкомплекснијег модела тј. модела са највише параметара. Вриједност из једначине (3.93) је, слично као код БМА, одређена уз помоћ DREAM алгоритма.

Пондерисане вриједности методе MMA могу да узимају било коју бројну вриједност, чак и негативну а може да се зада услов да њихов збир буде једнак јединици. Варијанта методе коришћена у овом истраживању је са пондерисаним вриједностима чија сума износи један (1).

4 СЛИВОВИ И ПОДАЦИ КОРИШЋЕНИ ЗА МОДЕЛИРАЊЕ

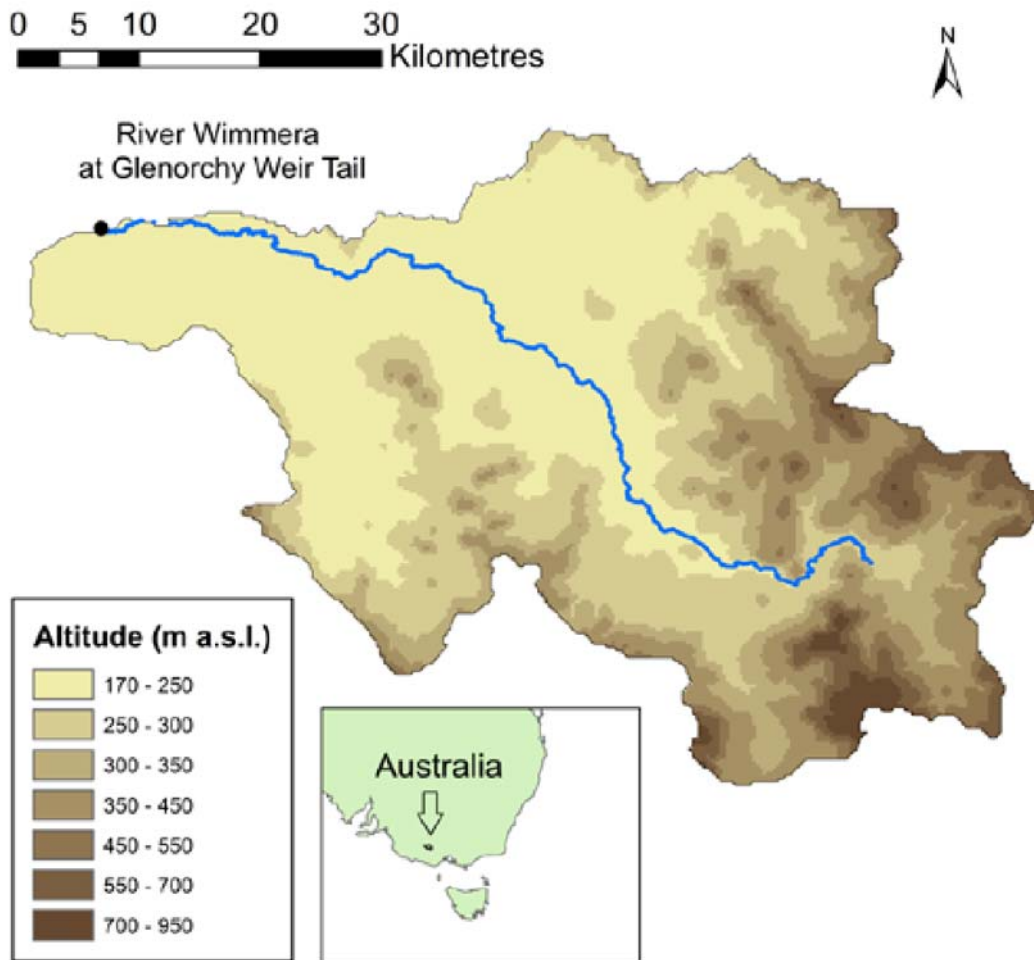
У овом поглављу детаљно су описани хидроклиматски услови три слива који су коришћени при примјени методологије из претходног поглавља. Поједини аутори сматрају да у хидролошким истраживањима треба користити велики број сливова да би закључци изведени из истих могли успјешно да се екстрапољују (Gupta *и остали* 2014). У овој дисертацији није примијењен овај приступ јер је фокус био на развијању методологије за робусну евалуацију и калибрацију МБХМ-а те је исту било много погодније (и краће, гледано са аспекта броја страна) приказати на мањем броју сливова.

Коришћена три слива су лоцирана на релативно великим удаљеностима: југоисток Аустралијског острва, Аустрија у централној Европи и Србија у југоисточној Европи. Такође, веома су различита по својим хидроклиматским карактеристикама. Нпр. најсувљи аустралијски слив има просјечан коефицијент отицаја од 7% и опсег годишње висине отицаја од 5.8-62 mm/god, српски слив око 21% и 98-150 mm/god а аустријски око 37% и чак 252-318 mm/god. Варијабилност у особинама сливова представља довољан изазов за примјену евалуационог оквира предложеног у овој дисертацији.

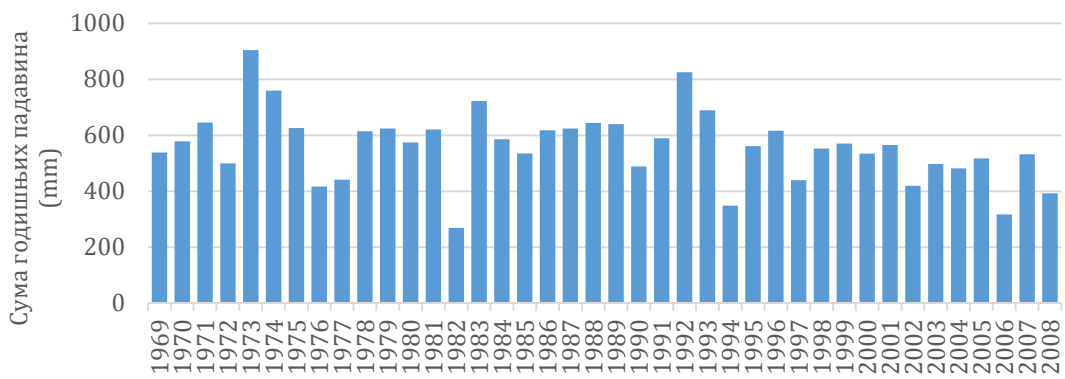
4.1 Ријека Вимера до станице Glenorchy Weir Tail

Подручје Вимера покрива 3% слива Murray-Darling у западној Викторији, Аустралија. Слив ријеке Вимера се налази на самом југу овог подручја и има површину од 1999.5 km². Доминантни покривач земљишта у централном и сјеверном дјелу слива су поља житарица, легуминоза и биљака уљарица а на југу пашњаци. Вимера је повремени водоток са правцом течења ка сјеверу и западу а дренира се у језера Hindmarsh и Albacutya који чине дио слива ријеке Murray у Murray-Darling басену.

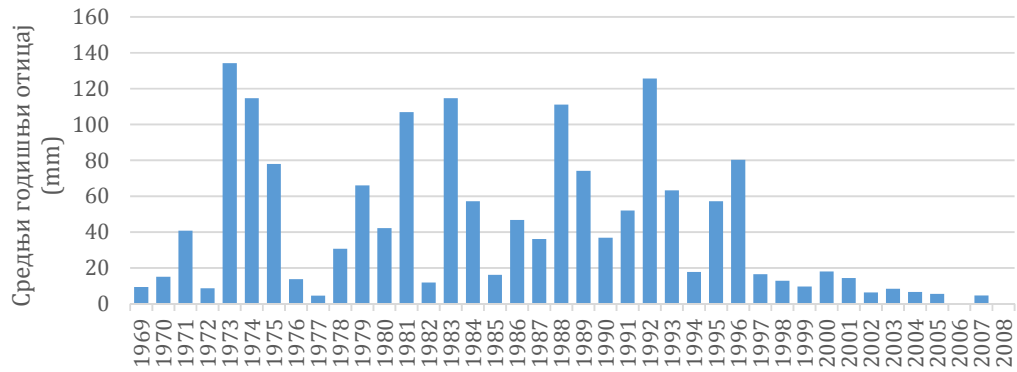
Просјечне годишње суме падавина су 560 mm са израженим трендом опадања као што показује слика 4.2. Средња годишња запремина отицаја је 42 mm што значи да само 7.4% укупних падавина отече. Највећи отицаји су током хладне сезоне од јуна до октобра. Просјечни годишњи протицај је само 2.6 m³/s што упућује, имајући на уму величину слива, на веома сув слив и аридну климу. Посматрајући средње годишње запремине отицаја на слици 4.3 уочава се драстично смањење отицаја које траје у континуитету од 1997 до 2008. У наведеном периоду падавине су се смањиле за 18% а отицај за чак 85% те је коефицијент отицаја само 0.02. Овај феномен који се дешава на многим аустралијским ријекама је описан као Миленијумска суша (Petheram *и остали* 2011) и сматра се да је последица дуготрајног повећаног флукса евапотранспирације изазваног повећаним температурама (Слика 4.5, примјећује се нагли пораст тренда средњих годишњих температура након 1997) а смањеним падавинама што је промијенило „меморију“ складиштења воде на сливу а тиме и механизме отицаја (нпр. ниво подземних вода је значајно опао а доказано је да дубина до подземне воде утиче на формирање отицаја).



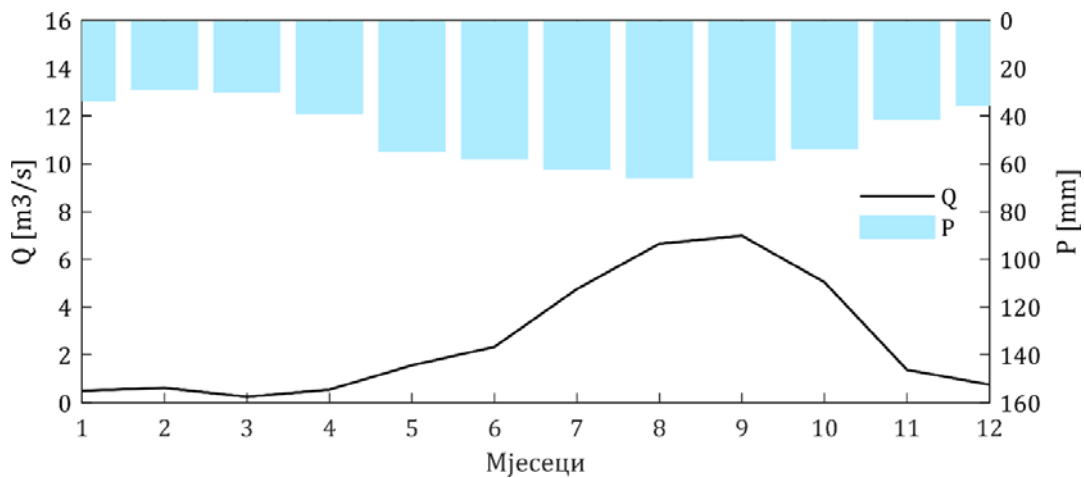
Слика 4.1. Слив ријеке Вимера до станице Glenorchy Weir Tail. (Извор: Thirel *и остали* 2015)



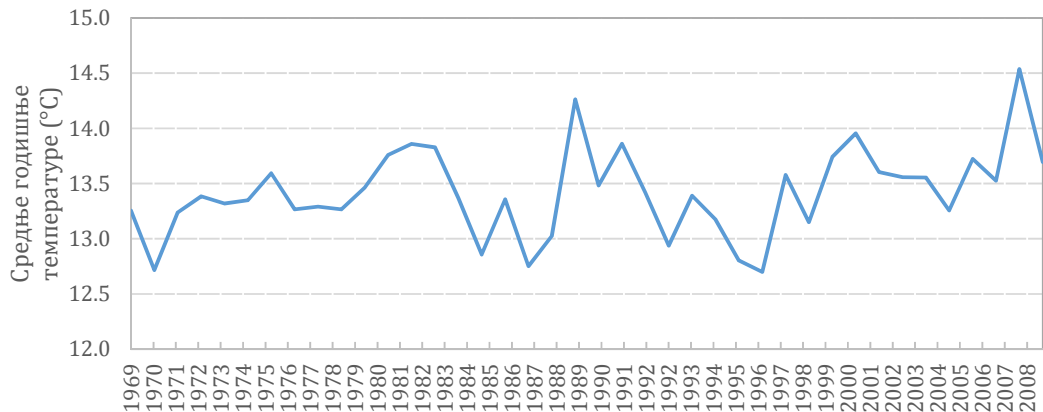
Слика 4.2. Сума годишњих падавина на сливу Вимера.



Слика 4.3. Средње годишње запремине отицаја на сливу Вимера.



Слика 4.4. Унутаргодишње расподјеле средњих мјесечних протицаја и средњих мјесечних сума падавина на сливу Вимера.



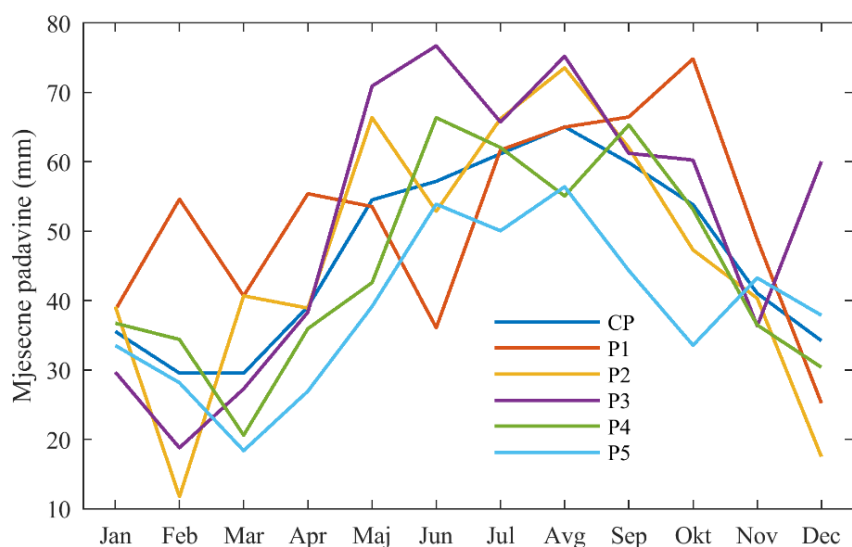
Слика 4.5. Средње годишње температуре на сливу Вимера.

Расположиви подаци су падавине, температуре и протицаји у периоду од 01.01.1965 па до 31.07.2009 одакле се добија 40 година континуалних осматрања уз прве 4 године одвојене за загријавање модела. PET је срачуната према Мортон методи (Morton 1983).

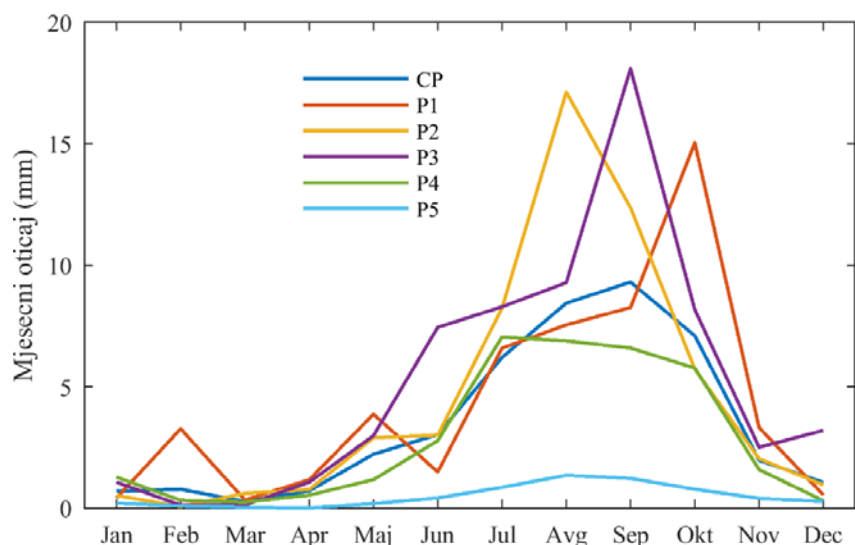
У табели 4.1 дат је преглед периода за први приступ моделирању по Тиреловом протоколу са основним хидроклиматским карактеристикама. Поред вриједности индекса суше, у загради су дате класификације периода према истима а према класификацији предложеној у раду Sankarasubramanian и Vogel (2002). Периоди P1 и P3 се издвајају као водни, P3 и CP као мјешовити и P5 је изразито сушни период.

Табела 4.1. Основне хидроклиматске карактеристике слива Вимера у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.

	Комплетан период, CP	Потпериоди				
		P1	P2	P3	P4	P5
Датум од-до (мјесец/година)	01/1969 – 12/2008	01/1969 – 12/1976	01/1977 – 12/1984	01/1985 – 12/1992	01/1993 – 12/2000	01/2001 – 12/2008
Средње темп. T_{avg} (°C)	13.5	13.3	13.5	13.4	13.3	13.7
Средње годишње падавине P (mm/god)	561	621	557	620	539	465
Средња годишња PET (mm/year)	1157	1137	1155	1149	1161	1183
Средњи протицај Q_{avg} (m ³ /s)	2.61	3.27	3.25	3.42	2.88	0.42
Средњи годишњи отицај V_0 (mm/god)	41.7	51.8	54.3	62.3	34.5	5.8
Индекс суше $AR = PET/P$ (-)	2.06 (полусув)	1.83 (умјерен)	2.08 (полусув)	1.85 (умјерен)	2.15 (полусув)	2.54 (сув)
Коефицијент отицаја V_0/P (%)	7.4	8.3	9.8	10	6.4	1.2



Слика 4.6. Унутаргодишња расподјела мјесечних сума падавина на сливу Вимера у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.



Слика 4.7. Унутаргодишња расподела мјесечних отицаја на сливу Вимера у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.

Према DSST протоколу, у подјели периода за калибрацију и валидацију година 1997 је граница између водног и сушног периода. Табела 4.2 приказује периоде према овом протоколу и њихове основне хидроклиматске карактеристике.

Табела 4.2. Основне хидроклиматске карактеристике за ријеку Камп по калибрационим периодима према DSST протоколу.

	Комплетан период CP	Потпериоди	
		Водни период VP	Сушни период SP
Датум од-до (мјесец/година)	01/1969 – 12/2008	01/1969 – 12/1996	01/1997 – 12/2008
Средње темп. T_{avg} (°C)	13.5	13.4	13.6
Средње годишње падавине P (mm/god)	561	592	496
Средња годишња PET (mm/ year)	1157	1147	1178
Средњи протицај Q_{avg} (m ³ /s)	2.61	3.54	0.53
Средњи годишњи отицај V_0 (mm/god)	41.7	55	14.1
Индекс суше AR = PET/ P (-)	2.06 (полусув)	1.94 (умјерен)	2.38 (сув)
Коефицијент отицаја V_0/P (%)	7.4	9.3	2.9

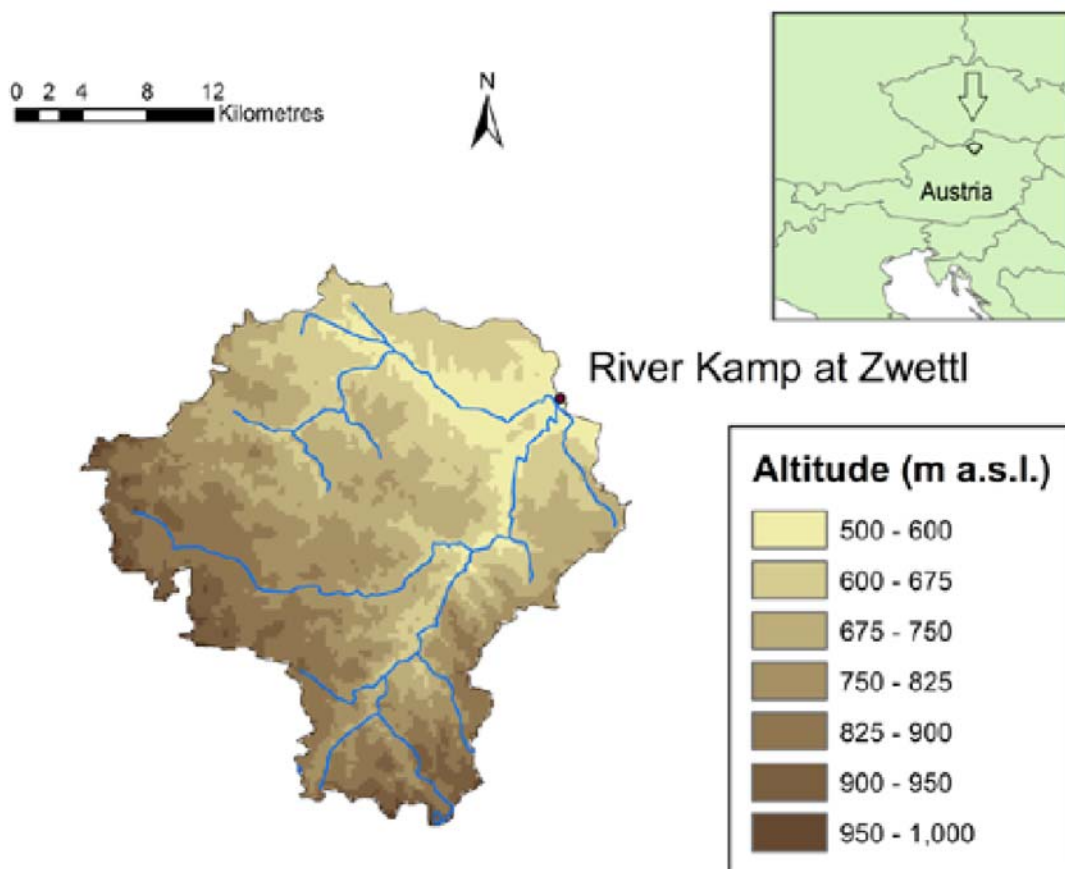
4.2 Ријека Камп до станице Zwettl

Слив ријеке Камп је смјештен на сјеверу Аустрије, око 120 km сјеверо-западно од Беча. Дио слива до станице Zwettl има површину од 621.8 km² и надморску висину између 500 и 1000 m. Правац течења на сливу се пружа од југо-запада гдје су веће надморске висине и брдовита подручја ка сјеверо-истоку гдје је терен равничарски и мочваран. Геолошка структура подручја је углавном састављена од гранита и гнајса великог капацитета за задржавање воде чему погодује и чињеница да је 50% слива под шумама.

Средње годишње падавине износе око 760 mm док је средњи годишњи отицај нешто виши од 280 mm што даје коефицијент отицања од 0.37 или 37%. Типично вријеме

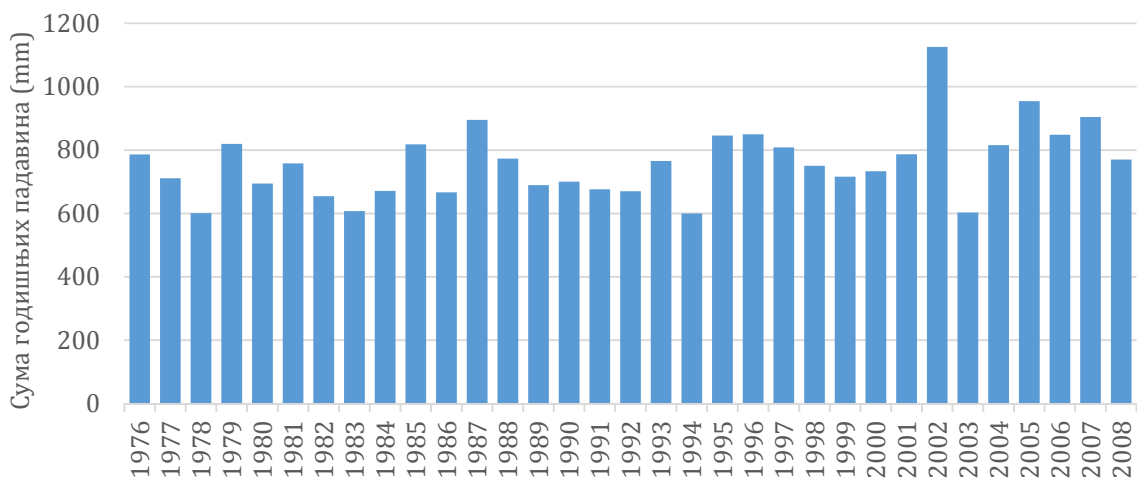
трајања тока у систему водотока је између 2 и 4 сата. Средњи протицај на сливу је $5.6 \text{ m}^3/\text{s}$ а средње годишње температуре око $6.6 \text{ }^\circ\text{C}$. Средњи годишњи максимални протицај је око $46 \text{ m}^3/\text{s}$. Током умјерених кишних епизода само мали дио падавина одлази у протицај те су коефицијенти отицаја појединачних епизода око 10% и мање (Merz and Blöschl 2005). Са порастом падавина, одговор слива расте услед промјене садржаја воде у тлу те коефицијенти отицаја прелазе чак 50% од укупно пале кише. Дакле, слив показује велику нелинеарност везе падавине-отицај.

Средње годишње температуре су се повећале за један степен након 1987 године док се РЕТ такође повећала са 594 на 614 mm.

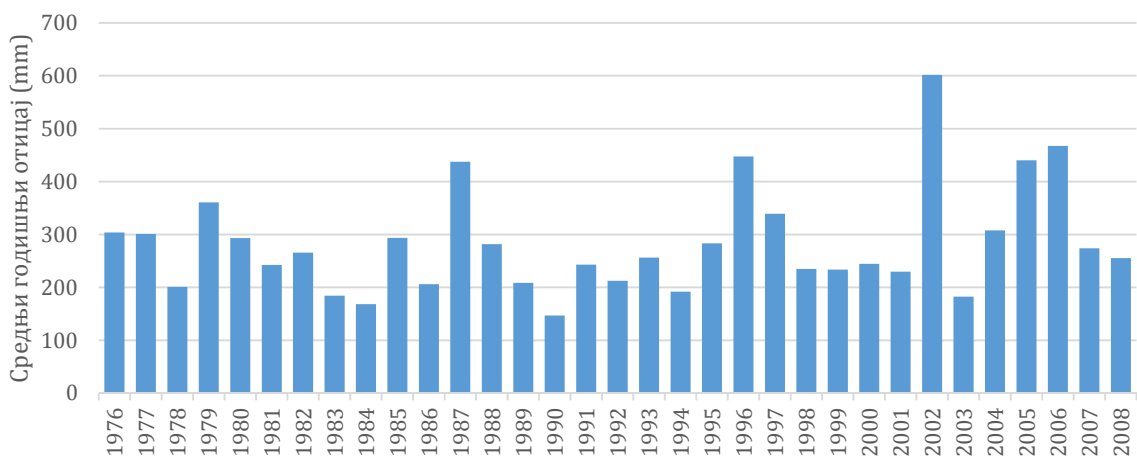


Слика 4.8. Слив ријеке Камп до станице Zwettl. (Извор: Thirel и остали 2015)

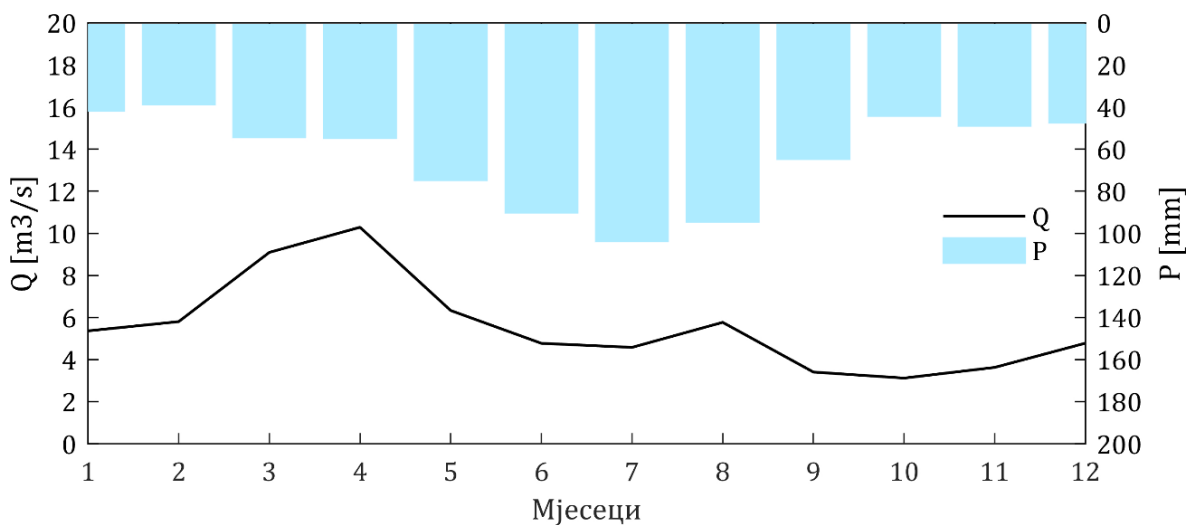
На слици 4.9 приказане су суме годишњих падавина на сливу гдје се уочавају изузетно велике падавине у 2002 години кад су и забиљежене велике поплаве на сливу. Слично се уочава на слици 4.10 која приказује средње годишње отицаје у милиметрима. У 2002 је отекло 2.5 пута више воде него што је вишегодишњи просјек.



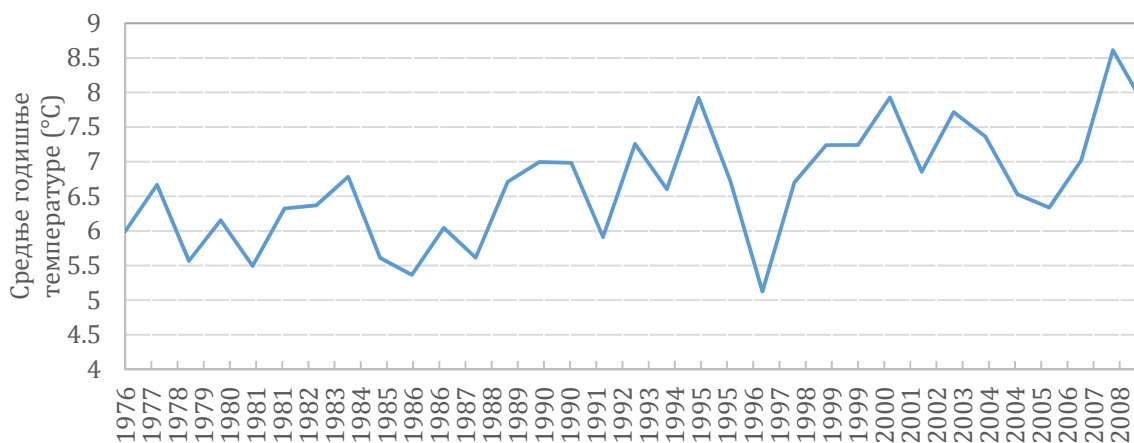
Слика 4.9. Суме годишњих падавина на сливу ријеке Камп.



Слика 4.10. Средњи годишњи отицаји на сливу ријеке Камп.



Слика 4.11. Унутаргодишња расподјела протицаја и суме мјесечних падавина на сливу Камп.



Слика 4.12. Средње годишње температуре на сливу Камп.

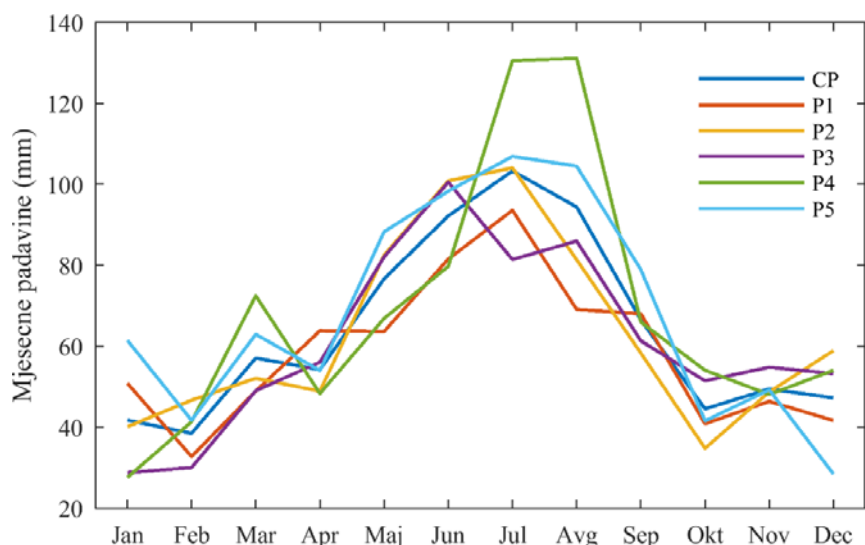
Према унутаргодишњој расподјели, највише протицаја има у прољетним мјесецима, у периоду март и април услјед топљења снијега и механизма отицаја кише преко снијега, те у августу услјед конвективних киша које производе бујице (Слика 4.11). Слика 4.12 приказује средње годишње температуре гдје се јасно уочава тренд пораста температура након 1987 године.

Подаци о падавинама, температурама и протицајима су били расположиви за период од 01.01.1976 па до 30.12.2008 док је РЕТ срачуната Мортон методом.

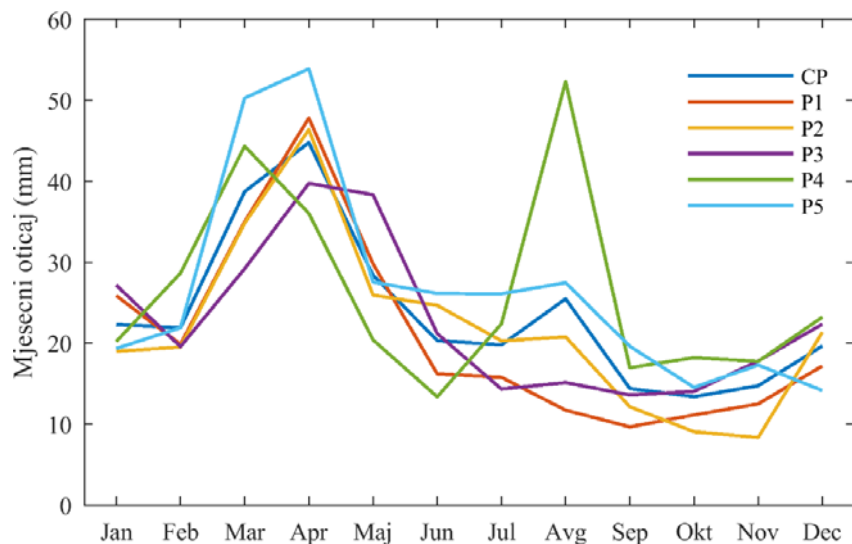
У првом приступу моделирању, овај период је подијељен на 5 потпериода дужине по 6 година а прве три године, од 1976-1979, су послужиле као период загријавања модела. Периоди и њихове основне хидроклиматске карактеристике су приказани у Табела 4.3. Слика 4.14 приказује средње мјесечне падавине и отицаје за овај слив.

Табела 4.3. Основне хидроклиматске карактеристике слива Камп у калибрационим периодима и Тиреловом протоколу.

	Комплетан период, CP	Потпериоди				
		P1	P2	P3	P4	P5
Датум од-до (мјесец/година)	01/1979 – 12/2008	01/1979 – 12/1984	01/1985 – 12/1990	01/1991 – 12/1996	01/1997 – 12/2002	01/2003 – 12/2008
Средње темп. T_{avg} (°C)	6.7	6.1	6.2	6.5	7.2	7.2
Средње годишње падавине P (mm/god)	766	701	757	735	820	816
Средња годишња РЕТ (mm/year)	608	596	593	595	627	629
Средњи протицај Q_{avg} (m ³ /s)	5.60	4.97	5.17	5.37	6.19	6.33
Средњи годишњи отицај V_0 (mm/god)	283.9	252.5	262.3	272.5	313.9	318.3
Индекс суше $AR = PET/P$ (-)	0.79 (водан)	0.85 (водан)	0.78 (водан)	0.81 (водан)	0.77 (водан)	0.77 (водан)
Коефицијент отицаја V_0/P (%)	37.1	36.0	34.6	37.1	38.3	39.0



Слика 4.13. Унутаргодишња расподјела мјесечних сума падавина на сливу Камп у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.



Слика 4.14. Унутаргодишња расподјела мјесечних отицаја на сливу Камп у периодима калибрације и Тиреловом протоколу.

Из претходне табеле и слика унутаргодишње расподјеле може да се закључи да су, релативно у односу на остале периоде, сушни периоди P1 и P2, водни су P4 и P5 док су мјешовити P3 и CP. Међутим, ово је условно обзирно да су заправо сви периоди водни, по класификацији према индексу суше.

У другом приступу моделирању, водни период је од 1996-2008 док је сушни период био прије водног, између 1979-1995. Основне карактеристике за ова два периода су дате у табели 4.4.

Табела 4.4. Основне хидро-климатске карактеристике за ријеку Камп по калибрационим периодима према DSST протоколу.

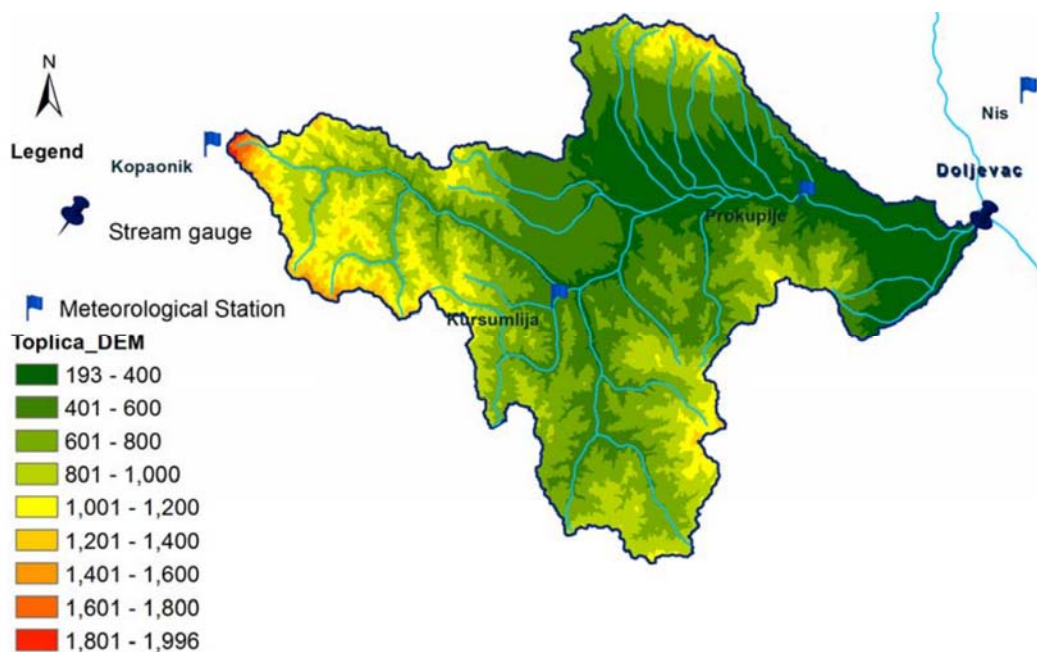
	Комплетан период CP	Потпериоди	
		Водни период VP	Сушни период SP
Датум од-до (мјесец/година)	01/1979 – 12/2008	01/1996 – 12/2008	01/1979 – 12/1995
Средње темп. T_{avg} (°C)	6.7	7.1	6.4
Средње годишње падавине P (mm/god)	766	821	724
Средња годишња PET (mm/ year)	608	623	597
Средњи протицај Q_{avg} (m ³ /s)	5.60	6.43	4.96
Средњи годишњи отицај V_0 (mm/god)	284	326	252
Индекс суше AR = PET/ P (-)	0.79 (водан)	0.76 (водан)	0.82 (водан)
Коефицијент отицаја V_0/P (%)	37.1	39.7	34.8

4.3 Ријека Топлица до станице Дољевац

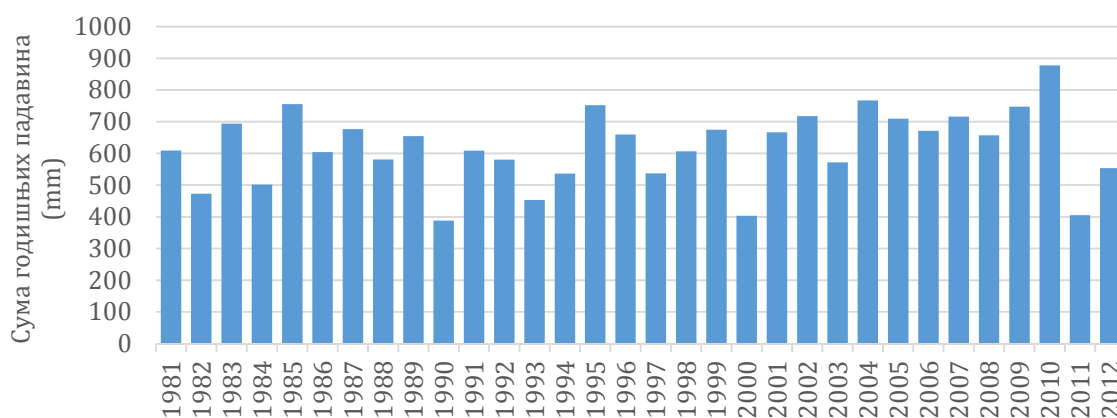
Слив ријеке Топлице дренира у Јужну Мораву. Површина слива до станице Дољевац износи 2052 km² а надморске висине се крећу од 193 до 1996 m. Доминантни покривач земљишта су шуме а мање од 1% слива је урбанизовано. Врста тла на сливу је углавном смоница што припада хидролошкој групи тла D и кисела, смеђа подзолик земљишта из хидролошке групе B.

Клима на сливу је умјерено континентална са просјечним сумама годишњих падавина од око 620 mm и просјечном годишњом запремином отицаја од 130 mm што даје просјечан коефицијент отицаја 0.2 или 20% од укупно палих падавина. Просјечан протицај на сливу је 8.5 m³/s а средње годишње температуре су око 11°C. У средњим годишњим температурама се уочава тренд пораста након 1993 године након чега се биљежи пораст са 10.3 на 11°C. Слично је код годишњих сума PET чије су се вриједности повећале са 929 на 958 mm након 1993 године. У исто вријеме, просјечне годишње суме падавина су се повећале за 60 mm после 1993 а мање значајан пораст је забиљежен код средњих годишњих протицаја (око 0.5 m³/s или око 7 mm запремине отицаја).

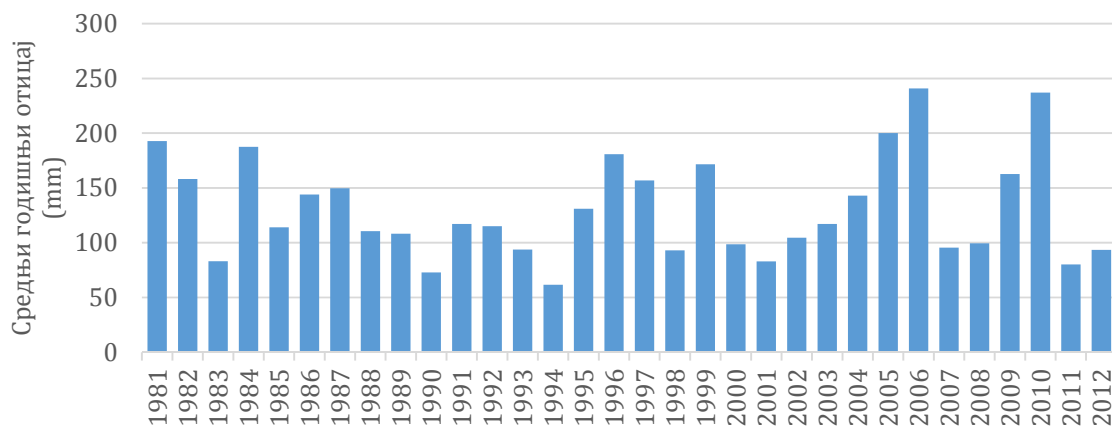
Слике 4.16 и 4.17 приказују годишње суме падавина и средњих годишњих запремина отицаја на сливу. Уочавају се израженији отицаји у појединим годинама, нпр. 2005, 2006 и 2010 што не прати количина падавина осим за 2010 годину.



Слика 4.15. Слив Ријеке Топлице до станице Дољевац. (Извор: Todorović 2015)



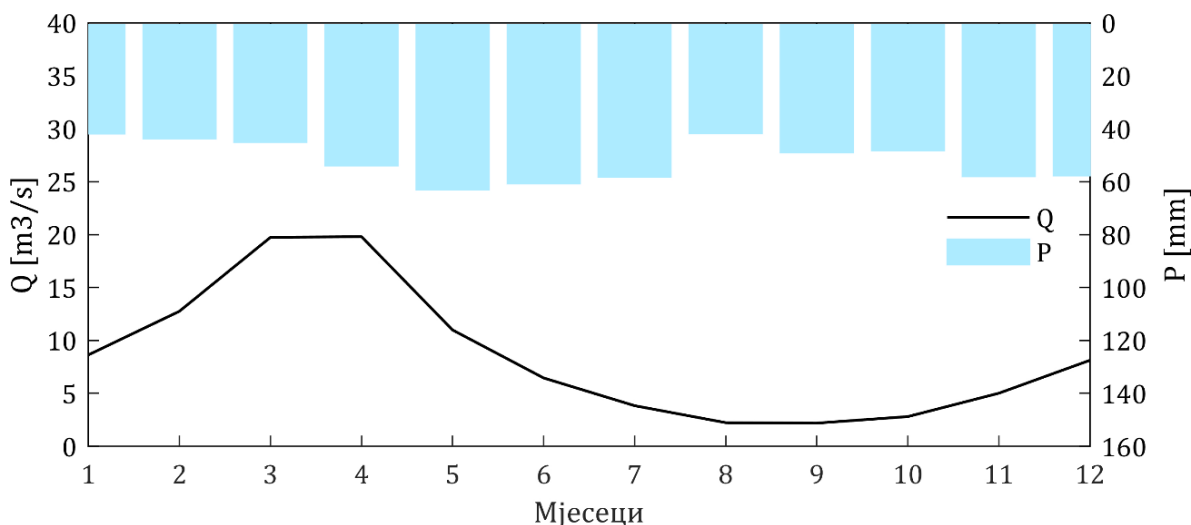
Слика 4.16. Суме годишњих падавина на сливу Топлица.



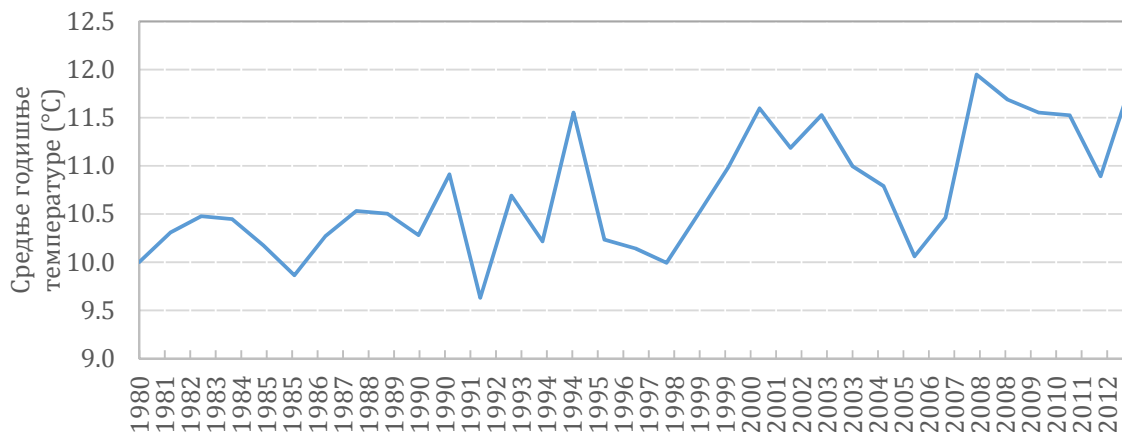
Слика 4.17. Средњи годишњи отицај на сливу Топлица.

Према унутаргодишњој расподјели на слици 4.18 највећи отицаји се јављају током прољетних мјесеци март и април док су најмањи у августу, септембру и октобру.

Средње годишње температуре су приказане на слици 4.19 гдје се уочава тренд пораста истих након 1993 године.



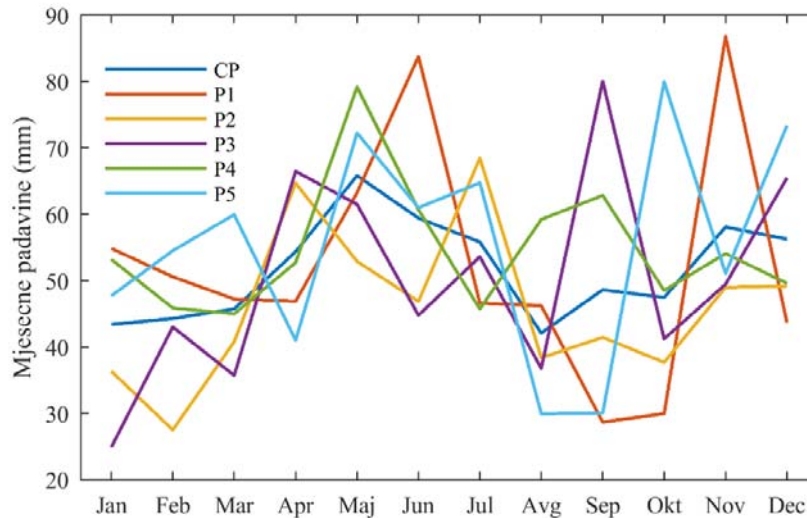
Слика 4.18. Унутаргодишње расподјеле суме мјесечних падавина и мјесечних отицаја на сливу Топлица.



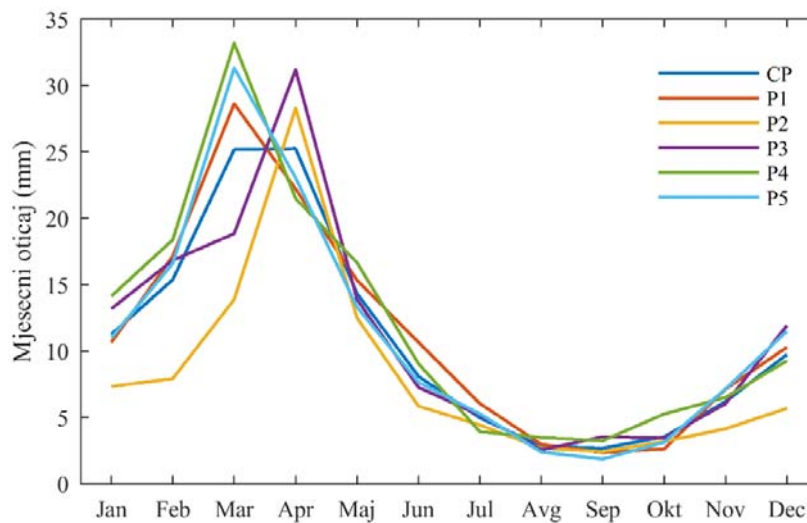
Слика 4.19. Средње годишње температуре на сливу Топлица.

За слив Топлице до станице Дољевац на располагању су протицаји, падавине и температуре од 01.10.1980 до 30.09.2013., укупне дужине 33 године. РЕТ је срачуната Хамон методом.

У првом приступу моделирању, прве три године су искоришћене за загријавање модела а осталих 30 је подијељено на 5 једнаких потпериода дужине по 6 година. Сlike 4.20 и 4.21 приказују унутаргодишњу расподјелу средњих мјесечних сума падавина и отицаја, респективно, за сваки од пет потпериода и комплетан период.



Слика 4.20. Унутаргодишња расподјела мјесечних сума падавина на сливу Топлица у калибрационим периодима и Тиреловим протоколом.



Слика 4.21. Унутаргодишња расподјела мјесечних отицаја на сливу Топлица у калибрационим периодима и Тиреловим протоколом.

Примјећује се велика неравномјерност падавина по периодима па се максимуми некад јављају у мају а некад у септембру, октобру или новембру. Период ниже суме падавина је углавном август-октобар (као и фебруар-март), осим за периоде P3 и P4 када у лјетњим мјесецима има доста кише. Ова неравномјерност падавина се не одражава претјерано на унутаргодишњу расподјелу отицаја. Максимални отицаји се јављају углавном у марту (односно у априлу за периоде P2 и P3) док су маловодни периоди јул-октобар.

Табела 4.5. Основне хидроклиматске карактеристике слива Топлица у калибрационим периодима и Тиреловом протоколу.

	Комплетан период, CP	Потпериоди				
		P1	P2	P3	P4	P5
Датум од-до (мјесец/година)	10/1983 – 09/2013	10/1983 – 09/1989	10/1989 – 09/1995	10/1995 – 09/2001	10/2001 – 09/2007	10/2007 – 09/2013
Средње темп. T_{avg} (°C)	10.7	10.2	10.5	10.7	10.9	11.8
Средње годишње падавине P (mm/god)	621	629	553	591	693	617
Средња годишња PET (mm/year)	963	927	938	956	978	999
Средњи протицај Q_{avg} (m ³ /s)	8.41	8.92	6.35	8.71	9.40	8.73
Средњи годишњи отицај V_0 (mm/god)	129.5	135.7	98.5	130.7	150.2	127.3
Индекс суше $AR = PET/P$ (-)	1.55 (умјерен)	1.47 (водан)	1.70 (умјерен)	1.62 (умјерен)	1.41 (водан)	1.62 (умјерен)
Коефицијент отицаја V_0/P (%)	20.8	21.6	17.8	22.1	21.7	20.6

Из претходног се закључује да су периоди P2 и P5 сушни, P1 и P3 водни а мјешовити су P3 и CP. Овдје су сушни периоди условно названи сушни, релативно у односу на остале, а јасно је да су сви периоди умјерено водни до водни.

У другом приступу моделирању, водни период је од 2003-2013 док је сушни период био прије водног, између 1981-2003. Основне карактеристике за ова два периода су дате у табели 4.6.

Табела 4.6. Основне хидро-климатске карактеристике за ријеку Камп по калибрационим периодима према DSST протоколу.

	Комплетан период CP	Потпериоди	
		Водни период VP	Сушни период SP
Датум од-до (мјесец/година)	10/1981 – 09/2013	10/2003 – 09/2013	10/1983 – 09/2003
Средње темп. T_{avg} (°C)	10.7	11.2	10.5
Средње годишње падавине P (mm/god)	621	665	597
Средња годишња PET (mm/year)	963	997	942
Средњи протицај Q_{avg} (m ³ /s)	8.41	9.47	7.89
Средњи годишњи отицај V_0 (mm/god)	129.5	144.7	120.6
Индекс суше $AR = PET/P$ (-)	1.55 (умјерен)	1.5 (водан)	1.58 (умјерен)
Коефицијент отицаја V_0/P (%)	20.8	21.8	20.2

4.4 Рекапитулација расположивих података за моделирање и подјела на периоде за калибрацију и валидацију модела

У наредној табели 4.7 дат је сумаран приказ сливова и података за моделирање а према усвојеним приступима моделирању из поглавља 3.1.

У ПМ2, као помоћ у идентификацији сушног и водног периода срачуната је и нацртана сумарна крива нормализованих вриједности годишње суме отицаја, $\sum Z$. За Вимера слив ово је било једноставно уочити због карактеристичног смањења отицаја од 1997 која је уједно и прва година у низу сушног периода док претходне године од почетка осматрања па до 1997 дефинишу водни период. Код сливова Камп и Топлица сушни периоди су дефинисани раније док су након 1996 за Камп и 2003 за Топлицу периоди воднији од претходног.

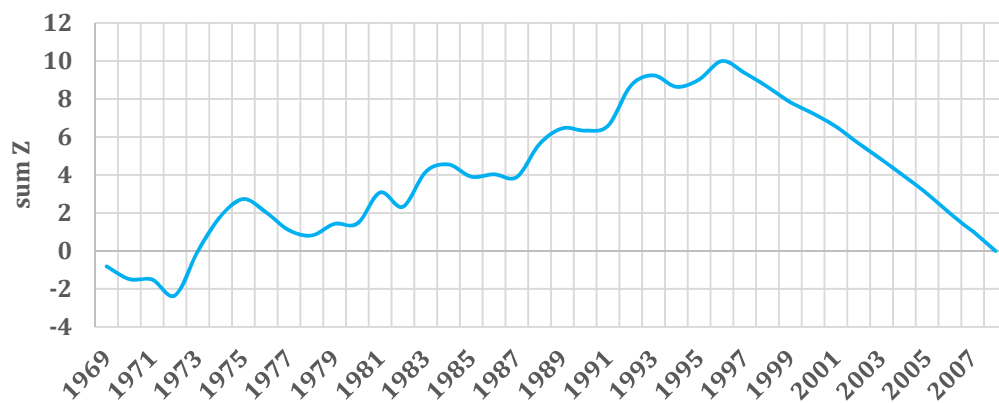
Табела 4.7. Сумарни приказ периода за калибрацију и валидацију за одабране сливове.

Слив	Вимера	Камп	Топлица
Период осматрања	03.05.1968-31.08.2009	01.01.1976-30.12.2008	01.10.1980-30.09.2013
Дужина осматрања (године)	40	33	33
Тирелов протокол			
CP	Јан 1969- Дец 2008	Јан 1979- Дец 2008	Окт 1983- Сеп 2013
P1	Јан 1969- Дец 1976	Јан 1979- Дец 1984	Окт 1983- Сеп 1989
P2	Јан 1977- Дец 1984	Јан 1985- Дец 1990	Окт 1989- Сеп 1995
P3	Јан 1985- Дец 1992	Јан 1991- Дец 1996	Окт 1995- Сеп 2001
P4	Јан 1993- Дец 2000	Јан 1997- Дец 2002	Окт 2001- Сеп 2007
P5	Јан 2001- Дец 2008	Јан 2003- Дец 2008	Окт 2007- Сеп 2013
DSST			
VP	Јан 1969- Дец 1996	Јан 1996- Дец 2008	Окт 2003- Сеп 2013
SP	Јан 1997- Дец 2008	Јан 1979- Дец 1995	Окт 1983- Сеп 2003

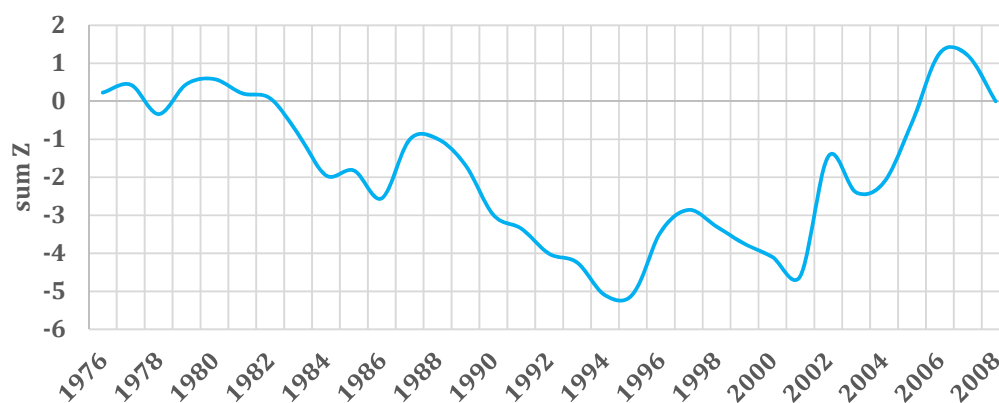
На сликама 4.22 до 4.24 приказани су дијаграми на основу којих је одређена граница између сушног и водног периода. Вриједност ординате сумарне криве нормализованих вриједности годишње суме отицаја у години i је дефинисана изразом:

$$\sum Z_i = Q_i + \sum_{j=1}^{i-1} \frac{Q_j - \bar{Q}}{\sigma} \quad (3.94)$$

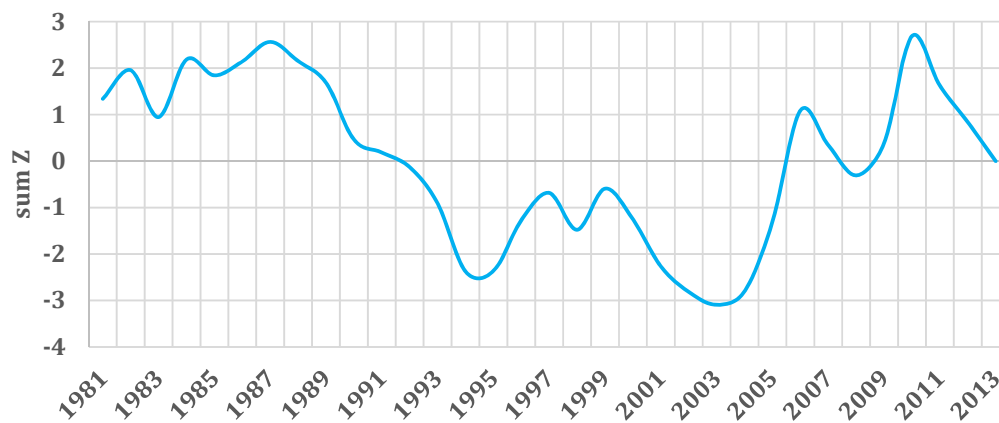
Промјене у тренду ове криве упућују на промјене у водности (сушности) узастопних година.



Слика 4.22. Дијаграм сумарне криве нормализованих вриједности годишњих протицаја ($sum Z$) на сливу ријеке Вимера.



Слика 4.23. Дијаграм сумарне криве нормализованих вриједности годишњих протицаја ($sum Z$) на сливу ријеке Камп.



Слика 4.24. Дијаграм сумарне криве нормализованих вриједности годишњих протицаја ($sum Z$) на сливу ријеке Топлице.

5 РЕЗУЛТАТИ

5.1 Евалуација модела Тиреловим протоколом за једнокритеријумску оптимизацију модела

При једнокритеријумској оптимизацији модела као циљна функција изабран је Клинг-Гупта коефицијент ефикасности (KGE). Прије коначног одабира, модели су калибрисани и са неколико других циљних функција (ЦФ) често коришћених у литератури (као што су нпр. NSE, NSE_{sqrt} , BIAS, индекс слагања IoA, средња апсолутна грешка MAE и средња квадратна грешка MSE). Ниједна од наведених опција није дала боље резултате већ напротив лошије, те је калибрациони процес настављен само са KGE. Ови резултати, због обимности нису представљени већ само они са коначно одабраном ЦФ-јом.

5.1.1 Ефикасност у калибрационом периоду

При калибрацији на свим сливовима, модели показују задовољавајуће резултате према статистичким показатељима ефикасности. Изузеци су сљедећи:

- На сливу ријеке Вимера поједини модели (модел *abcd*, WASMOD, WatBal и Xinanjiang) имају вриједности NSE_{sqrt} испод 0.5 и/или RSR изнад дефинисаног максимума од 0.7 при калибрацији на мјешовитом P4 или на сушном P5 периоду,
- На сливу ријеке Камп, такође су вриједности NSE_{sqrt} и RSR изван дефинисаних граница и то углавном при калибрацији на сушном P2 или водном P4 периоду. WatBal је према NSE_{sqrt} мјери успјешан при калибрацији само у сушном периоду P1 а Xinanjiang у P1 те у водним периодима P4 и P5 односно калибрација на мјешовитим периодима је најлошија. Ове проблеме имају сви модели осим Budyko модела.
- На сливу ријеке Топлице су такође једино показатељи NSE_{sqrt} и RSR незадовољавајући при калибрацији углавном у сушном периоду P2 и у водним периодима P3 и P4. Само *abcd* нема неуспјешних калибрација у свим периодима и према свим статистичким показатељима.

Показатељи ефикасности NSE_{sqrt} и RSR дају најлошије резултате у периоду калибрације. С друге стране, VE и KGE имају задовољавајуће вриједности у свим калибрационим периодима и за све моделе, што је и очекивано обзиром на циљну функцију коришћену у калибрацији.

Табела 5.1 приказује опсег вриједности статистичких показатеља при калибрацији за све анализиране моделе и сливове. Ради лакшег праћења, ћелије обојене сиво означавају моделе и мјере гдје се јавља незадовољавајућа ефикасност у неком од калибрационих периода.

Табела 5.1. Статистички показатељи ефикасности модела у једнокритеријумској калибрацији и Тиреловом протоколу.

Вимера				
Модел	KGE	NSE _{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.75-0.93	0.49-0.79	0.37-0.71	0.96-0.99
Budyko	0.77-0.95	0.52-0.84	0.32-0.64	0.97-1.00
GR2M	0.74-0.85	0.65-0.80	0.36-0.57	0.90-0.98
WASMOD	0.76-0.94	0.49-0.76	0.35-0.68	0.98-1.00
WatBal	0.74-0.91	0.49-0.72	0.43-0.72	0.93-0.99
Xinanjiang	0.71-0.93	0.49-0.76	0.37-0.72	0.94-1.00
Камп				
Модел	KGE	NSE _{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.73-0.95	0.51-0.81	0.31-0.71	0.98-1.0
Budyko	0.68-0.93	0.57-0.75	0.36-0.65	0.97-1.0
GR2M	0.59-0.93	0.45-0.70	0.37-0.81	0.90-0.99
WASMOD	0.80-0.88	0.50-0.73	0.48-0.61	0.92-1.0
WatBal	0.72-0.81	0.10-0.53	0.61-0.73	0.95-0.99
Xinanjiang	0.63-0.90	0.38-0.66	0.44-0.87	0.96-1.0
Топлица				
Модел	KGE	NSE _{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.78-0.91	0.61-0.83	0.42-0.66	0.99-1.0
Budyko	0.57-0.84	0.36-0.71	0.55-0.81	0.96-1.0
GR2M	0.62-0.79	0.52-0.74	0.56-0.73	0.89-0.94
WASMOD	0.84-0.88	0.61-0.76	0.49-0.56	0.99-1.0
WatBal	0.76-0.87	0.17-0.69	0.51-0.68	0.99-1.0
Xinanjiang	0.59-0.84	0.34-0.71	0.56-0.88	0.97-1.0

Репродуковање хидролошких потписа при калибрацији зависи од потписа, слива и модела:

- На сливу ријеке Вимера модели генерално добро симулирају ϵ_{BFI} и ϵ_{SEL} (осим *abcd*), ϵ_{STD} , ϵ_{Q95} , ϵ_{P0} и донекле аутокорељацију. Модели генерално лоше симулирају све перцентиле (осим наведеног ϵ_{Q95}), ϵ_{IAFD} и ϵ_{D20} .
- На сливу ријеке Камп модели лошије симулирају ϵ_{IAFD} , ϵ_{BFI} и ϵ_{SEL} (изузев Budyko и GR2M модела, као и WatBal са изузетком у водном периоду P4), ϵ_{Q5} и ϵ_{Q20} (осим Budyko и WASMOD и *abcd* са изузетком у водном периоду P5 гдје су грешке ових потписа велике). Модели имају задовољавајуће грешке сљедећих хидролошких потписа: ϵ_{STD} , ϵ_{Qmed} , аутокорељације, ϵ_{D20} , ϵ_{Q80} , ϵ_{Q95} , осим Xinanjiang модела који у већини случајева има велике грешке при симулацији потписа.
- Код слива ријеке Топлице, највеће разлике потписа су у калибрацији у сушном P2 периоду. Потписи које модели углавном лоше репродукују су: ϵ_{IAFD} (осим *abcd* и WASMOD), медијана (осим *abcd*, WASMOD и WatBal), ϵ_{SEL} (осим Budyko и GR2M), ϵ_{Q5} и ϵ_{Q20} без изузетка. Модели у калибрацији генерално добро репродукују сљедеће потписе: ϵ_{BFI} (осим WASMOD), стандардна девијација, аутокорељације, ϵ_{D20} , ϵ_{Q80} и ϵ_{Q95} . Xinanjiang има веома лоше резултате за све потписе.

Генерално, потписи које модели лоше симулирају при калибрацији на свим сливовима су ϵ_{IAFD} и мале воде ϵ_{Q5} и ϵ_{Q20} . Потпис ϵ_{Qmed} је добар само на сливу ријеке Камп док је ϵ_{BFI} лоша такође само код овог слива. Грешка потписа ϵ_{SEL} је задовољавајућа само код сушног слива Вимера док су ϵ_{D20} и ϵ_{Q80} лоши само у овом случају. ϵ_{AC1} и ϵ_{AC12} , ϵ_{STD} и ϵ_{Q95} се добро репродукују при калибрацији на свим сливовима.

5.1.2 Конзистентност ефикасности модела

Статистички показатељи

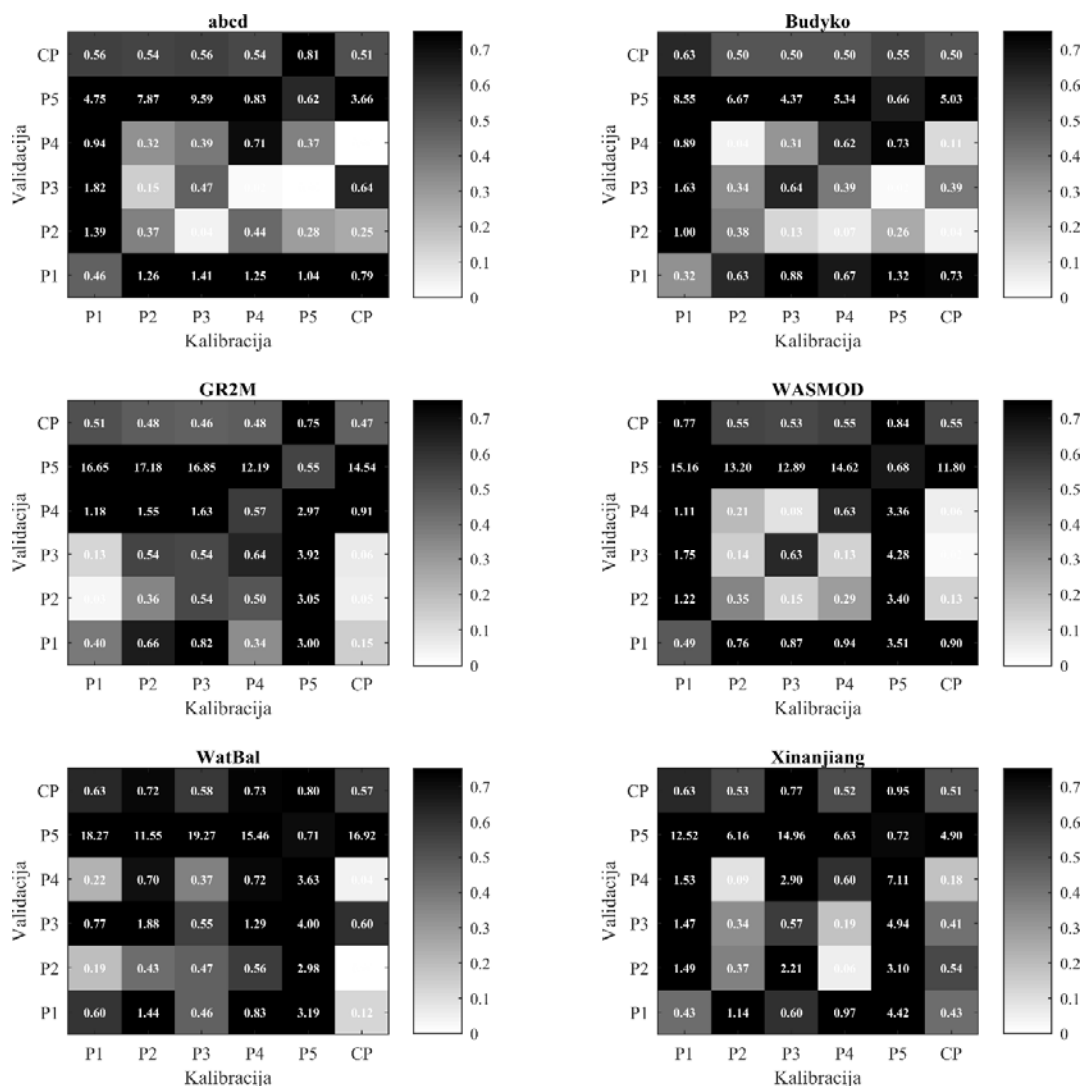
Код слива ријеке Вимера ефикасност модела значајно опада при трансферу на сушни период P5 и са периода P5 (трансфери водни-сушни, мјешовити-сушни и обрнуто). Истовремено, ово су трансфери кад су вриједности ефикасности модела неприхватљиве (у односу на дефинисане границе). Изузетак чине модели *abcd* и Budyko за NSE_{sqrt} и VE и Budyko за KGE, гдје су у потпуности трансферабилни са сушног периода на остале. Понешто другачију слику даје RSR за који неки модели немају задовољавајућу вриједност ове ефикасности при трансферу са и на водне периоде P1 и P3 (Слика 5.1). Ниједан модел није трансферабилан на сушни период (валидација на P5) према статистичким показатељима. Табела 5.2 приказује минималне, максималне и средње вриједности статистичких показатеља срачунате из вриједности у свим трансферима. Минималне вриједности (односно максималне за RSR) су углавном добијене у трансферима водни-сушни и обрнуто.

Табела 5.2. Минималне, максималне и средње вриједности (у загради) статистичких показатеља ефикасности у крос-валидацији на сливу Вимера.

Модел	KGE	NSE_{sqrt}	RSR	VE
abcd	-0.79-0.93 (0.54)	-0.43-0.78 (0.55)	0.00-9.59 (1.42)	-0.60-1.00 (0.75)
Budyko	-1.28-0.91 (0.54)	-0.51-0.84 (0.55)	0.02-8.55 (1.44)	-0.43-1.00 (0.75)
GR2M	-2.72-0.81 (0.11)	-1.42-0.83 (0.39)	0.03-17.18 (3.43)	-1.87-0.99 (0.38)
WASMOD	-3.52-0.93 (0.04)	-1.73-0.77 (0.25)	0.02-15.16 (3.14)	-1.53-1.00 (0.44)
WatBal	-3.52-0.86 (-0.02)	-2.27-0.70 (0.10)	0.00-19.27 (3.62)	-2.21-1.00 (0.36)
Xinanjiang	-2.70-0.85 (0.19)	-1.62-0.76 (0.29)	0.06-14.96 (2.76)	-1.49-0.99 (0.47)

Код слива ријеке Камп ефикасност модела углавном опада у трансферима на и са сушног P2 и водне периоде P4 и P5. Карактеристично је што према RSR већина модела има велике грешке при валидацији на CP док су модели према мјери VE у потпуности трансферабилни. NSE_{sqrt} има углавном лоше вриједности у крос-валидацији.

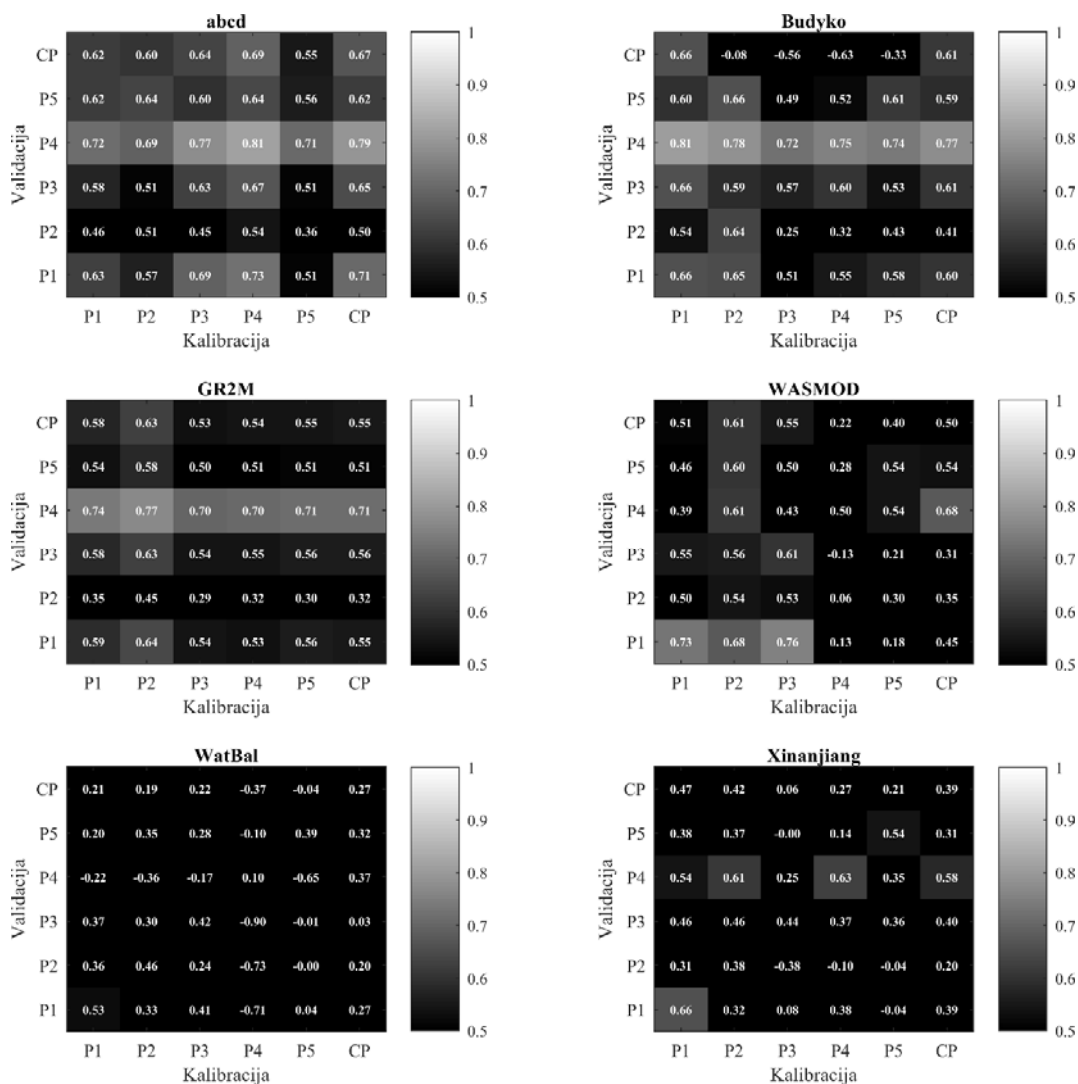
Табела 5.3 приказује минималне, максималне и средње вриједности ефикасности у свим трансферима на сливу ријеке Камп док су на слици 5.2 приказане вриједности NSE_{sqrt} према којој је већина трансфера незадовољавајућа.



Слика 5.1. Вриједности RSR у калибрацији и крос-валидацији на сливу ријеке Вимера.

Табела 5.3. Минималне, максималне и средње вриједности (у загради) статистичких показатеља ефикасности при крос-валидацији на сливу Камп.

Модел	KGE	NSE _{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.66-0.94 (0.78)	0.36-0.79 (0.61)	0.06-1.52 (0.53)	0.87-0.99 (0.96)
Budyko	-0.10-0.93 (0.65)	-0.63-0.81 (0.45)	0.00-1.15 (0.38)	0.76-1.00 (0.96)
GR2M	0.55-0.91 (0.70)	0.29-0.77 (0.55)	0.03-2.07 (0.72)	0.82-1.00 (0.93)
WASMOD	0.46-0.87 (0.71)	-0.13-0.76 (0.43)	0.03-1.86 (0.50)	0.84-1.00 (0.96)
WatBal	-0.06-0.80 (0.54)	-0.90-0.41 (0.02)	0.06-1.82 (0.80)	0.77-0.99 (0.93)
Xinanjiang	0.32-0.90 (0.54)	-0.38-0.61 (0.27)	0.01-2.57 (0.80)	0.75-1.00 (0.93)



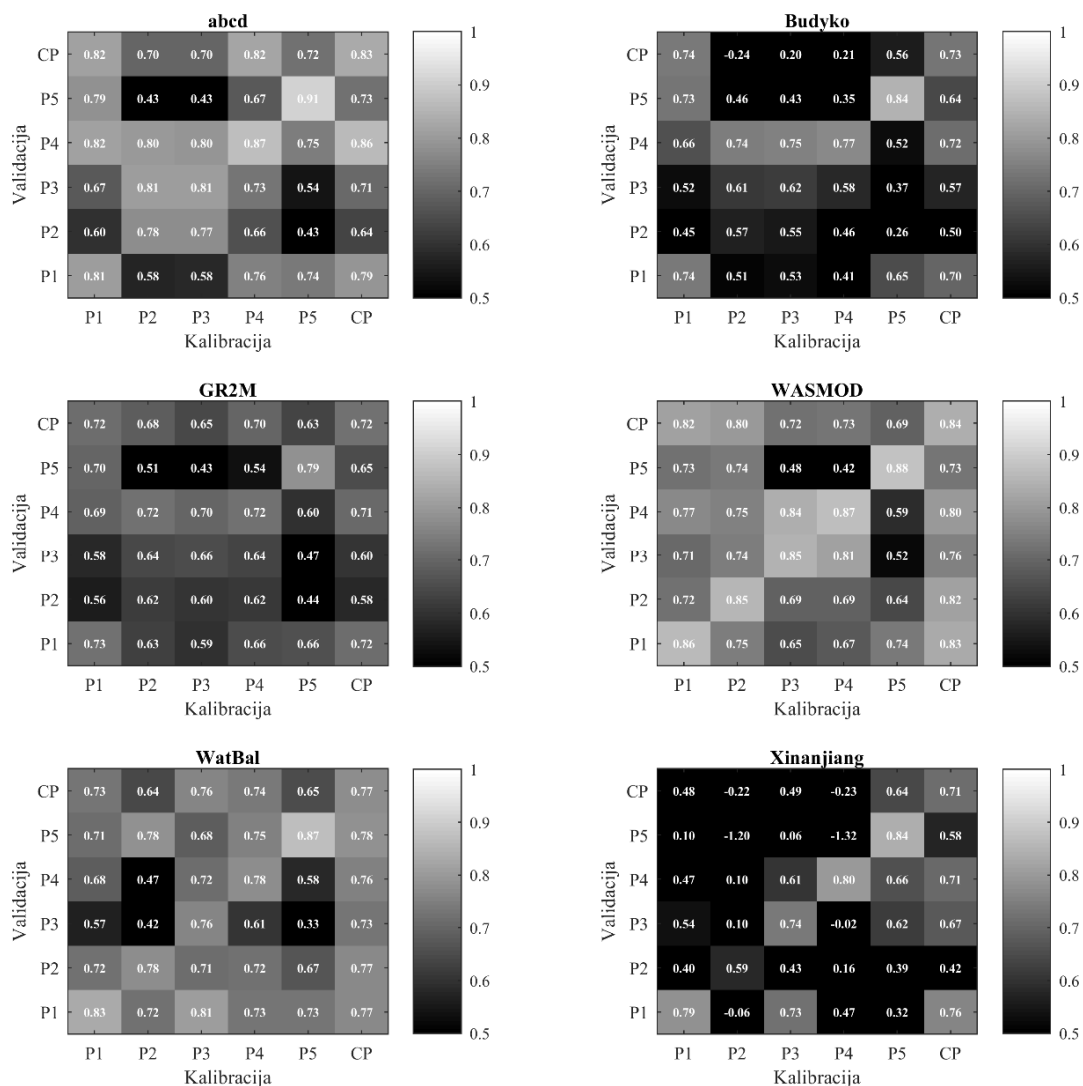
Слика 5.2. Вриједности NSE_{sqrt} у калибрацији и крос-валидацији на сливу ријеке Камп.

Табела 5.4. Минималне, максималне и средње вриједности (у загради) статистичких показатеља ефикасности при крос-валидацији на сливу Топлице.

Модел	KGE	NSE_{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.43-0.86 (0.69)	0.45-0.80 (0.69)	0.03-2.92 (1.05)	0.66-1.00 (0.87)
Budyko	-0.24-0.75 (0.50)	-1.44-0.64 (0.31)	0.06-3.57 (1.56)	0.30-1.00 (0.80)
GR2M	0.43-0.72 (0.62)	0.39-0.73 (0.62)	0.04-4.08 (1.26)	0.52-1.00 (0.84)
WASMOD	0.42-0.84 (0.71)	0.28-0.72 (0.59)	0.17-2.64 (1.03)	0.70-0.99 (0.88)
WatBal	0.33-0.81 (0.68)	-0.08-0.61 (0.35)	0.14-2.55 (0.72)	0.71-0.98 (0.92)
Xinanjiang	-1.32-0.76 (0.26)	-2.18-0.60 (0.04)	0.15-14.8 (3.12)	-0.74-0.98 (0.58)

Код слива ријеке Топлице, најлошији трансфери су такође на сушни период укључујући и сушни/сушни трансфер (P2/P5 и P5/P2). Вриједности KGE и VE су релативно задовољавајуће при валидацији, што није случај са друга два статистичка показатеља. Поново су резултати најлошији према мјери NSE_{sqrt} .

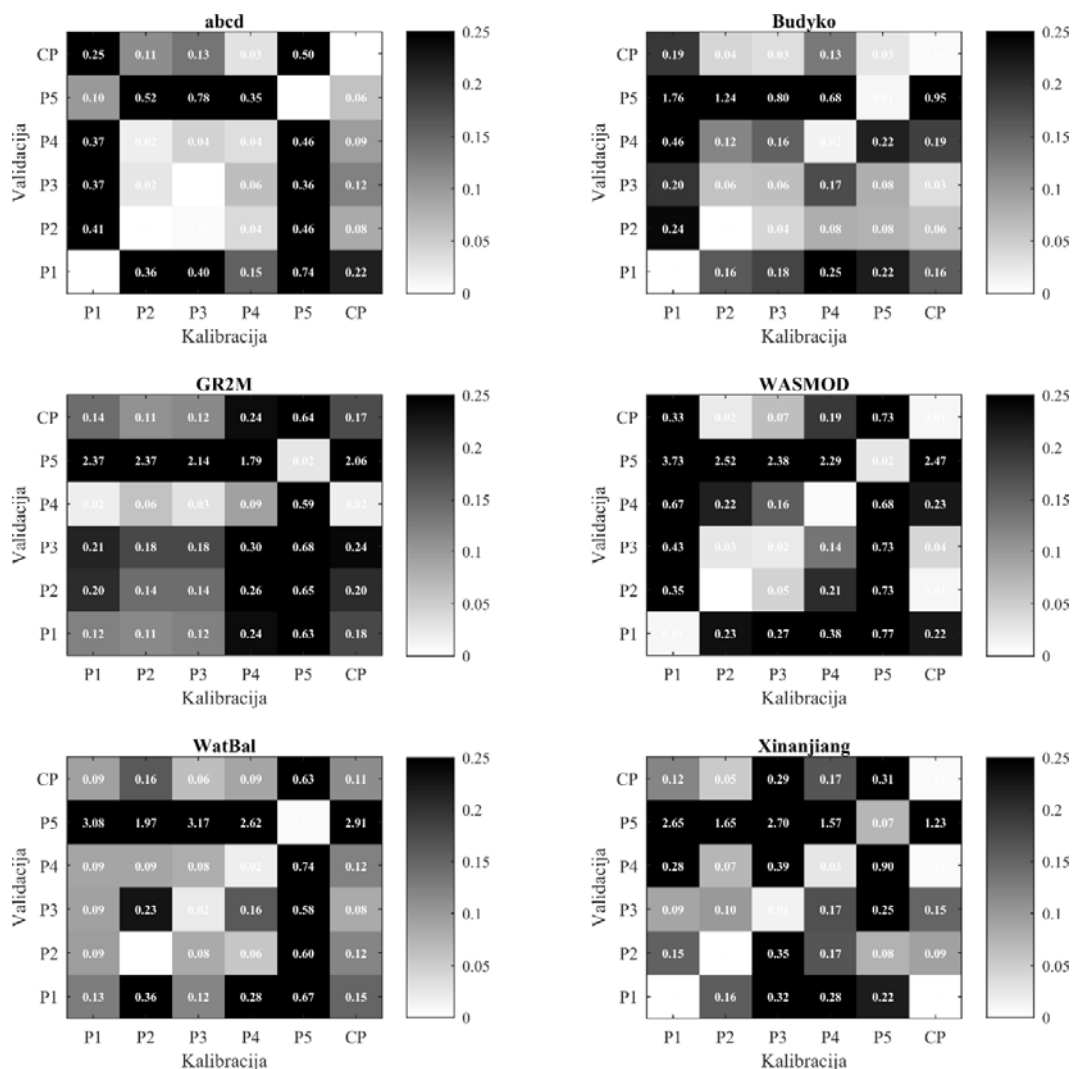
За разлику од претходних сликова гдје је Будуко модел био међу најбољима, овдје су његови резултати доста лошији. Табела 5.4 приказује опсеге вриједности ефикасности модела при валидацији а слика 5.3 дијаграм вриједности KGE.



Слика 5.3. Вриједности KGE у калибрацији и крос-валидацији на сливу ријеке Топлице.

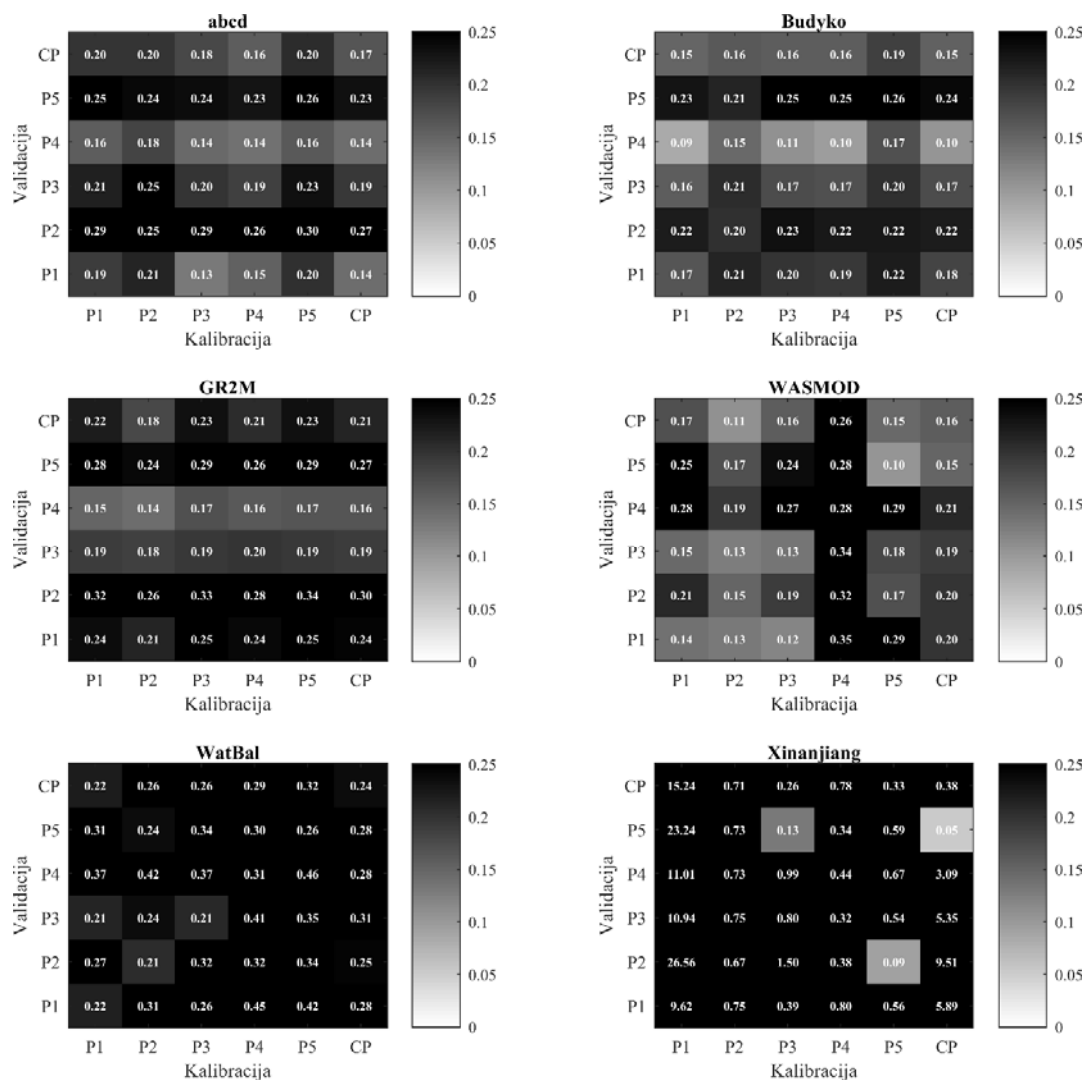
Хидролошки потписи

У крос-валидацији на сливу Вимере грешке потписа су дозвољено мале у случају аутокорељација, ϵ_{SEL} , ϵ_{P0} и ϵ_{BFI} док су велике за ϵ_{IAFD} , ϵ_{STD} , медијану, ϵ_{D20} и све перцентиле. Само ϵ_{STD} , ϵ_{P0} и ϵ_{Q95} су осјетљиви на трансфер из једног периода у други док остали не показују такву врсту осјетљивости. IAFD има недозвољено велике грешке али се уочава да су истакнуто веће при трансферима са и на P5. У резултатима Xinanjiang модела, више потписа је информативно у овом смислу него код осталих модела. Нпр. аутокорељација, ϵ_{D20} , ϵ_{BFI} , ϵ_{Qmed} и ϵ_{SEL} показују пад ефикасности при трансферу на сушни период слично као и статистички показатељи.



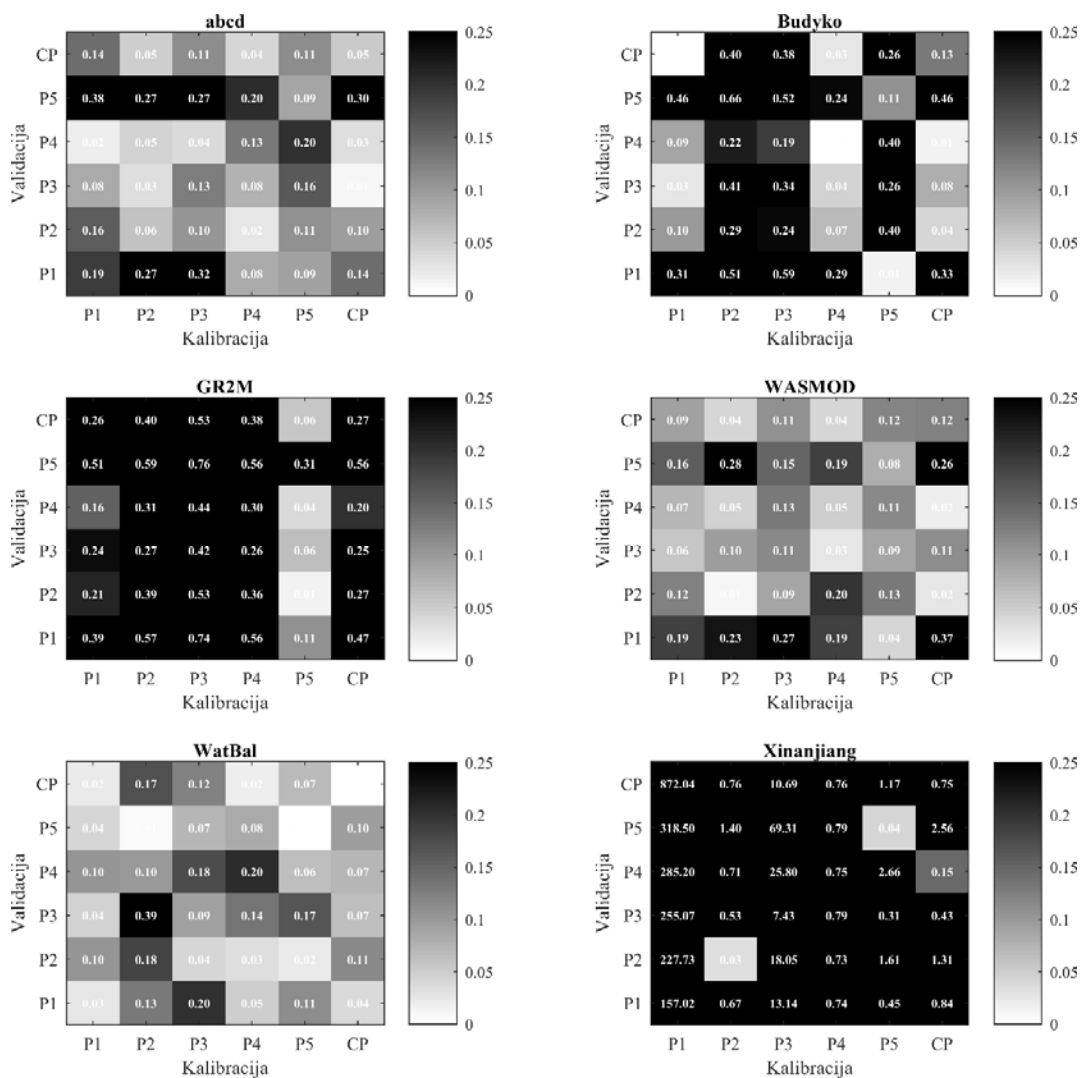
Слика 5.4. Вриједности ϵ_{STD} у калибрацији и крос-валидацији на сливу Вимера.

Према хидролошким потписима на сливу Камп, Budyko је потпуно трансферабилан према ϵ_{IAFD} , ϵ_{Qmed} , ϵ_{D20} , ϵ_{Q80} и ϵ_{Q95} , GR2M за ϵ_{BF1} , ϵ_{SEL} , ϵ_{AC1} , ϵ_{Q80} , ϵ_{Q95} . WASMOD за ϵ_{Q20} , ϵ_{D20} , ϵ_{Qmed} . Модели су такође потпуно трансферабилни према ϵ_{AC12} (осим WatBal при трансферу на водни период и Xinanjiang). Најлошији резултати свих модела су за ϵ_{Q5} , ϵ_{IAFD} , ϵ_{SEL} и ϵ_{BF1} за водни/сушни, те ϵ_{Q20} у готово свим трансферима. Генерално, сви модели (изузев Xinanjiang који има лоше резултате за све потписе) добро репродукују стандардну девијацију, медијану, аутокорејације, ϵ_{D20} , те ϵ_{Q80} и ϵ_{Q95} . За разлику од Вимера слива, већина потписа потврђују закључке о паду ефикасности изнесене у претходном поглављу при трансферу на и са P2 и P4 и P5 с тим да су и поједини други трансфери такође лоши. Уопште гледано, на овом сливу успјешност модела у трансферима је највећа.



Слика 5.5. Вриједности ϵ_{IAFD} при крос-валидацији на сливу ријеке Камп.

На сливу Топлице модели генерално добро симулирају при валидацији ϵ_{BFI} , ϵ_{STD} , ϵ_{SEL} , аутокорелације, D_{20} , ϵ_{Q80} и ϵ_{Q95} , док остали потписи имају доста лоше вриједности. Поново Xinanjiang има најлошије резултате али је занимљиво да код овог слива Budyko више није међу најбољима. Овај пут, модели који су се код друга два слива показали међу лошијима (WASMOD и WatBal) су сада међу најбољима. Са те стране, резултати за слив Топлице доста одступају од резултата добијених на друга два слива. Слика 5.6 показује велике разлике у симулираним вриједностима грешке потписа $\epsilon_{Q_{med}}$ између модела (WASMOD, WatBal и *abcd* имају добре вриједности за $\epsilon_{Q_{med}}$ док остала три модела лоше).



Слика 5.6. Вриједности ϵ_{Qmed} у крос-валидацији на сливу ријеке Топлица.

Табеле 5.5 до 5.7 приказују проценте успјешности сваког од трансфера (количина одређеног трансфера је дефинисана у реду испод назива трансфера). Према обе врсте показатеља ефикасности модела, статистички и хидролошки потписи, најлошији трансфери су на сушни период с тим да су вриједности знатно веће (боља трансферабилност) за слив ријеке Камп у односу на Вимеру. Слично је и код слива ријеке Топлице, гдје је трансферабилност такође најлошија при трансферу на сушни период укључујући и трансфер сушни/сушни, што је било неочекивано.

У табелама су коришћене сљедеће скраћенице за трансфере: слово в означава водни, м-мјешовити и с-сушни период. Ради лакшег уочавања резултата од интереса, најлошији трансфери и модели са највише успјешних трансфера су обојени сивом бојом.

Табела 5.5. Процент успешних калибрација и валидација на сливу ријеке Вимера

Трансфер	В-В	В-М	В-С	М-В	М-М	М-С	С-В	С-М
Број трансфера	2	6	2	6	6	3	2	3
Модел	Статистички показатељи							
abcd	38	79	0	79	100	17	75	75
Budyko	63	83	0	96	100	0	75	83
GR2M	88	88	0	10	88	0	13	25
WASMOD	38	67	0	88	96	0	0	0
WatBal	75	88	0	46	83	0	0	0
Xinanjiang	88	33	0	92	96	0	0	0
Ср.вриједност	65	73	0	83	94	3	27	31
Модел	Хидролошки потписи							
abcd	36	48	25	50	46	21	46	40
Budyko	50	49	29	69	63	26	68	60
GR2M	71	56	29	61	65	29	32	33
WASMOD	29	44	32	42	52	29	29	36
WatBal	39	52	29	56	58	21	46	45
Xinanjiang	61	65	25	71	63	36	25	33
Ср.вриједност	48	52	28	58	58	27	41	41

Табела 5.6. Процент успешних трансфера на сливу ријеке Камп

Трансфер	В-В	В-М	В-С	М-В	М-М	М-С	С-В	С-М	С-С
Број трансфера	2	4	4	4	2	4	4	4	2
Модел	Статистички показатељи								
abcd	100	100	81	100	100	81	100	94	63
Budyko	100	63	88	94	63	88	100	81	88
GR2M	88	94	69	81	100	69	88	94	75
WASMOD	75	63	56	88	75	81	81	94	88
WatBal	50	44	44	63	50	63	50	56	63
Xinanjiang	50	56	38	69	63	50	69	50	50
Ср.вриједност	77	70	63	82	75	72	81	78	71
Модел	Хидролошки потписи								
abcd	86	86	77	93	100	91	84	82	64
Budyko	93	96	79	93	89	79	89	88	79
GR2M	93	96	86	86	96	79	82	93	82
WASMOD	68	82	61	89	93	88	89	93	86
WatBal	68	63	55	82	86	79	82	91	89
Xinanjiang	07	09	09	23	07	13	18	18	21
Ср.вриједност	69	72	61	78	79	71	74	77	70

Табела 5.7. Процент успјешних трансфера на сливу ријеке Топлица

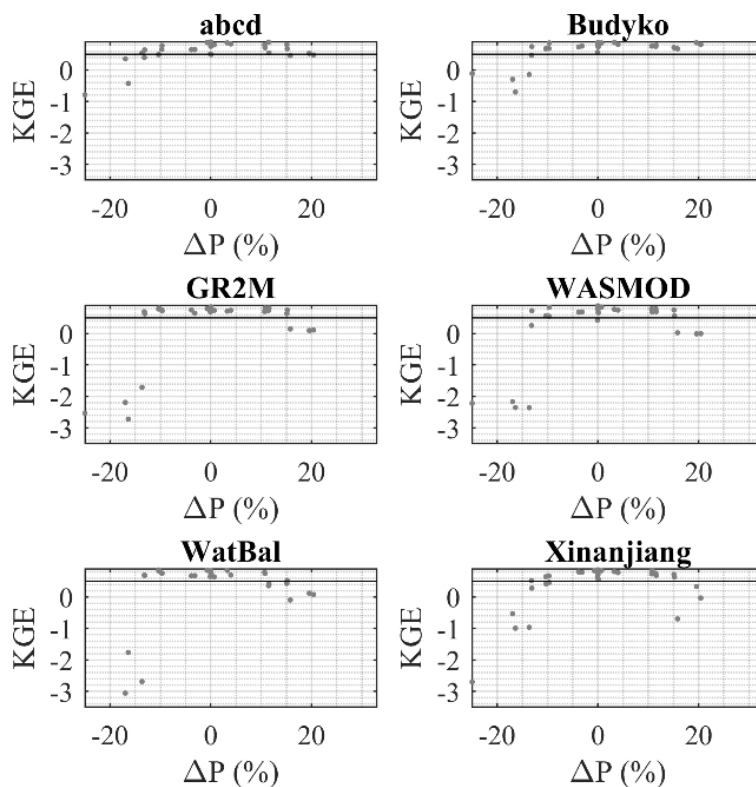
Трансфер	В-В	В-М	В-С	М-В	М-М	М-С	С-В	С-М	С-С
Број трансфера	2	4	4	4	2	4	4	4	2
Модел	Статистички показатељи								
abcd	100	88	75	88	75	63	75	81	13
Budyko	50	63	38	88	38	50	63	38	0
GR2M	88	88	75	75	75	50	75	81	38
WASMOD	88	81	63	94	88	56	81	81	75
WatBal	63	69	69	81	75	75	63	31	88
Xinanjiang	0	6	0	69	50	13	31	38	13
Ср.вриједност	65	66	53	82	67	51	65	58	38
Модел	Хидролошки потписи								
abcd	86	86	75	73	82	68	73	79	54
Budyko	64	73	50	75	61	52	63	52	25
GR2M	71	70	57	68	61	50	73	70	61
WASMOD	61	66	68	71	82	70	57	66	57
WatBal	79	71	64	75	75	70	86	75	89
Xinanjiang	7	9	9	14	14	9	7	2	4
Ср.вриједност	61	63	54	63	63	53	60	57	48

У најлошијим трансферима на Вимера сливу, проценат успјешности је већи за потписе него за статистичке показатеље, вјероватно због неколико потписа који су горе наведени као једнако добри без обзира на трансфер. Како ови потписи нису осјетљиви на трансфер, *неинформативни* су са аспекта евалуације модела и у даљој анализи неће бити помињани. Неинформативни потписи су и они који се стално лоше репродукују, од калибрационог периода па у свим трансферима. Информативни потписи нису исти за сваки слив. За Вимеру су то STD , ϵ_{Q95} и ϵ_{IAFD} , за Камп ϵ_{D20} , ϵ_{Q80} , ϵ_{Q95} , ϵ_{Q20} , ϵ_{Qmed} , ϵ_{IAFD} , и ϵ_{STD} а за Топлицу аутокорељације, ϵ_{Q95} , ϵ_{Q80} , ϵ_{Qmed} , ϵ_{IAFD} и ϵ_{STD} .

Вриједности статистичких показатеља и грешака хидролошких потписа за све моделе и сливоу су дате табеларно у Прилогу II.

Границе трансферабилности модела

На Вимера сливу, за све статистичке показатеље као и потписе ϵ_{Q95} и ϵ_{STD} који показују сличне резултате трансферабилности, само Budyko модел је трансферабилан на воднији период док је *abcd* само према NSE_{sqrt} и VE и GR2M према NSE_{sqrt} . У осталим случајевима границе трансферабилности према падавинама су у просјеку од -10% до 14%, а за PET $\pm 1.5\%$.

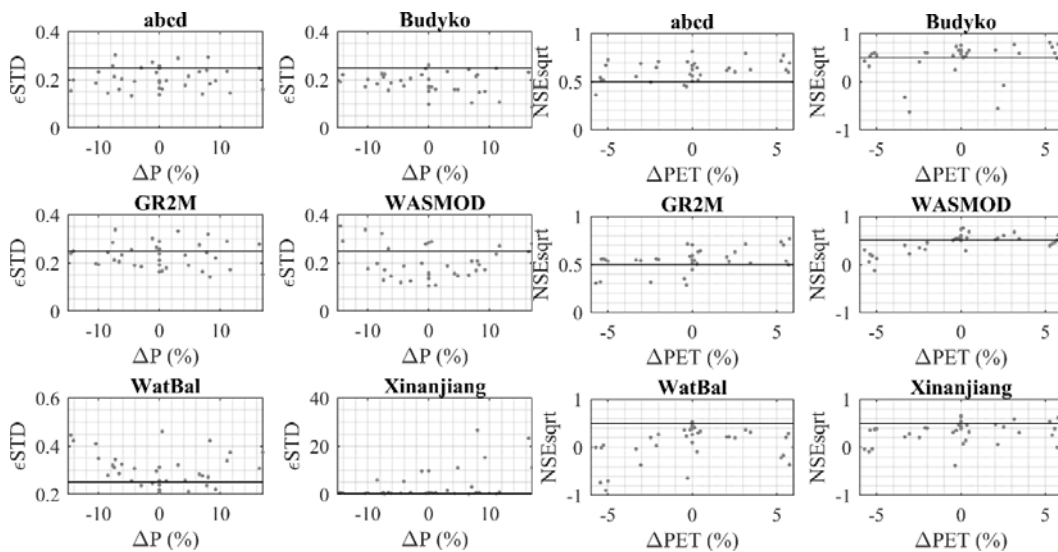


Слика 5.7. Зависност KGE од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Вимера.

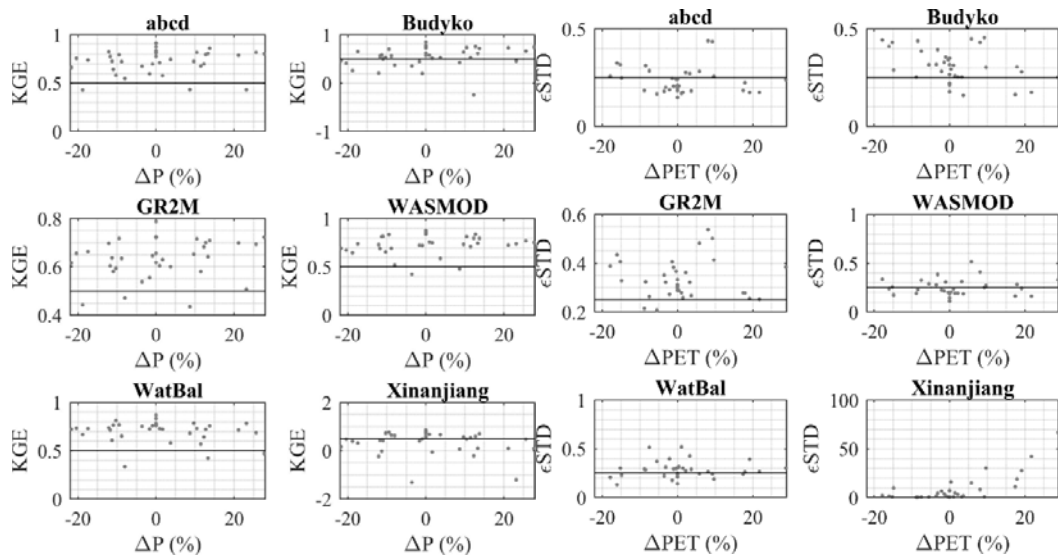
Према осталим хидролошким потписима, тешко је донијети закључак о трансферабилности модела. Према појединим потписима, модели су трансферабилни без обзира на повећање (смањење) падавина односно смањење (повећање) РЕТ. То су ϵ_{BFI} и ϵ_{SEL} (осим за *abcd* који према овим потписима није трансферабилан), ϵ_{AC12} (потпуно за *abcd* и *Budyko*) и ϵ_{P0} (осим за *WASMOD* који по овом потпису није трансферабилан на сушнији период). Према грешкама свих перцентила, ϵ_{IAFD} , $\epsilon_{Q_{med}}$ и ϵ_{D20} модели нису трансферабилни уопште. Само један дио потписа показује сличан образац као статистички показатељи (нпр. образац примјетан на Слици 5.7): ϵ_{Q95} , ϵ_{Q20} , $\epsilon_{Q_{med}}$, ϵ_{IAFD} и ϵ_{STD} . Остали потписи немају уочљиву промјену ефикасности при трансферима већ су насумично распоређени.

У случају слива ријеке Камп, трансферабилност модела према статистичким показатељима је мања него за Вимера слив. Једино је *abcd* потпуно (или у границама) трансферабилан док остали модели или нису уопште или имају доста ниске границе (нпр. $\Delta P = -6 \div 7\%$). Изузетак је *VE* према коме су сви модели трансферабилни.

Према свим статистичким показатељима и хидролошким потписима, осим према *VE*, *Xinanjiang* није трансферабилан. Остали модели су трансферабилни у потпуности према свим перцентилима (осим ϵ_{Q80} према којем је само *GR2M* потпуно трансферабилан) и $\epsilon_{Q_{med}}$. За разлику од Вимере, према грешкама потписа ϵ_{BFI} и ϵ_{SEL} модели уопште нису трансферабилни; такође нису ни за ϵ_{AC1} , ϵ_{D20} и ϵ_{STD} (осим *Budyko* модела који је трансферабилан). У осталим случајевима, границе трансферабилности према потписима су од -7 до 11%.



Слика 5.8. Зависност ϵ_{STD} (лијево) од промјене количине падавина у валидационом периоду и зависност NSE_{sqrt} (десно) од промјене количине PET на сливу Камп.



Слика 5.9. Зависност KGE (лијево) од промјене количине падавина у валидационом периоду и зависност ϵ_{IAFD} (десно) од промјене количине PET на сливу Топлица.

На сливу Топлица, трансферабилност је још више ограничена него код слива Камп. Према статистичким показатељима Budyko (осим према VE) и Xinanjiang нису уопште трансферабилни. Према RSR само WatBal је трансферабилан, а остали модели у границама $\pm 7\%$ промјене падавина.

Према потписима, сви модели (осим Xinanjiang) су трансферабилни према ϵ_{Q20} , ϵ_{Q50} и ϵ_{Qmed} док нису уопште према ϵ_{Q5} (осим WatBal), ϵ_{Q95} (осим abcd и WASMOD), ϵ_{BF1} , ϵ_{SEL} , ϵ_{STD} , ϵ_{AC1} , ϵ_{AC12} (осим WatBal) и ϵ_{D20} (осим Budyko и GR2M).

На слици 5.9 приказана је зависност KGE и ϵ_{IAFD} од промјене P и PET. Остали карактеристични дијаграми промјена ефикасности у односу на промјене падавина у валидационом периоду (у односу на калибрациони) су дати у Прилогу IV.

5.1.3 Конзистентност оцјена параметара модела

Већина параметара показује малу варијабилност при калибрацији на различитим периодима. Ипак, поједини параметри су веома осјетљиви на калибрациони период. Табела 5.8 приказује параметре чије вриједности варирају при калибрацији у различитим периодима а у заградама поред њих је дата вриједност IC. Примјећује се да једино модел са најмање слободних параметара (GR2M-2 параметра) има стабилне параметре док сви остали имају бар један варијабилан. Изузев параметра *c*, *abcd* модел такође има доста стабилне параметре. Код осталих модела, нису увијек исти параметри варијабилни при калибрацији на сваком од сливова. Параметар максималног капацитета влажности тла и коефицијент потповршинског течења WatBal модела су варијабилни у случају сва три слива, док је додатно коефицијент површинског течења варијабилан на воднијим сливовима Камп и Топлица. Варијабилни параметри WASMOD-а су различити за сваки слив као и за Будуко, с тим да је за водније сливове осјетљив параметар Smax. Код Xinanjiang модела само је индекс просторне расподеле запремине подземне воде (*Kg*) варијабилан при калибрацији на свим сливовима док је параметар подземног линеарног резервоара варијабилан на сливовима Вимере и Кампа. На сливу Топлице додатно је варијабилан средњи просторни капацитет запремине слободне воде на сливу.

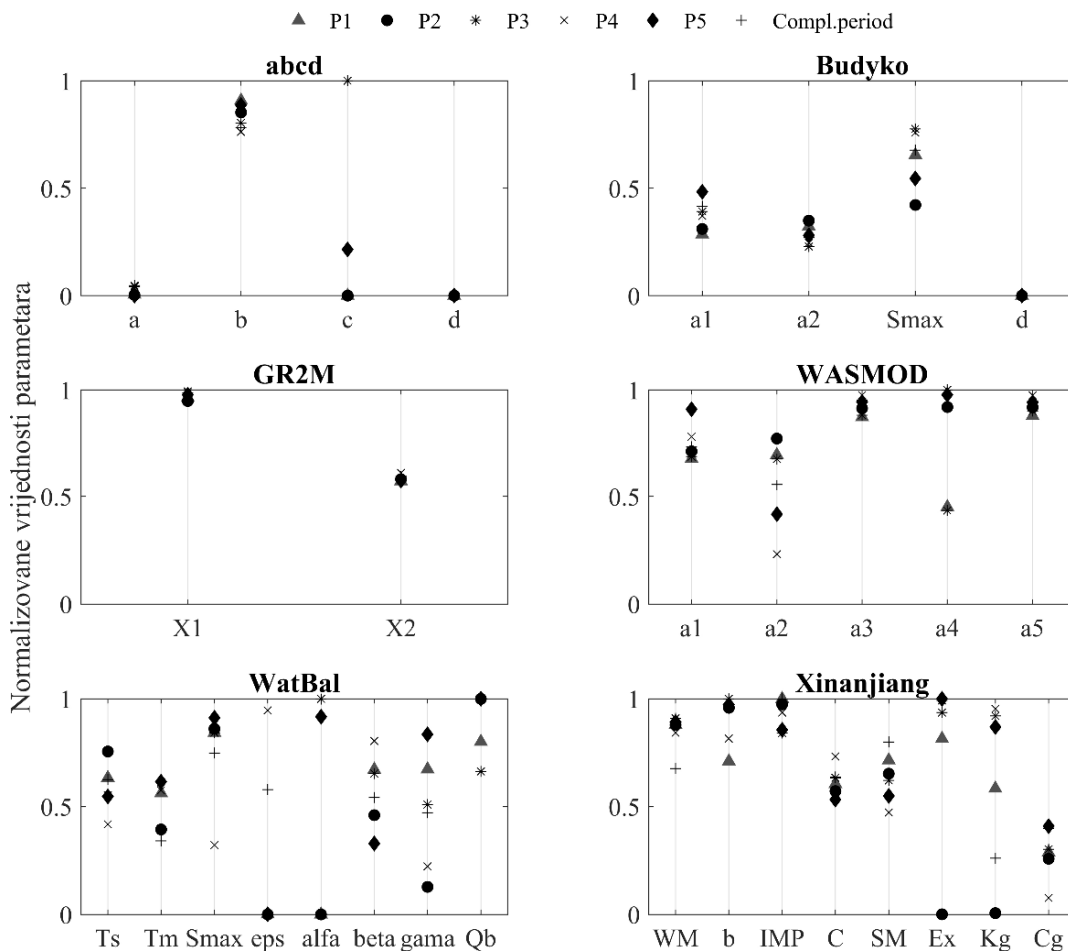
Табела 5.8. Преглед неконзистентних параметара и одговарајућих вриједности IC у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу.

Модел	Вимера (IC)	Камп (IC)	Топлица (IC)
abcd	c (0.45)	c (0.45)	
Budyko	d (0.49)	Smax (0.65)	a1 (0.64) Smax (0.54)
WASMOD	a3 (0.62) a4 (0.41)	a2 (0.46) a4 (0.43)	a1 (0.62) a2 (0.47)
WatBal	Smax (0.59) alfa (0.25)	Smax (0.41) epsilon (0.05) alfa (0.00) gama (0.29)	Smax (0.33) epsilon (0.33) alfa (0.00) gama (0.40)
Xinanjiang	b (0.14) Ex (0.05) Kg (0.22)	Ex (0.00) Kg (0.05)	b (0.05) SM (0.15) Ex (0.00)

Параметар	Опис параметра
<i>c</i> (<i>abcd</i>)	Однос између инфилтрације у подземље и директног отицаја
a1 (Budyko)	Ефикасност ретензирања падавина
Smax (Budyko)	Максимални капацитет влажности тла
d (Budyko)	Параметар линеарног резервоара (удио базног отицаја из подземља)
a1 (WASMOD)	Параметар модула снијега (темп.индекс)
a2 (WASMOD)	Параметар модула снијега (темп.индекс)
a3 (WASMOD)	Параметар стварне ET
a4	Рецесиона константа спорог (базног) отицаја
Smax (WatBal)	Максимални капацитет влажности тла
epsilon	Коеф. степене функције површинског отицаја
alfa	Коефицијент потповршинског отицаја
gama	Коеф. степене ф-ије потповршинског отицаја
b (Xinanjiang)	Параметар везе између тренутне и максималне влажности тла
Ex	Степени индекс за просторну расподелу запремине подземне воде
SM	Средњи просторни капацитет слободне запремине воде
Kg	Параметар линеарног резервоара (одређује удио инфилтрације у

Генерално, код свих сливова варијабилни параметри су углавном везани за компоненте влажности тла и подземног резервоара (односно раздвајања инфилтрације и директног отицаја те удјела базног отицаја из подземних резервоара у укупном отицају). Изузетак је параметар за прорачун стварне ЕТ код WASMOD-а и Вимера слива и параметри снијега WASMOD-а и сливова Камп и Топлица. Параметри снијега код WatBal модела су такође варијабилни али у много мањој мјери ($IC > 0.65$).

Слика 5.10. приказује нормализоване вриједности параметара свих модела при калибрацији на различитим периодима са подацима слива ријеке Камп. Сlike осталих карактеристичних резултата су дате у Прилогу VII.



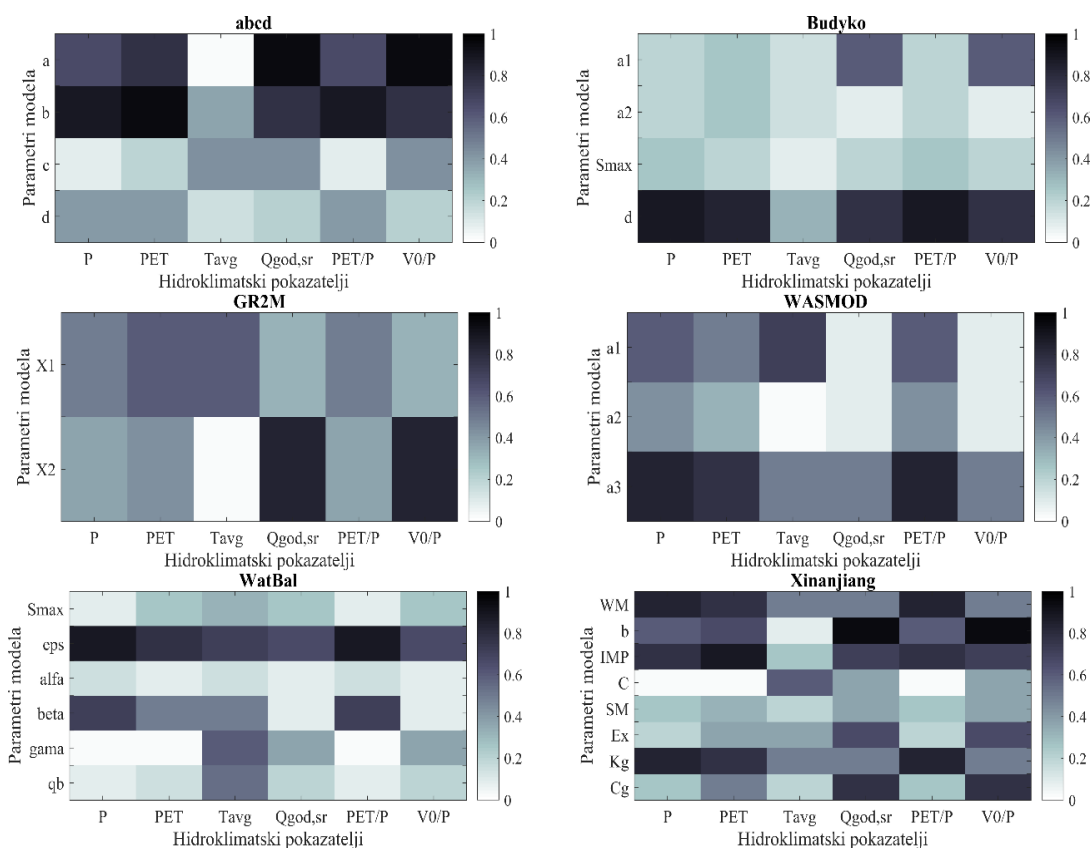
Слика 5.10. Нормализоване вриједности параметара модела у једнокритеријумској оптимизацији на различитим калибрационим периодима на сливу Камп.

Поставља се питање да ли варијабилност параметара потиче од њихове зависности од хидроклиматских (ХК) показатеља калибрационог периода или од лоше идентификабилности параметара? Прво је квантификовано преко Спирмановог коефицијента корелације између оптималних параметара и одабраних ХК показатеља у калибрационим периодима. Овај коефицијент је, ради једноставности приказа у дијаграмима представљен као апсолутна вриједност. Вриједности веће од 0.7 се сматрају индикатором значајне корелисаности.

Слика 5.11. приказује примјер корелисаности параметара модела и ХК показатеља на сливу Вимера (остали дијаграми су дати у Прилогу VII). Варијабилни параметар *abcd*

модела не показује корелисаност нити са једним ХК показатељом, док су стабилни параметри a и b корелисани са неколико њих. Варијабилни параметар Budyko модела је корелисан са P и PET али је и стабилни a_1 корелисан са средњим протицајем. Слично је и са осталим моделима.

На сливу ријеке Камп, углавном су стабилни параметри (са високим IC вриједностима) корелисани са неким од показатеља, док сви параметри WASMOD-а (иако су само два варијабилна) показују значајну корелацију са већином показатеља. На сливу Топлице, и варијабилни и стабилни параметри су корелисани са неким од показатеља.



Слика 5.11. Апсолутне вриједности Спирмановог коефицијента корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Вимера.

Закључује се да нема генералног обрасца у корелацији параметара модела и ХК показатеља који сугеришу да је осјетљивост параметара на калибрациони период узрокована промјенљивим ХК показатељима. Једнако су корелисани и варијабилни и стабилни параметри.

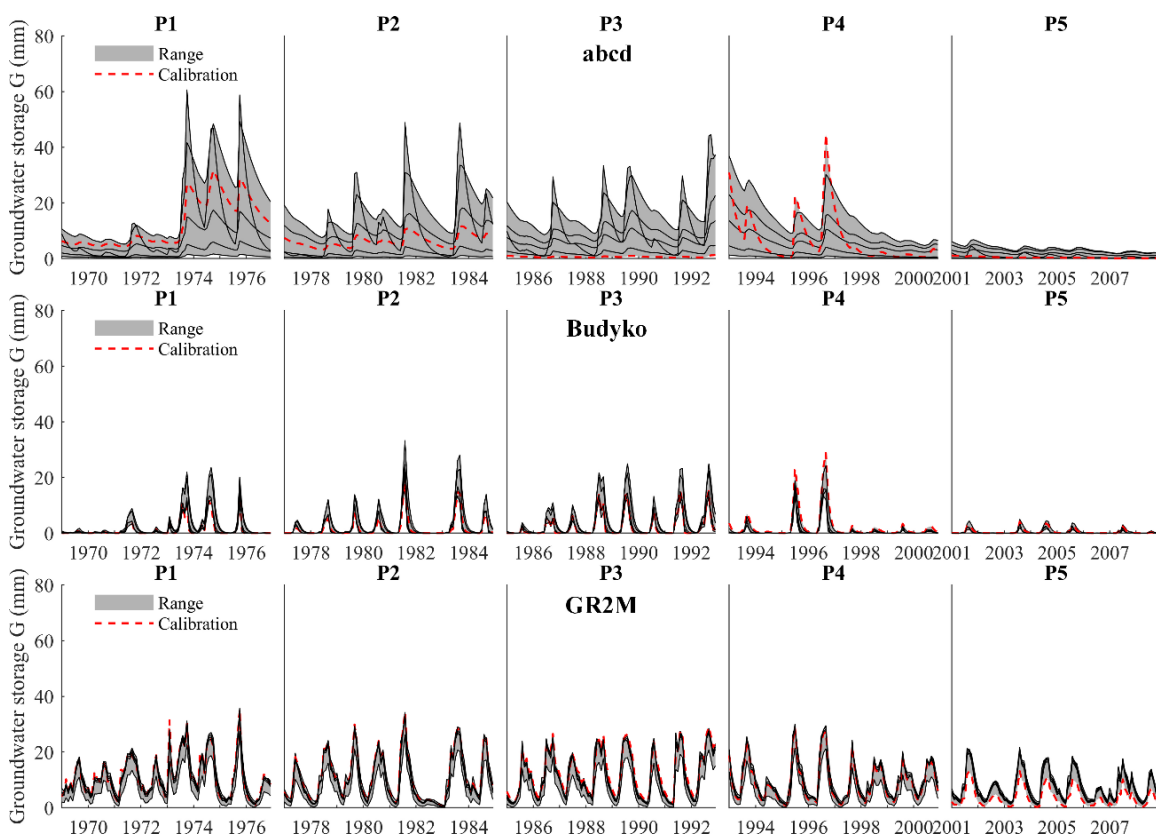
На питање да ли је варијабилност параметара узрокована њиховом лошом идентификабилношћу, одговорено је испитивањем осјетљивости параметара, приказане у Прилогу VI. Показало се да нису сви неосјетљиви параметри (који не утичу на ефикасност модела) варијабилни у калибрационим периодима. Нпр. параметар d *abcd* модела, X_1 параметар GR2M модела, T_s и T_m WatBal модела, WM, C и Cg параметри Xinanjiang модела. Ови параметри имају велику неизвјесност али ипак остају релативно стабилни при калибрацији у различитим калибрационим периодима. Такође, неки осјетљиви параметри модела су неконзистентни: нпр. a_1 параметар Budyko модела, S_{max}

параметар WatBal модела и K_g параметар Xinanjiang модела. Дакле, варијабилност ових параметара не потиче од њихове неизвјесности.

Ово све упућује да се варијабилност параметара са калибрационим периодом не може директно оправдати лошом идентификабилношћу параметара. Другим ријечима, варијабилност је директна посљедица калибрације у различитим калибрационим периодима.

5.1.4 Конзистентност компоненти водног биланса

Најконзистентније компоненте код Вимера слива су стварна ЕТ и укупни отицај док су најваријабилнији базни отицај и G . По питању свих компоненти, Budyko има најконзистентније резултате док Xinanjiang најлошије. Ту је изузетак компонента допуне подземља и базног отицаја према којој је овај модел сљедећи најбољи.



Слика 5.12. Симулиране вриједности запремине подземних вода у калибрацији и крос-валидацији на сливу Вимере.

WASMOD и WatBal имају највећа одступања базног отицаја што је углавном посљедица математичке чињенице да је стандардна девијација, са којом се дијели апсолутна грешка тј одступање, веома мала (скоро нула). Увидом у сумарну апсолутну грешку базног отицаја код оба модела, закључује се да је за WASMOD она у распону 0-1.8 односно 0.42 средња вриједност, док је за WatBal максимална грешка 0.01мм. Из овога се закључује да SRrel није погодна мјера за оцјењивање конзистентности хидролошких величина које у апсолутним вриједностима имају величину близу нуле.

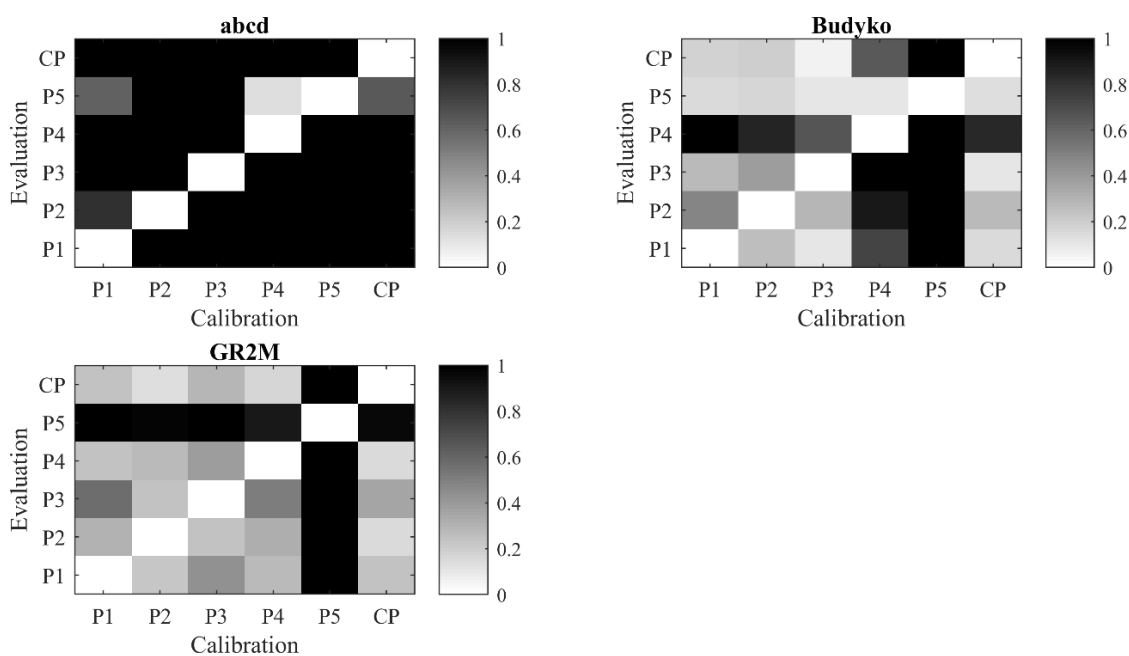
При симулацији запремине подземних вода, *abcd* модел показује највећу неконзистентност док остали модели који имају ову компоненту (Budyko и GR2M)

показују мања одступања. Слично је и са надопуном подземља R, *abcd* има највеће одступање док Budyko и Xinanjiang доста мање. Код све три ове компоненте (Qb,G,R), *abcd* модел даје највеће одступање у P3 периоду. За све компоненте, најконзистентније симулације даје Budyko.

На слици 5.12. приказане су симулиране вриједности запремине подземних вода са оптимални параметрима из различитих калибрационих периода на сливу Вимера. Уочава се конзистентност компоненте при симулацијама са моделима Budyko и GR2M као и неконзистентност према *abcd* моделу. Такође је примјетно смањење количина подземне воде у сушном периоду P5 према моделима *abcd* и Budyko (са GR2M једва примјетно) што потпуно одговара смањењу протицаја и упућује да ови модели могу правилно симулирати компоненте водног биланса.

Слични закључци могу да се изведу и за сливове ријека Камп и Топлица. Једина разлика је код ријеке Камп што највећу инконзистенцију већине компоненти дају *abcd* и WatBal модели а не Xinanjiang као код Вимере и Топлице. Занимљиво је да Budyko модел има најбоље симулације компоненти водног биланса у случају сва три слива, иако су статистички показатељи код слива ријеке Топлице као и хидролошки потписи скоро најлошији од свих модела.

Вриједности SRrel и средње вриједности RMAD за све сливове су дате у Прилогу IX.



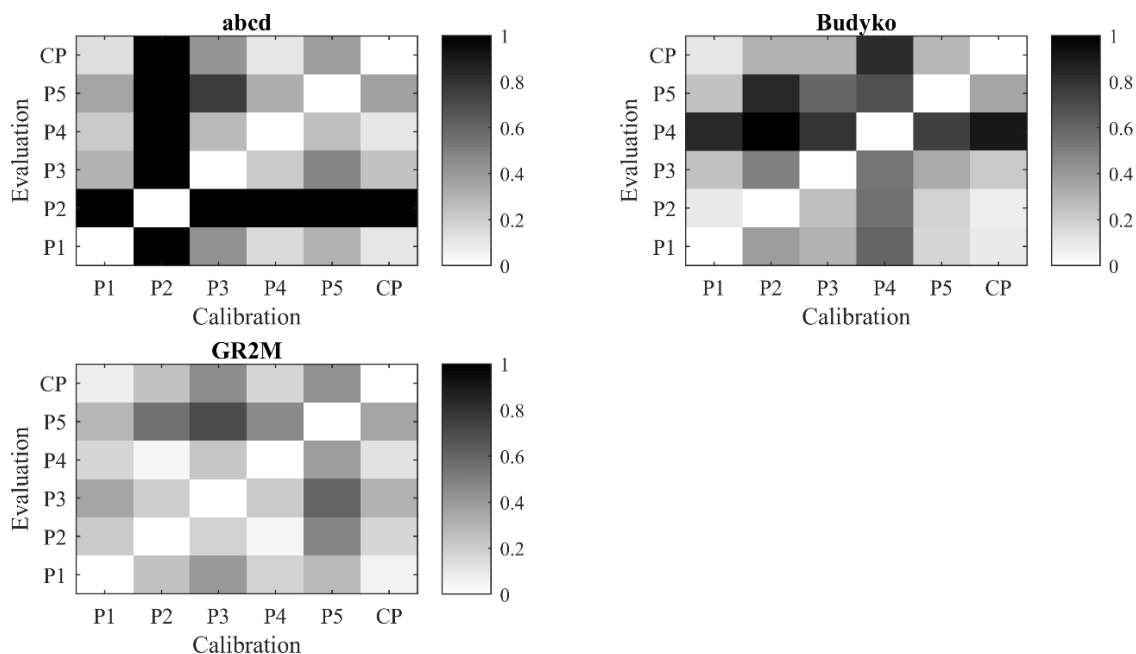
Слика 5.13. RMAD вриједности за компоненту запремине подземне воде на примјеру слива Вимера.

Табела 5.9 приказује проценте задовољавајућих трансфера (задовољавајући трансфер има вриједност $RMAD < 1$) осредњене по свим компонентама. Неконзистентност компоненти водног биланса је најизраженија у трансферу са сушног на водни период. Код слива Камп се примјећује лош трансфер водни/водни. Код слива Топлице, проценти успјешности трансфера компоненти водног биланса су доста високи. Најнижи је 72% у случају трансфера сушни/сушни. Сиви редови су модели са најконзистентнијим компонентама водног биланса.

Табела 5.9. Проценти успјешних трансфера према вриједностима RМAD у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу.

Вимера									
Трансфер	В-В	В-М	В-С	М-В	М-М	М-С	С-В	С-М	С-С
Број трансфера	2	6	2	6	6	3	2	3	
abcd	67	64	75	50	61	89	33	50	
Budyko	100	97	100	92	94	100	50	50	
GR2M	42	50	33	44	61	44	42	33	
WASMOD	67	72	67	61	61	78	33	33	
WatBal	75	78	83	69	64	78	50	44	
Xinanjiang	42	75	58	72	72	50	17	28	
Ср.вриједност	65	73	69	65	69	73	38	40	
Камп									
Трансфер	В-В	В-М	В-С	М-В	М-М	М-С	С-В	С-М	С-С
Број трансфера	2	4	4	4	2	4	4	4	2
abcd	43	64	57	64	86	43	54	43	79
Budyko	100	100	75	100	100	68	61	50	100
GR2M	75	100	81	100	100	75	69	63	88
WASMOD	60	60	55	50	50	70	45	65	60
WatBal	30	55	55	65	70	85	65	75	80
Xinanjiang	58	75	75	54	58	71	54	75	100
Ср.вриједност	61	76	66	72	77	69	58	62	84
Топлица									
Трансфер	В-В	В-М	В-С	М-В	М-М	М-С	С-В	С-М	С-С
Број трансфера	2	4	4	4	2	4	4	4	2
abcd	100	96	79	96	86	79	75	75	57
Budyko	93	100	93	100	100	96	89	96	86
GR2M	88	88	81	100	100	94	94	94	88
WASMOD	60	75	70	70	80	80	75	80	60
WatBal	50	70	80	85	90	85	70	70	90
Xinanjiang	75	71	71	79	83	79	67	67	50
Ср.вриједност	78	83	79	88	90	85	78	80	72

Слике 5.13 и 5.14 приказују вриједности RМAD за запремину подземних вода на сливовима Вимере и Топлице гдје се уочавају карактеристични обрасци лошег трансфера на сушне периоде као и конзистентност ове компоненте симулиране са GR2M на сливу Топлице. Остали резултати и карактеристичне слике су дате у Прилогу IX.



Слика 5.14. RMAD вриједности за компоненту запремине подземне воде на примјеру слива и Топлица.

5.1.5 Субјективна оцјена ефикасности модела

Хидрограми

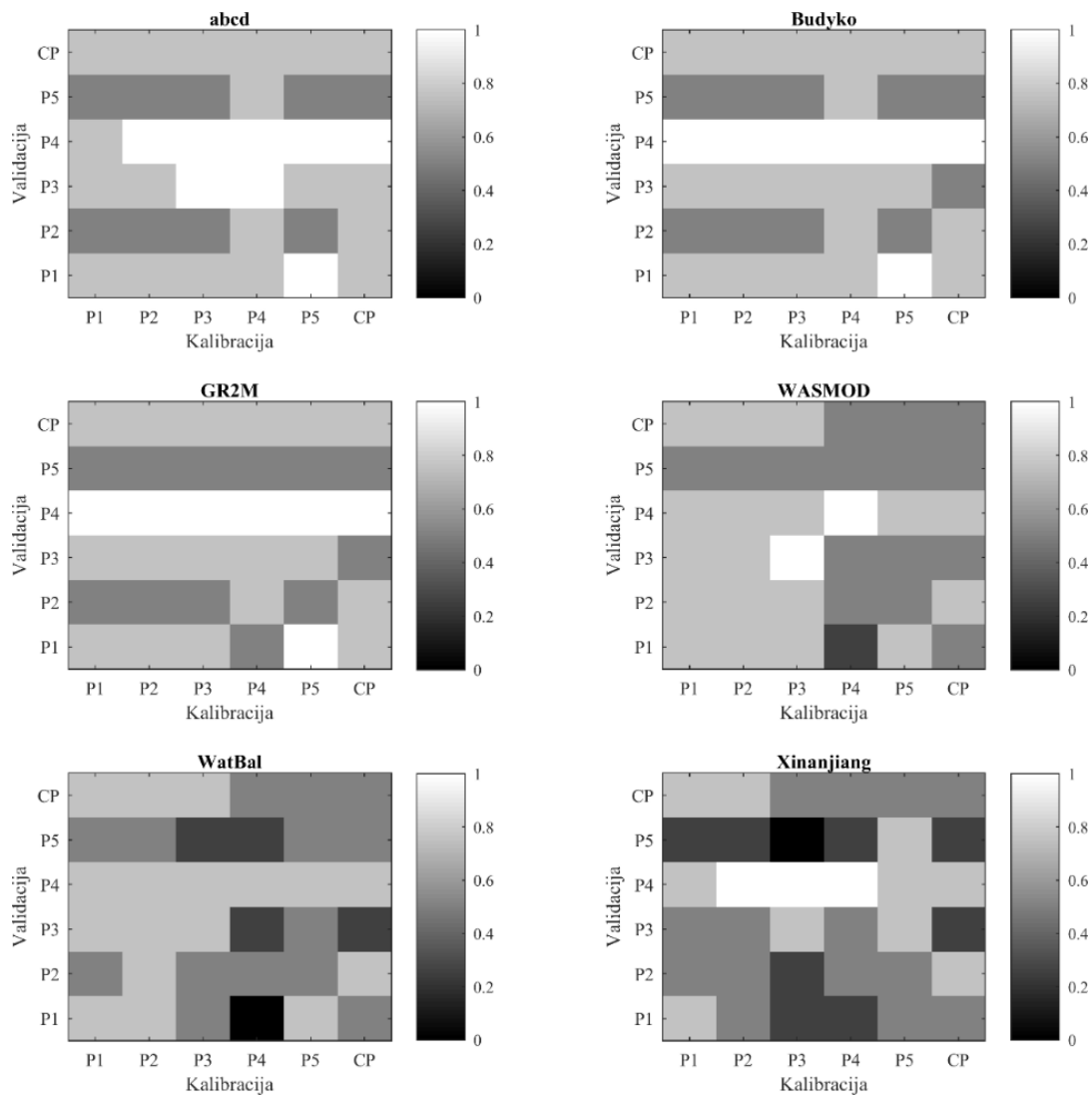
Субјективна оцјена визуелног слагања осмотрених и симулираних хидрограма углавном одговара статистичким показатељима, са разликом што су субјективне вриједности нешто веће (боље слагање) у односу на оно што показују статистичке мјере ефикасности. Примјер за то су упоредни хидрограми на слици 5.17 за које статистички показатељи и информативни хидролошки потписи показују доста лоше вриједности док је субјективна оцјена виша (осим за Xinanjiang).

Најлошије слагање хидрограма се постиже при валидацији на сушном периоду. То се углавном огледа у значајно прецијењеним протицајима.

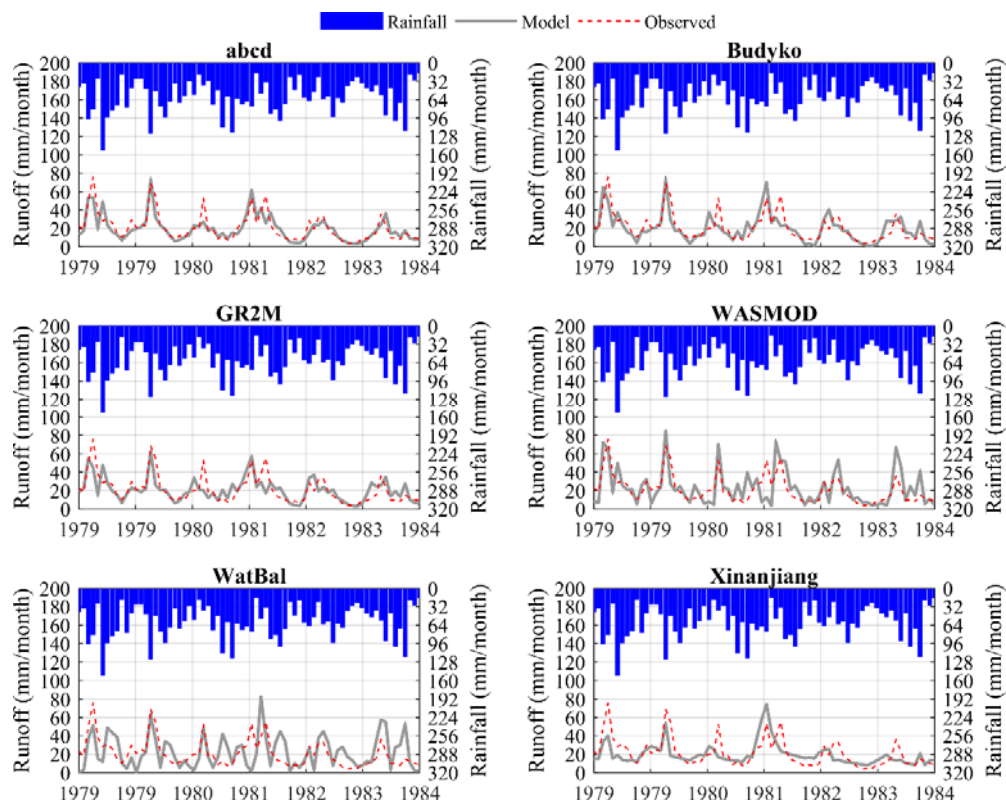
Код слива ријеке Камп, веома су карактеристични динамика и облици хидрограма у водном периоду P5: узастопни пикови, велика база хидрограма и велики базни отицај. Субјективним прегледом, изгледа да модели углавном имају потешкоће при симулацији оваквих хидрограма.

У циљу бољег прегледа, направљени су слични матрични дијаграми као за статистичке показатеље и хидролошке потписе, с тим што су вриједности у њима субјективна оцјена сваког хидрограма. За сваки трансфер додијељена је вриједност између 0 (лоше слагање хидрограма) и 1 (одлично слагање), у корацима од 0.25. Примјер за слив ријеке Камп је приказан на слици 5.15. Табеларни приказ наликује на исте добијене са статистичким показатељима и неким хидролошким потписима (ϵ_{STD} и ϵ_{Qmed}).

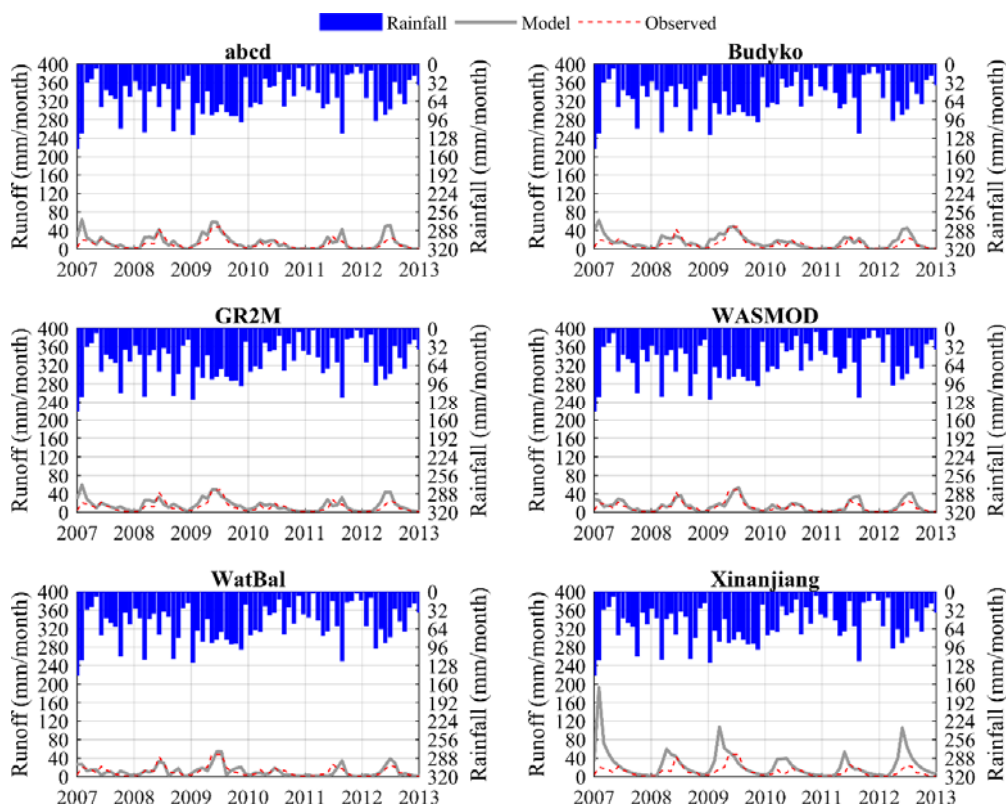
Хидрограми за један од најлошијих трансфера на сливу Камп P4/P1 (водни/сушни) и P2/P5 на сливу Топлица су приказани на сликама 5.16. и 5.17., респективно.



Слика 5.15. Вриједности субјективних оцјена хидрограма у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу на примјеру слива ријеке Камп.



Слика 5.16. Хидрограми отицаја при трансферу са водног периода Р4 на сушни Р1 на сливу ријеке Камп.



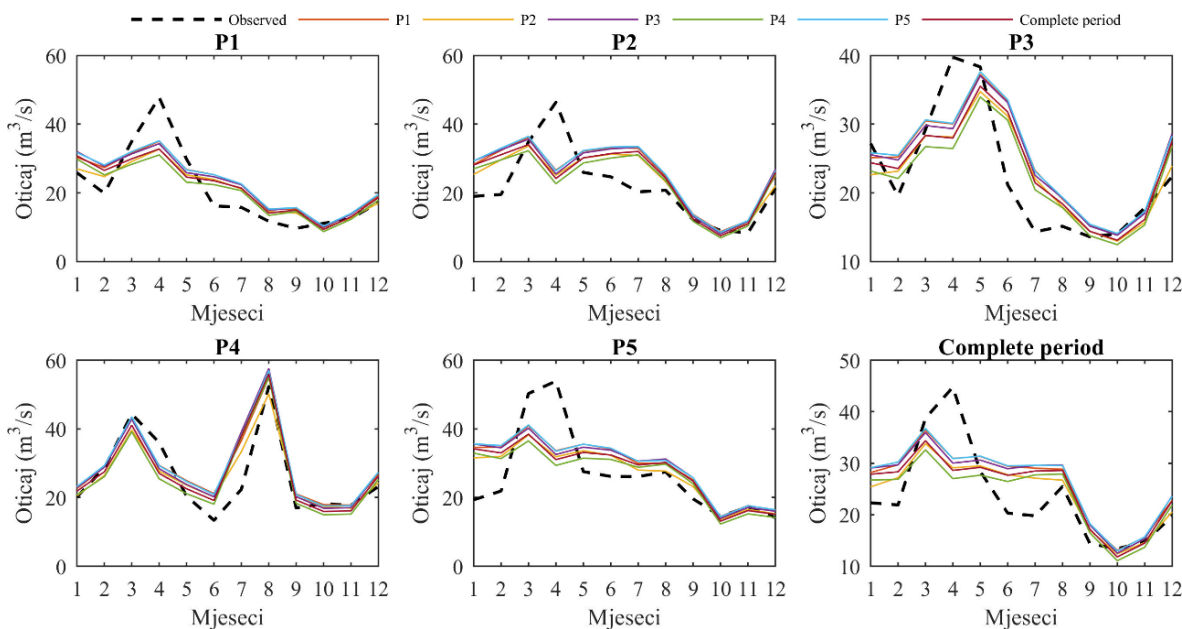
Слика 5.17. Хидрограми отицаја на сливу Топлице и трансфер Р2/Р5 (сушни/сушни).

Унутаргодишња варијабилност отицаја

У већини случајева, IAFD одговара ономе што се може закључити посматрањем дијаграма унутаргодишње расподеле. Међутим, на примјеру слива Топлице *abcd* модел има најмање неуспјешних трансфера према IAFD док је са дијаграма очито да WASMOD има боље слагање унутаргодишњих расподела. Чак и WatBal нема лошије слагање у односу на *abcd* а много више IAFD вриједности изнад задане границе. Модел *abcd* нема модул снијега па су конзистентно максимални отицаји у мјесецу марту или априлу подцијењени.

Код слива Вимера нема сличних запажања обзиром да су унутаргодишње расподеле углавном лоше слажу са осмотреним што потврђује и IAFD.

Код слива ријеке Камп исто се примјећује немогућност модела без модула снијега да репродукују максимални отицај у унутаргодишњој расподјели (мјесец април). Budyko има најмање лоших трансфера али се не примјећује боље слагање у односу на *abcd* или GR2M. Слика 5.18. приказује унутаргодишњу варијабилност протицаја на сливу ријеке Камп симулирану са GR2M моделом док су остали дијаграми приказани у Прилогу XI.



Слика 5.18. Унутаргодишња расподела протицаја на сливу ријеке Камп симулирана са GR2M моделом.

Веза падавине-отицај

Моделу лоше репродукују везу падавине отицај на Вимера сливу углавном у сушном P5 и водном P1 периоду. WASMOD и WatBal не успијевају симулирати ову везу ни са једним скупом оптималних параметара. Занимљиво је да са оптималним параметрима из периода калибрације P5 поједини модели добро репродукују Q-P у сушном периоду док у водном ни један, чиме се доказује проблем трансфера сушни/водни период.

У табели 5.10 приказани су сумарни резултати субјективне оцјене везе падавине-отицај коју постижу модели. В означава водни, а С сушни период. Знак „+“ означава добру репродукцију Q-P везе, док „-“ лошу. Примјећује се мали број „плусева“, нарочито на сливу

Топлице и при симулацијама на сушном дијелу комплетног периода са свим оптималним параметрима осим из периода P5.

Табела 5.10. Успјешност модела при репродукцији Q-P везе у Тиреловом протоколу.

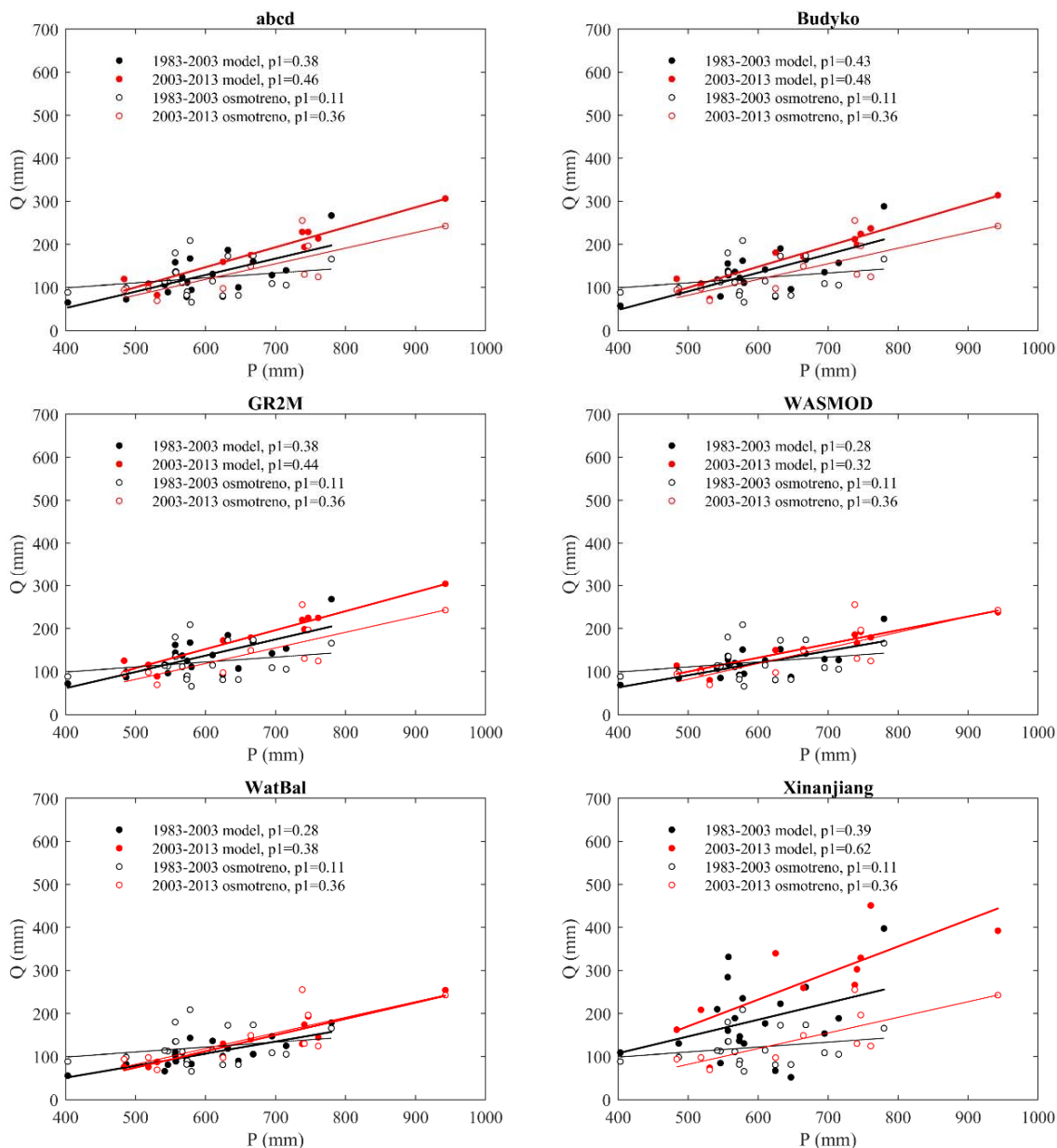
Вимера													
Модел	P1		P2		P3		P4		P5		CP		Укупно успјешних
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	
abcd	-	+	+	-	+	-	+	+	-	+	+	+	8
Budyko	-	-	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	9
GR2M	-	-	+	-	+	-	-	-	-	+	-	-	4
WASMOD	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
WatBal	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	1
Xinanjiang	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+	4
Број успјешних симулација	0	1	4	2	4	1	2	2	0	3	4	3	26
Укупно	1		6		5		4		3		7		

Камп													
Модел	P1		P2		P3		P4		P5		CP		Укупно успјешних
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	
abcd	+	+	-	-	+	-	-	-	+	+	-	-	5
Budyko	+	-	-	-	+	-	+	-	-	-	+	-	4
GR2M	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
WASMOD	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	2
WatBal	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	2
Xinanjiang	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	+	-	4
Број успјешних симулација	4	1	1	0	5	1	1	0	1	1	2	0	17
Укупно	5		1		6		1		2		2		

Топлица													
Модел	P1		P2		P3		P4		P5		CP		Укупно успјешних
	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	B	C	
abcd	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Budyko	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
GR2M	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	1
WASMOD	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	-	3
WatBal	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	6
Xinanjiang	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0
Број успјешних симулација	2	0	2	0	1	0	1	0	2	0	2	0	10
Укупно	2		2		1		1		2		2		

На сливу ријеке Камп, модели лошије симулирају везу падавине-отицај него у случају Вимере, нарочито у сушном периоду (у односу на комплетно осматрање). Најбоље слагање је при симулацијама са параметрима из P1 (сушног) и P3 (мјешовитог) периода и то у водном дијелу комплетног периода, док су остале веома лоше. GR2M једини нема нити једну успјешну репродукцију Q-P везе. Интересантно је да Xinanjiang има већу успјешност у овом случају у односу нпр GR2M који је према свим претходним нивоима тестирања био бољи. Обзиром на начин како се представља ова Q-P веза, то вјероватно има везе са једначином биланса у моделу односно да иако је уопштена динамика слагања

на мјесечном нивоу боља код GR2M модела, годишње суме се боље слажу код Xinanjiang модела.



Слика 5.19. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног P2 периода на сливу Топлица.

На сливу Топлица, резултати ове анализе су најлошији. Модели не репродукују добро везу падавине-отицај у свим ситуацијама. Изузетак су WatBal који је успјешан са сваком скупом параметара, WASMOD у трансферима са P1 и P2 на комплетан период као и у калубрацији и GR2M само у трансферу P5/CP. Ови изузеци важе само за симулације у водном периоду (2003-2013) док у сушном периоду (1983-2003) нема добре репродукције Q-P.

Према резултатима конзистентности ефикасности, на сливовима Топлица и Камп је било много више успјешних трансфера од нпр. Вимере што би упућивало на боље

результате док је према вези падавине-отицај управо супротно. Модели имају највише добрих трансфера по питању репродукције ове везе на сливу Вимера него на осталим сливовима. То само упућује на важност робусне евалуације модела обзиром да се класичним евалуацијом нема увид у све елементе ваљаности модела.

На слици 5.19 приказано је поређење ове зависности за слив Топлице добијене симулацијом оптималним скупом параметара из сушног P2 периода. Остали карактеристични резултати су приказани у Прилогу XI.

5.1.6 Рангирање модела

У табели 5.11 дати су одређени рангови за сваки слив и евалуациони критеријум. Најпогоднији модели су Budyko и *abcd* за сливове Вимера и Камп. За слив ријеке Топлице Budyko модел не показује тако добре резултате изузев у случају конзистентности компонентни водног биланса. Xinanjiang је веома лош у већини случајева, нарочито при симулацијама на сливу Топлице док моделу WatBal не одговарају хидроклиматске карактеристике слива ријеке Камп. На сва три слива, модели *abcd* и GR2M су конзистентно добри, без обзира што немају модул снијега. Изгледа да ова компонента не утиче много на оцјену ефикасности при симулацијама на мјесечном нивоу. С друге стране, унутаргодишња расподјела је веома важна код МБХМ-а а ту ови модели подбацују. Такође поједине компоненте *abcd* модела су веома неконзистентне.

Генерално, међу моделима нема модела који се посебно истиче као најбољи, барем према датом рангирању. Сви модели су слично ранжирани или са веома малим разликама у рангу и сваки модел је барем у једном дијелу евалуационог оквира показивао добре резултате. Међутим, имајући комплетну слику на уму, према свим корацима евалуационог оквира, модели који су бољи од осталих су *abcd*, Budyko и GR2M.

Табела 5.11. Рангирање модела у једнокритеријумској оптимизацији и Тиреловом протоколу (1-најбољи, 6-најлошији).

Евалуациони критеријум		Статистички показатељи ефикасности	Хидролошки потписи	Границе трансфербилности	Конзистенција у симулирању компоненти	Конзистентност параметара модела	Субјективна процјена	Средњи ранг	Рангиран као први	Рангиран као последњи
Вимера	<i>abcd</i>	2	5	4	2	2	2	2.83	0	0
	Budyko	1	1	1	1	3	1	1.33	5	0
	GR2M	3	3	3	5	1	2	2.83	1	0
	WASMOD	4	6	6	4	5	6	5.17	0	3
	Watbal	5	4	2	2	4	5	3.67	0	0
	Xinanjiang	6	2	5	6	6	2	4.6	0	3
Камп	<i>abcd</i>	1	3	3	6	3	1	2.83	2	1
	Budyko	2	1	1	2	2	2	1.67	2	0
	GR2M	3	2	4	1	1	4	2.5	2	0
	WASMOD	4	4	2	5	4	3	3.67	0	3
	Watbal	6	5	5	4	6	5	5.17	0	3
	Xinanjiang	5	6	6	3	5	5	5	0	3
Топлица	<i>abcd</i>	2	2	2	3	2	1	2.0	1	0
	Budyko	5	5	5	1	4	2	3.7	1	0
	GR2M	3	4	3	2	1	5	3.0	1	1
	WASMOD	1	3	4	5	3	2	3.0	1	0
	Watbal	4	1	1	4	6	4	3.3	2	1
	Xinanjiang	6	6	6	6	5	5	5.6	0	5

5.2 Евалуација модела протоколом DSST за једнокритеријумску оптимизацију модела

5.2.1 Ефикасност у калибрационом периоду

При калибрацији на свим сливовима, модели углавном имају задовољавајуће ефикасности према статистичким показатељима. Изузеци су сљедећи:

- На сливу ријеке Вимера вриједност NSE_{sqrt} је испод 0.5 и $RSR > 0.7$ за Budyko модел при калибрацији на сушном периоду, као и RSR за WatBal и Xinanjiang.
- На сливу ријеке Камп има више лоших резултата калибрације: NSE_{sqrt} је испод 0.5 за GR2M у P2, WASMOD и Xinanjiang у P1 и CP, док је WatBal према овој мјери неуспјешан при калибрацији на свим периодима; RSR је изнад 0.7 за GR2M у P2, WatBal у P2 и CP и Xinanjiang у свим периодима,

- На сливу ријеке Толица WatBal и Xinanjiang имају NSE_{sqrt} мањи од 0.5 у P2 и CP, респективно док Budyko и Xinanjiang имају RSR већи од 0.7 у P2 и CP.

Конзистентно за све сливове, при калибрацији на сушном периоду (понегдје и на осталим) вриједности NSE_{sqrt} и RSR су најлошије, што се слаже са резултатима из претходног приступа моделирању.

У табели 5.12 приказане су минималне и максималне вриједности статистичких показатеља у свим периодима калибрације. Сиво су обојене ситуације гдје ефикасност у неком од периода није задовољавајућа.

Табела 5.12. Вриједности показатеља ефикасности модела у једнокритеријумској калибрацији и DSST протоколу.

Вимера				
Модел	KGE	NSE_{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.77-0.87	0.64-0.72	0.51-0.67	0.98-0.99
Budyko	0.69-0.87	0.47-0.73	0.50-0.76	0.96-1.00
GR2M	0.77-0.81	0.66-0.77	0.46-0.60	0.90-0.98
WASMOD	0.73-0.85	0.52-0.68	0.55-0.69	0.94-1.00
WatBal	0.68-0.81	0.51-0.55	0.56-0.80	0.95-0.97
Xinanjiang	0.70-0.87	0.51-0.70	0.51-0.73	0.95-1.00
Камп				
Модел	KGE	NSE_{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.76-0.89	0.53-0.72	0.46-0.68	1.0
Budyko	0.76-0.83	0.60-0.61	0.53-0.64	0.98-0.99
GR2M	0.64-0.82	0.49-0.60	0.54-0.77	0.93-0.96
WASMOD	0.81-0.85	0.44-0.58	0.53-0.61	0.97-0.99
WatBal	0.72-0.75	0.26-0.35	0.69-0.74	0.96-0.98
Xinanjiang	0.69-0.73	0.35-0.51	0.70-0.78	0.96-1.0
Толица				
Модел	KGE	NSE_{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.80-0.88	0.74-0.78	0.47-0.61	0.99-1.0
Budyko	0.68-0.79	0.52-0.63	0.62-0.76	0.99-1.0
GR2M	0.70-0.73	0.65-0.70	0.60-0.68	0.91-0.93
WASMOD	0.84	0.62-0.66	0.56	0.99-1.0
WatBal	0.77-0.83	0.45-0.60	0.56-0.67	1.0
Xinanjiang	0.70-0.77	0.47-0.59	0.67-0.76	0.96-0.99

Репродукција хидролошких потписа при калибрацији зависи од потписа, слива и модела.

- На сливу ријеке Вимера модели генерално добро симулирају сљедеће потписе: ϵ_{BF1} и ϵ_{SEL} (осим *abcd*), ϵ_{STD} , ϵ_{AC1} (осим WatBal), ϵ_{AC12} и ϵ_{Q95} . Модели генерално лоше симулирају све перцентиле (осим наведеног ϵ_{Q95}), IAFD и D20 . Генерално, успјешност симулације потписа у периодима калибрације се креће од 45-71% (у зависности од модела).
- Код слива ријеке Камп, репродукција хидролошких потписа при калибрацији модела је веома успјешна (преко 86%). Најлошији у калибрационим периодима су

ϵ_{SEL} и ϵ_{Q5} док је већина потписа у дозвољеним границама (ϵ_{STD} , медијана, ϵ_{AC12} , ϵ_{D20} , ϵ_{Q50} , ϵ_{Q80} и ϵ_{Q95}).

- На сливу ријеке Топлице неки модели лошије симулирају ϵ_{IAFD} (GR2M и Xinanjiang), ϵ_{BFI} (WASMOD и WatBal), ϵ_{SEL} (*abcd* и WatBal), ϵ_{Q5} (сви осим GR2M) и ϵ_{Q20} (сви осим Xinanjiang). Остали модели имају задовољавајуће грешке потписа при калибрацији (успјешност од 62-88%, у зависности од модела). Нема назнака да је калибрација лоша у неком периоду посебно, ако су грешке потписа велике, једнако су велике и у сушном и водном периоду.

Генерално, потписи које модели лоше симулирају при калибрацији на свим сливовима су ϵ_{Q5} и ϵ_{Q20} . IAFD је добар само код ријеке Камп, ϵ_{Qmed} код сливова ријеке Камп и Топлица, ϵ_{SEL} је добар само код сушног слива Вимера док су ϵ_{D20} и ϵ_{Q80} лоши само у овом случају. ϵ_{AC1} и ϵ_{AC12} , ϵ_{STD} и ϵ_{Q95} се добро репродукују при калибрацији на свим сливовима, што потврђује резултате из претходног приступа моделирању.

5.2.2 Конзистентност ефикасности модела

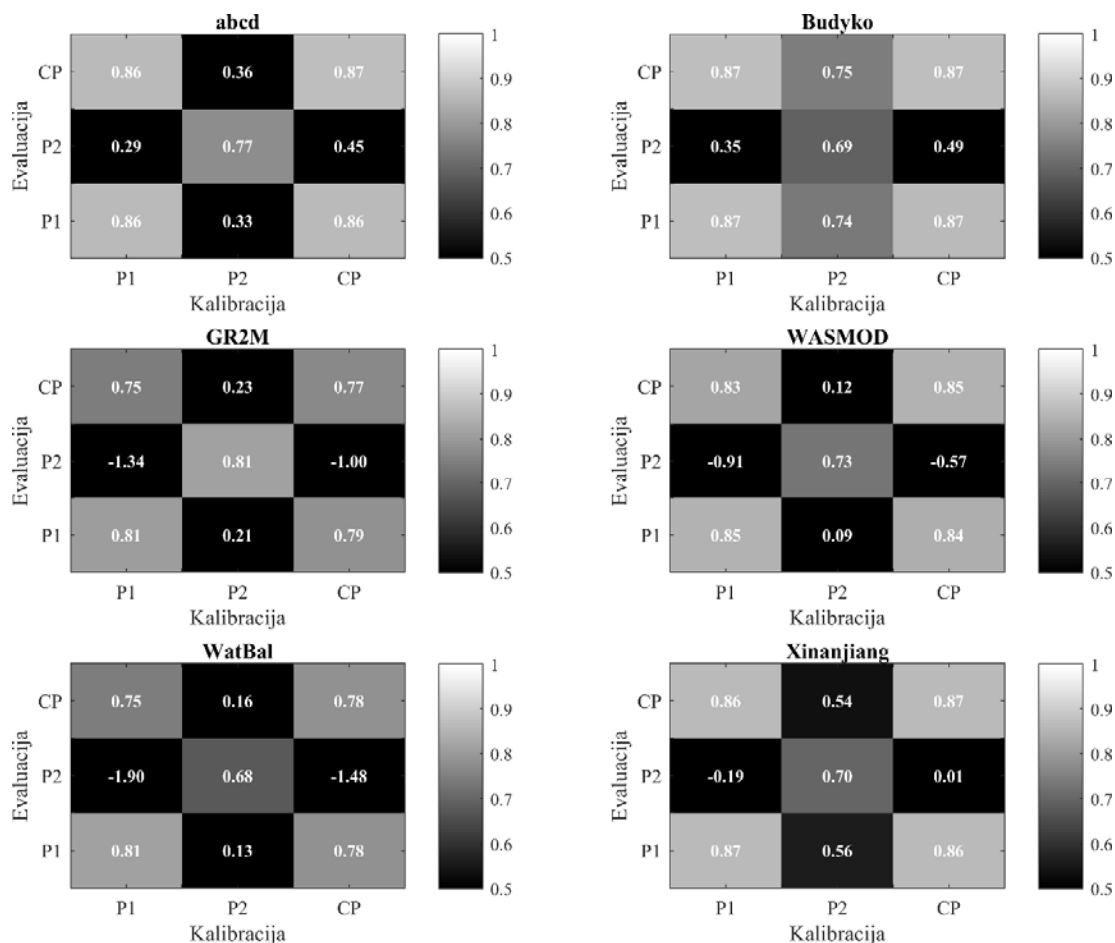
Статистички показатељи ефикасности

Код слива ријеке Вимера ефикасност модела значајно опада при трансферу на сушни или са сушног периода. Истовремено, ово су трансфери кад су вриједности ефикасности модела недозвољене (у односу на дефинисане границе). Изузетак чине модели Вудуко и Xinanjiang за KGE, сви модели изузев WatBal према NSE_{sqrt} и *abcd* и Вудуко за VE, који су у потпуности трансферабилни са сушног периода на водни и мјешовити. Ниједан модел није трансферабилан на сушни период (валидација на P5).

Према табели 5.13., гдје су приказане минималне, максималне и средње вриједности (у заградама) статистичких показатеља при валидацији, слично као код претходног приступа моделирању Вудуко и *abcd* модели дају боље резултате од осталих модела. Слика 5.20 приказује вриједности KGE. Јасно се уочавају лоше ефикасности модела при трансферу.

Табела 5.13. Минималне, максималне и средње вриједности статистичких показатеља у DSST протоколу на сливу Вимера.

Модел	KGE	NSE_{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.29-0.86 (0.52)	0.16-0.72 (0.53)	0.13-4.68 (1.82)	0.35-0.99 (0.76)
Budyko	0.35-0.87 (0.68)	0.24-0.73 (0.57)	0.15-3.04 (1.29)	0.58-0.98 (0.83)
GR2M	-1.34-0.79 (-0.06)	-0.56-0.79 (0.32)	0.01-13.71 (5.33)	-0.89-1.00 (0.21)
WASMOD	-0.91-0.84 (0.06)	-0.41-0.65 (0.29)	0.56-9.67 (4.15)	-0.33-0.94 (0.39)
WatBal	-1.90-0.78 (-0.26)	-1.30-0.55 (-0.04)	0.59-15.54 (6.09)	-1.14-0.94 (0.11)
Xinanjiang	-0.19-0.86 (0.44)	-0.02-0.70 (0.40)	0.33-5.00 (2.38)	0.31-0.97 (0.65)

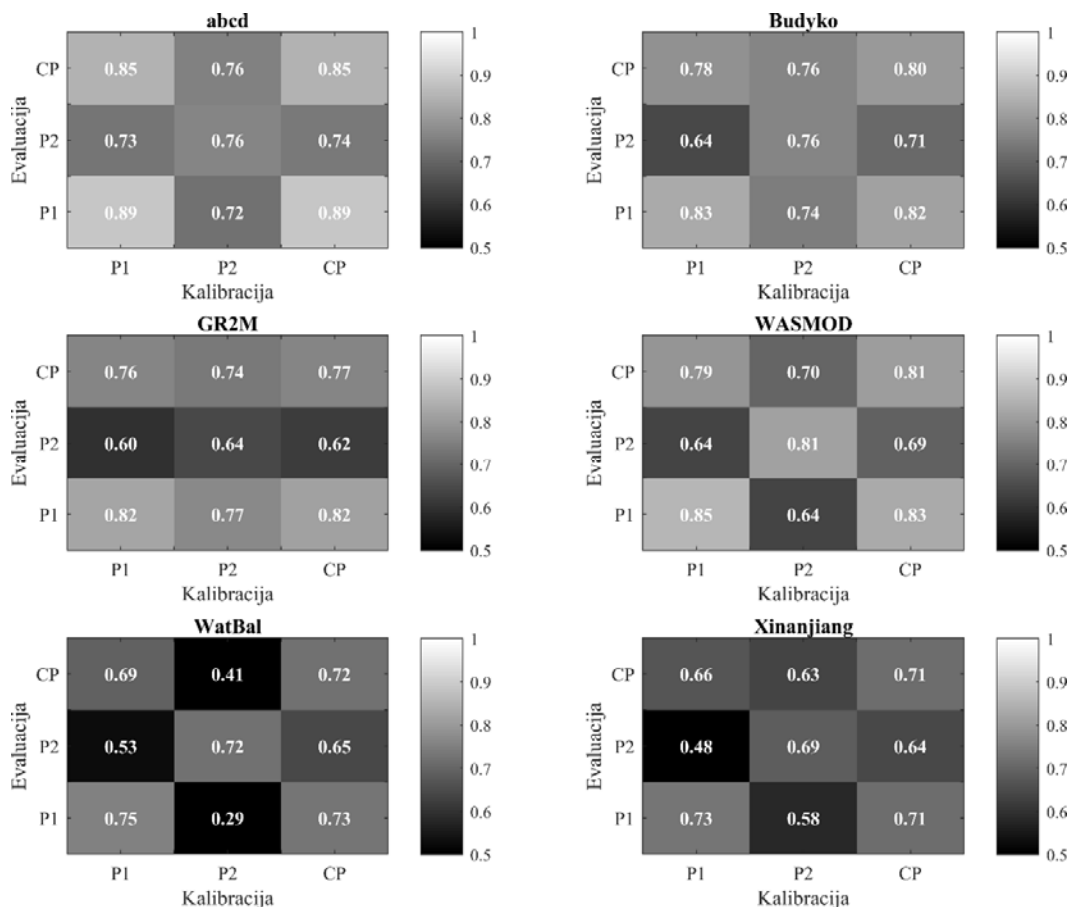


Слика 5.20. Вриједности KGE у DSST протоколу на сливу ријеке Вимера.

На сливу ријеке Камп ефикасност модела такође опада при трансферима на сушни период P2, међутим не тако изражено као код Вимере (Слика 5.21). Према KGE модели су углавном трансферабилни. Изузетак су WatBal при трансферу са сушног периода и Xinanjiang при трансферу са водног на сушни. Вриједности $NSE_{\text{sqr}}t$ су доста лошије. Само *abcd* модел је потпуно трансферабилан према овој мјери док остали модели нису при трансферу на сушни период. WatBal и Xinanjiang према овој мјери имају лошу ефикасност у свим трансферима. Слично је са RSR према коме *abcd* и Budyko имају задовољавајуће резултате при валидацији, GR2M и WASMOD немају само при трансферу на сушни период а WatBal и Xinanjiang поново имају лоше резултате у свим трансферима. Табела 5.14 приказује опсеге ефикасности при валидацији. Уочава се да *abcd* модел има конзистентну ефикасност без обзира на период калибрације и валидације.

Табела 5.14. Минималне, максималне и средње вриједности статистичких показатеља ефикасности у DSST протоколу на сливу Камп.

Модел	KGE	$NSE_{\text{sqr}}t$	RSR	VE
abcd	0.72-0.79 (0.78)	0.53-0.73 (0.63)	0.01-0.58 (0.22)	0.99-1.00 (1.00)
Budyko	0.64-0.82 (0.74)	0.29-0.72 (0.56)	0.03-0.71 (0.42)	0.97-1.00 (0.98)
GR2M	0.60-0.82 (0.72)	0.33-0.69 (0.53)	0.32-2.01 (0.93)	0.90-0.98 (0.94)
WASMOD	0.64-0.83 (0.72)	0.08-0.58 (0.40)	0.00-1.82 (0.84)	0.91-1.00 (0.95)
WatBal	0.29-0.73 (0.55)	-0.25-0.37 (0.09)	0.05-1.66 (0.86)	0.92-1.00 (0.96)
Xinanjiang	0.48-0.71 (0.62)	0.01-0.48 (0.33)	0.18-0.82 (0.59)	0.96-0.99 (0.98)

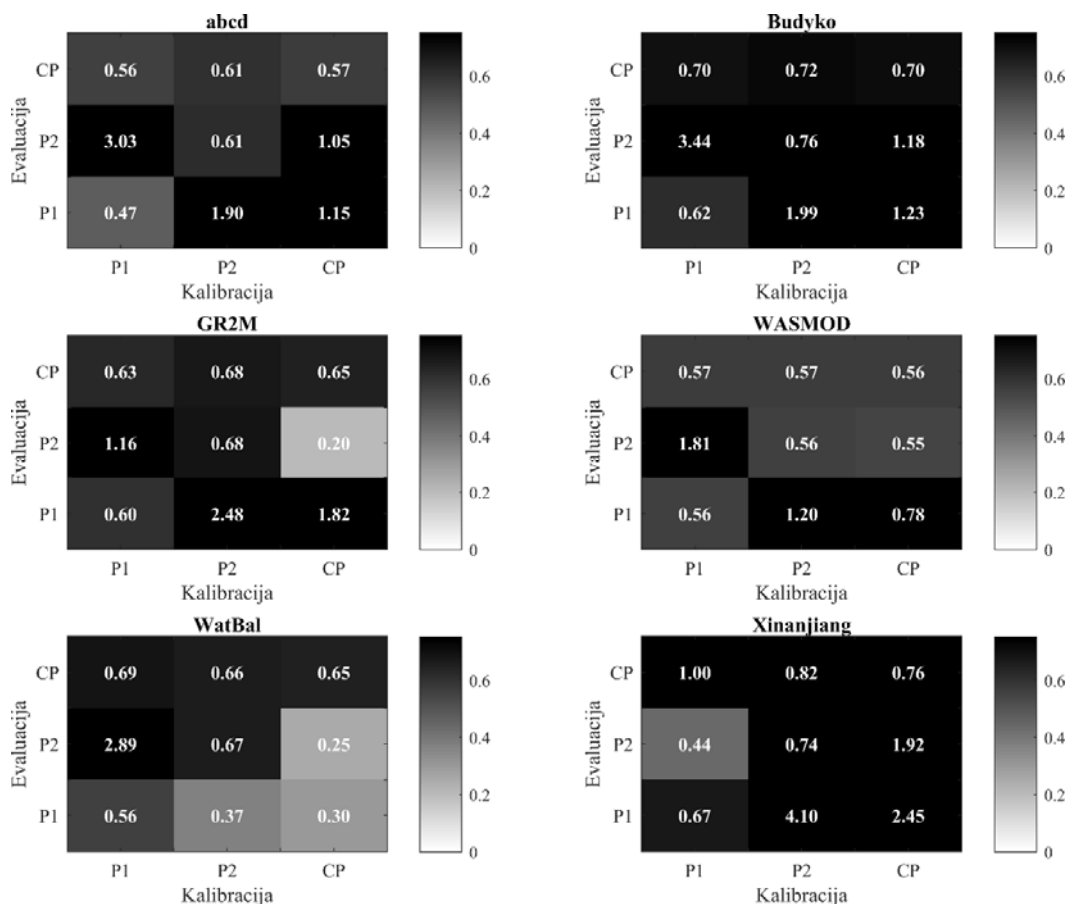


Слика 5.21. Вриједности KGE у DSST протоколу на сливу ријеке Камп.

На сливу Топлице, ефикасност у валидацији мјерена са RSR и NSE_{sqrt} је лошија од осталих. Према KGE само Xinanjiang модел има незадовољавајућу ефикасност у валидацији водни/сушни и обратно. Према NSE_{sqrt} сви трансфери код свих модела (осим WatBal и Xinanjiang модела) су успјешни осим P1/P2 код Budyko модела. Према RSR сви модели имају неуспјешних трансфера углавном везани за сушни период мада се примјећује да је P1/CP исто неуспјешан према овој мјери. Према VE само Xinanjiang има један неуспјешан трансфер, P2/P1. Табела 5.15 приказује опсег ефикасности према статистичким показатељима а на слици 5.22 су вриједности RSR.

Табела 5.15. Минималне, максималне и средње вриједности статистичких показатеља ефикасности при DSST на сливу Топлице.

Модел	KGE	NSE_{sqrt}	RSR	VE
abcd	0.69-0.83 (0.77)	0.69-0.76 (0.73)	0.56-3.03 (1.38)	0.81-0.93 (0.88)
Budyko	0.59-0.75 (0.69)	0.44-0.62 (0.54)	0.70-3.44 (1.54)	0.78-0.92 (0.86)
GR2M	0.65-0.71 (0.69)	0.61-0.69 (0.66)	0.20-2.48 (1.16)	0.76-0.99 (0.89)
WASMOD	0.79-0.83 (0.82)	0.61-0.66 (0.63)	0.55-1.81 (0.91)	0.88-0.96 (0.92)
WatBal	0.55-0.81 (0.72)	0.36-0.55 (0.45)	0.25-2.89 (0.86)	0.82-0.99 (0.93)
Xinanjiang	0.42-0.66 (0.57)	0.19-0.54 (0.37)	0.44-4.10 (1.79)	0.61-0.97 (0.83)

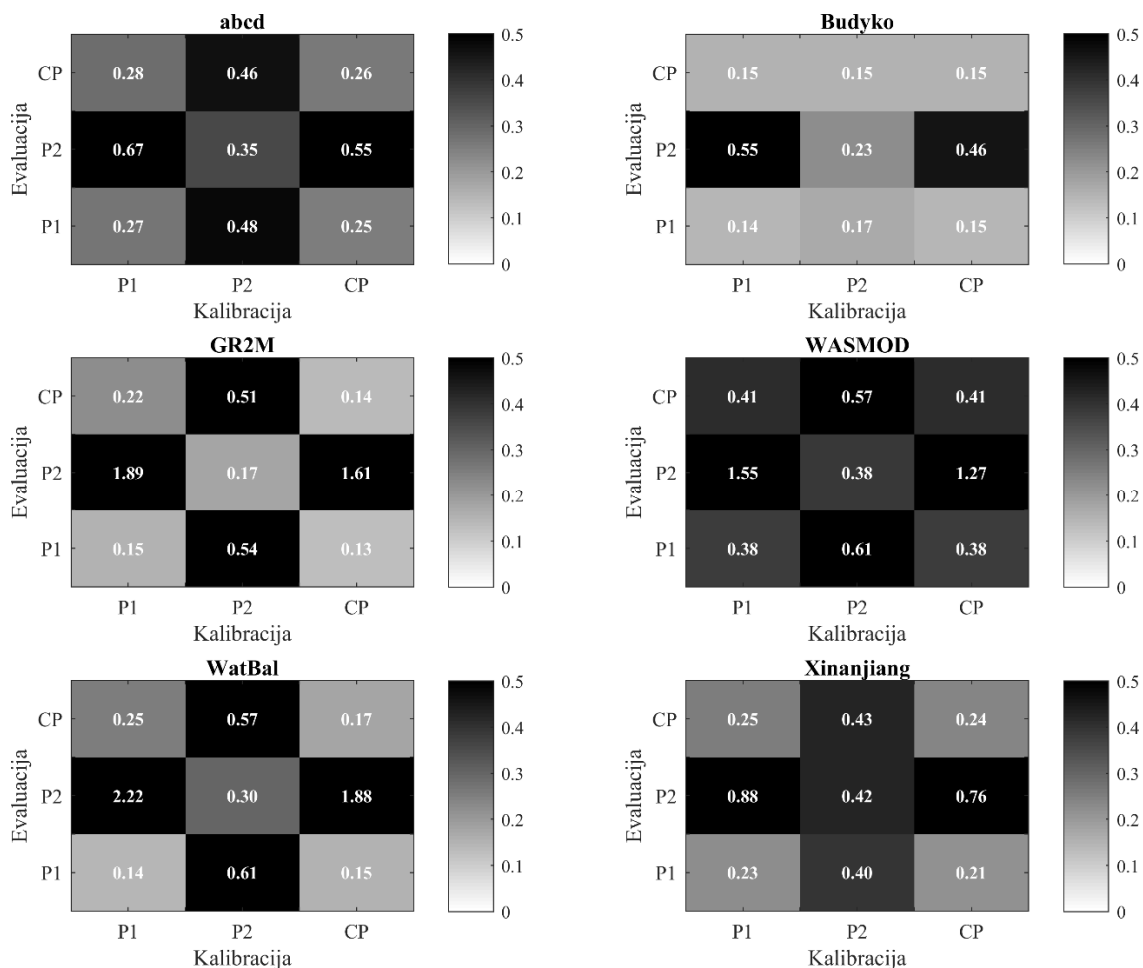


Слика 5.22. Вриједности RSR у DSST протоколу на сливу ријеке Топлице.

Хидролошки потписи

На сливу Вимере сви модели лоше репродукују ϵ_{IAFD} , ϵ_{STD} , медијану, ϵ_{D20} и перцентиле док доста добро репродукују аутокорељацију, ϵ_{SEL} , ϵ_{P0} и ϵ_{BFI} . Само ϵ_{STD} , ϵ_{P0} , ϵ_{IAFD} и ϵ_{Q95} (и донекле ϵ_{Q80}) су осјетљиви на трансфер из једног периода у други док остали не показују такву врсту осјетљивости. У резултатима Xinanjiang модела, више потписа је информативно у овом смислу него код осталих модела. Нпр. аутокорељација, ϵ_{D20} и ϵ_{SEL} показују пад ефикасности при трансферу на сушни период слично као и статистички показатељи. Хидролошки потписи, као и статистички показатељи, упућују на то да при трансферу на сушни период модели нису ефикасни, док су нешто ефикаснији са сушног периода на водни.

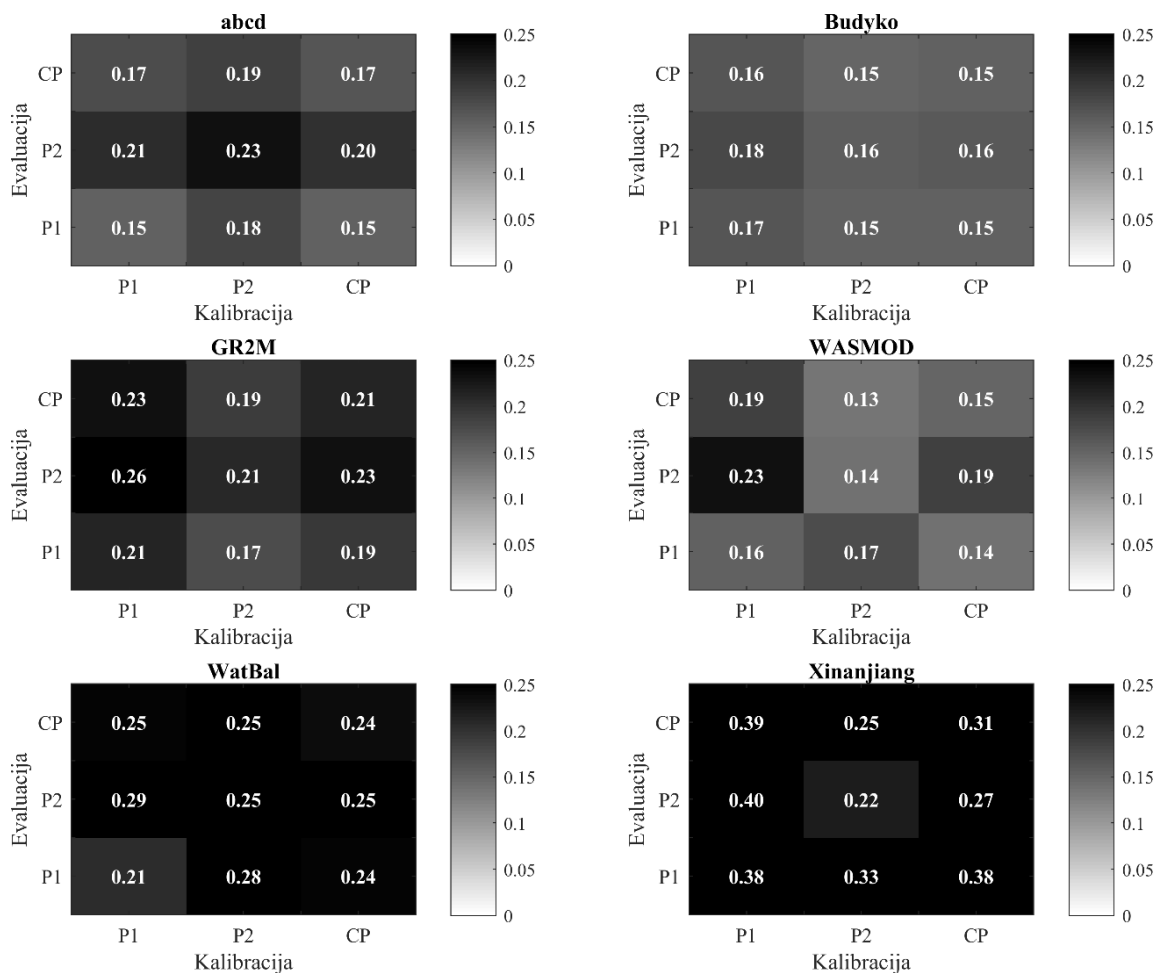
Слика 5.23. приказује вриједности грешке потписа ϵ_{IAFD} на сливу Вимера. За разлику од претходног приступа моделирању са Тиреловим протоколом, промјена грешке овог потписа у потпуности прати образац статистичких показатеља. Генерално, у овом приступу ϵ_{IAFD} је значајно мања од претходног.



Слика 5.23. Вриједности ϵ_{IAFD} у DSST протоколу на сливу Вимере.

На сливу Камп модели при валидацији најлошије репродукују ϵ_{IAFD} , ϵ_{BFI} , ϵ_{SEL} и ϵ_{Q5} . Модели су потпуно трансферабилни према сљедећим потписима: медијана, ϵ_{AC12} , ϵ_{D20} , ϵ_{Q50} и ϵ_{Q80} . Такође, *abcd*, *Budyko* и *GR2M* су потпуно трансферабилни према ϵ_{IAFD} , што се види са слике 5.24. Сви модели су трансферабилни према ϵ_{Q20} , осим *GR2M*-а и ϵ_{Q95} , осим *WatBal* модела.

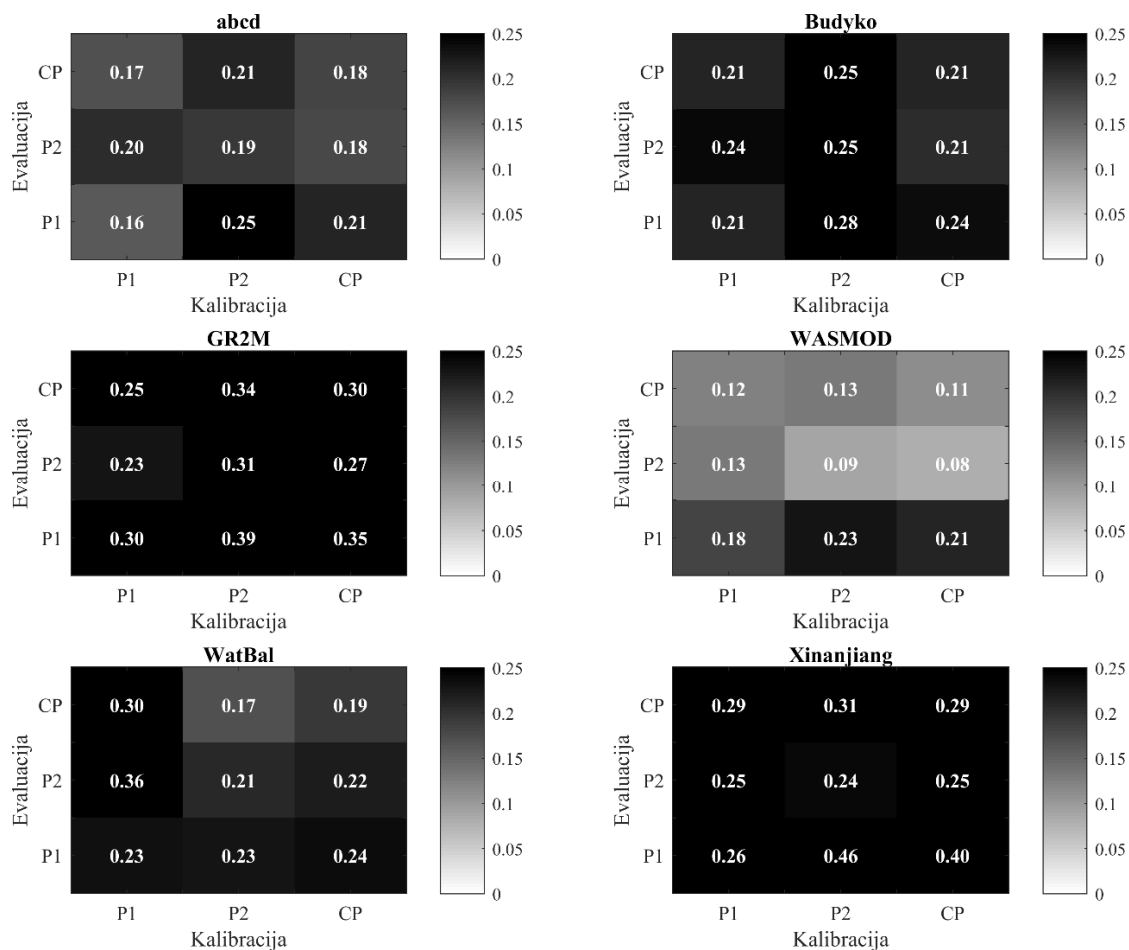
Већина потписа потврђују закључке о паду ефикасности при трансферу на и са P2 (нпр. медијана, ϵ_{IAFD} , ϵ_{STD} , ϵ_{D20} , као и ϵ_{BFI} и аутокорелација али не код свих модела) с тим да су и поједини други трансфери такође лоши. Слика 5.24. приказује вриједности ϵ_{IAFD} за овај слив.



Слика 5.24. Вриједности ϵ_{IAFD} у DSST протоколу на сливу ријеке Камп.

На сливу Топлице модели углавном не могу добро да репродукују сљедеће потписе: ϵ_{IAFD} , медијану (осим WatBal и WASMOD), те перцентиле ϵ_{Q5} (осим GR2M) и ϵ_{Q20} (мале воде). С друге стране, према неким потписима поједини модели су потпуно трансферабилни: сви осим WASMOD и WatBal према ϵ_{BFI} , сви осим Xinanjiang према ϵ_{STD} , WASMOD и WatBal према грешки медијане, Budyko, GR2M и Xinanjiang према ϵ_{SEL} , *abcd* и WASMOD за аутокорејације, сви модели осим Budyko и WASMOD према ϵ_{D20} , *abcd*, WASMOD и WatBal према ϵ_{Q80} и сви модели према ϵ_{Q95} .

Потписи који су информативни на примјеру овог слива су аутокорејације, ϵ_{Q95} , ϵ_{Q80} , ϵ_{Qmed} , ϵ_{IAFD} и ϵ_{STD} . Слика 5.25. приказује вриједности ϵ_{IAFD} за слив Топлице. Уочава се конзистентна ефикасност према овом потпису код модела *abcd* и WASMOD, као и код Budyko модела осим при трансферу сушни/водни период.



Слика 5.25. Вриједности ϵ_{IAFD} у DSST протоколу на сливу ријеке Топлице.

У табелама 5.16 до 5.18 дати су проценти успјешности сваког од трансфера (у овом приступу моделирању само је један трансфер у свакој категорији) и за сваки слив. Сиво су обојени најлошији трансфери (колоне) као и најбољи модели (редови).

Према обје врсте показатеља ефикасности модела, статистичким и грешкама потписа, најлошији трансфери су на сушни период или са сушног на остале. Код Вимере је то веома наглашено, нпр. према статистичким показатељима нема успјешних трансфера на сушни период.

За Камп и Топлицу, успјешност је значајно већа. Најнижа је при трансферу на сушни период (Камп) док је код Топлице то трансфер сушни/водни и водни/сушни. На сливу ријеке Камп *abcd* модел има у потпуности конзистентну ефикасност мјерену са статистичким показатељима док према грешкама потписа проценат задовољавајуће ефикасности је веома висок.

Вриједности мјера ефикасности и грешака хидролошких потписа су табеларно приказане у Прилогу III.

Табела 5.16. Процент успјешних трансфера у DSST протоколу на сливу ријеке Вимера.

Трансфер	в-в	в-с	м-в	м-с	с-в	с-м
Модел	Статистички показатељи					
abcd	100	0	100	0	50	50
Budyko	100	0	100	0	75	100
GR2M	100	0	100	0	25	50
WASMOD	100	0	100	0	25	25
WatBal	75	0	100	0	0	25
Xinanjiang	100	0	100	0	25	50
Ср.вриједност	96	0	100	0	33	50
Модел	Хидролошки потписи					
abcd	43	14	50	0	43	36
Budyko	64	29	57	50	57	64
GR2M	57	36	79	36	43	36
WASMOD	50	36	57	43	36	36
WatBal	57	29	57	29	36	50
Xinanjiang	64	50	64	43	43	43
Ср.вриједност	56	32	61	33	43	44

Табела 5.17. Процент успјешних трансфера у DSST протоколу на сливу ријеке Камп.

Трансфер	в-в	в-с	м-в	м-с	с-в	с-м
Модел	Статистички показатељи					
abcd	100	100	100	100	100	100
Budyko	75	50	100	75	100	100
GR2M	75	50	100	50	100	100
WASMOD	75	50	100	50	100	75
WatBal	50	50	75	50	50	25
Xinanjiang	50	50	75	50	75	50
Ср.вриједност	71	58	92	63	88	75
Модел	Хидролошки потписи					
abcd	100	93	93	100	86	86
Budyko	79	79	100	79	100	86
GR2M	93	93	93	100	86	93
WASMOD	79	71	79	79	93	93
WatBal	71	64	93	86	86	93
Xinanjiang	93	93	93	93	79	86
Ср.вриједност	86	82	92	89	88	89

Табела 5.18. Процент успешних трансфера у DSST протоколу на сливу ријеке Топлица.

Трансфер	В-В	В-С	М-В	М-С	С-В	С-М
Модел	Статистички показатељи					
abcd	100	75	75	75	75	100
Budyko	75	50	75	75	75	75
GR2M	100	75	75	100	75	100
WASMOD	100	75	75	100	75	100
WatBal	75	50	100	75	75	75
Xinanjiang	50	50	75	50	00	50
Ср.вриједност	83	63	79	79	63	83
Модел	Хидролошки потписи					
abcd	86	86	79	93	64	93
Budyko	71	71	71	86	57	71
GR2M	93	93	57	79	50	71
WASMOD	57	57	79	64	86	71
WatBal	86	79	93	93	93	71
Xinanjiang	79	79	57	79	57	86
Ср.вриједност	79	77	73	82	68	77

Границе трансферабилности модела

На сливу Вимера, статистички показатељи ефикасности као и ϵ_{STD} , ϵ_{IAFD} , ϵ_{Q50} , ϵ_{Q80} и ϵ_{Q95} показују нагли пад ефикасности када је количина падавина у периоду валидације мања за 14% или већа за 16%. Већи пад ефикасности је при трансферу на сушнији период. Што се тиче промјене PET, границе трансферабилности су углавном око $\pm 2\%$. За све статистичке показатеље као и потписе ϵ_{Q95} , ϵ_{IAFD} и ϵ_{STD} , само Budyko је трансферабилан на воднији период као и Xinanjiang, осим према ϵ_{IAFD} и VE.

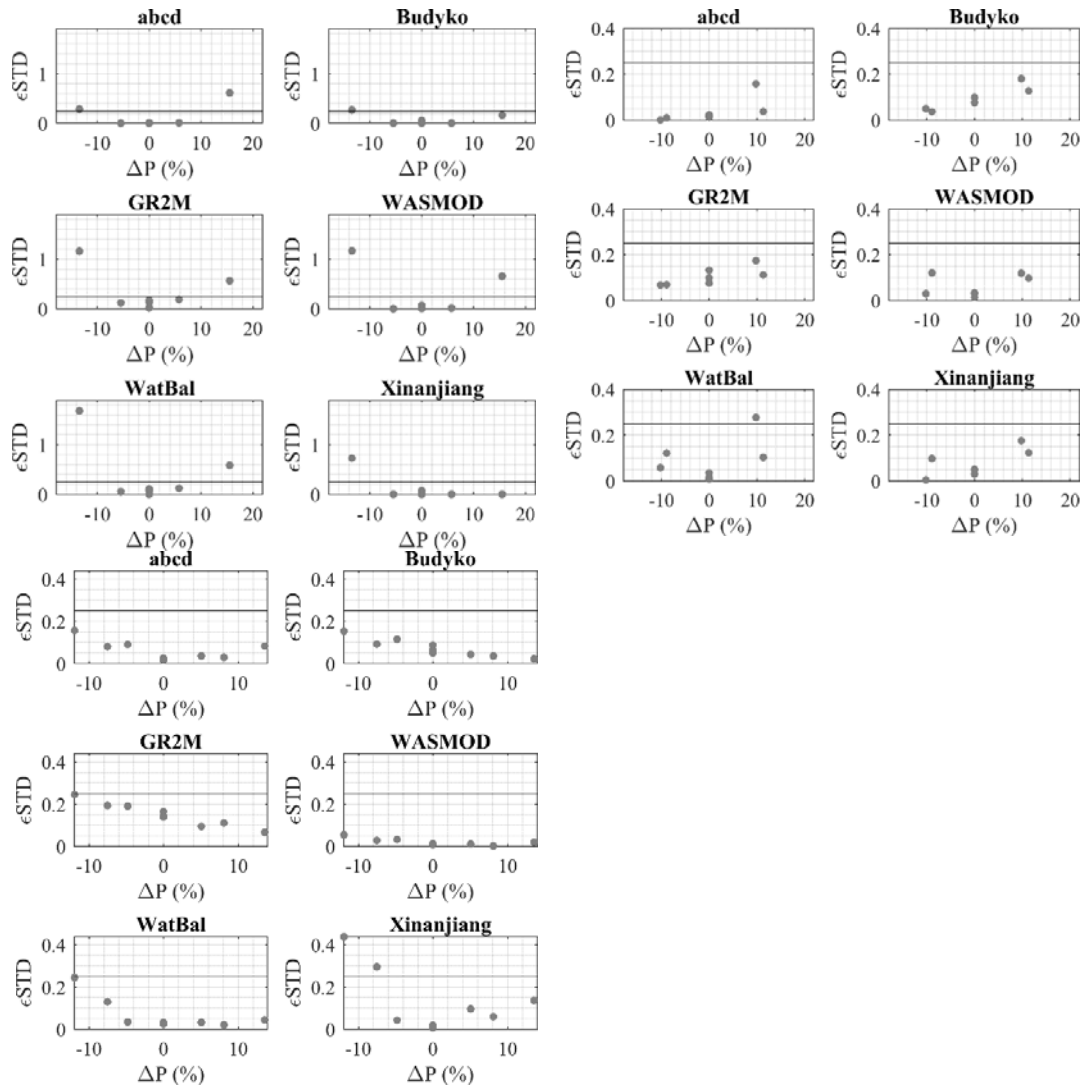
Према појединим потписима, модели су трансферабилни без обзира на повећање (смањење) падавина односно смањење (повећање) PET. То су ϵ_{BFI} и ϵ_{SEL} (осим за *abcd* који према овим потписима није трансферабилан), аутокорелација и ϵ_{PO} . Према грешкама свих перцентила осим ϵ_{Q95} , ϵ_{IAFD} (осим Budyko и GR2M), ϵ_{Qmed} и ϵ_{D20} модели нису трансферабилни уопште.

У случају слива ријеке Камп, границе трансферабилности модела су много јасније одређене као потпуно трансферабилни или потпуно нетрансферабилни у односу на резултате добијене за ријеку Wimmera. Модели углавном нису трансферабилни према NSE_{sqrt} (GR2M, WASMOD, WatBal и Xinanjiang), RSR (GR2M, WatBal и Xinanjiang), ϵ_{Q5} (сви осим GR2M и Xinanjiang), ϵ_{SEL} (*abcd*, WASMOD и WatBal) и ϵ_{AC1} (*abcd*, Budyko и Xinanjiang). Ако негде и постоје границе трансферабилности, то су $\pm 10\%$ промјене падавина односно $\pm 5\%$ промјене PET. На примјеру овог слива не уочавају се нагли падови ефикасности при трансферима као код Вимере.

На сливу Топлице, модели су углавном трансферабилни, према већини показатеља мада су границе трансферабилности углавном мале, нпр. од $-4 \div 7$ за падавине и $-2 \div 3.5$ за PET. Модели су потпуно трансферабилни за KGE, VE, ϵ_{Q95} , ϵ_{BFI} , ϵ_{STD} , ϵ_{AC1} и ϵ_{D20} , а потпуно нетрансферабилни за ϵ_{Q5} (осим GR2M) и ϵ_{Q20} (осим Xinanjiang). На дијаграмима се уочава

пад ефикасности при трансферу на сушнији или воднији период, али није изражено као код Вимере.

Слика 5.26 приказује зависност грешке стандардне девијације од промјене количине падавина у симулационом периоду у односу на период калибрације за сва три слива. Остали карактеристични резултати ове анализе су дати у Прилогу V.



Слика 5.26. Зависност ϵ_{STD} и промјене количине падавина у DSST протоколу на сливу ријеке Вимера (горе лијево), Камп (горе десно) и Топлица (доле).

5.2.3 Конзистентност оцјена параметара модела

Већина параметара показује малу варијабилност у калибрацији на различитим периодима. Ипак, поједини параметри су веома осјетљиви на калибрациони период. У табели 5.19 дати су параметри чије вриједности варирају у калибрацији на различитим периодима а у заградама поред њих је вриједност IC.

Табела 5.19. Преглед варијабилних параметара у односу на различите калибрационе периоде DSST протокола.

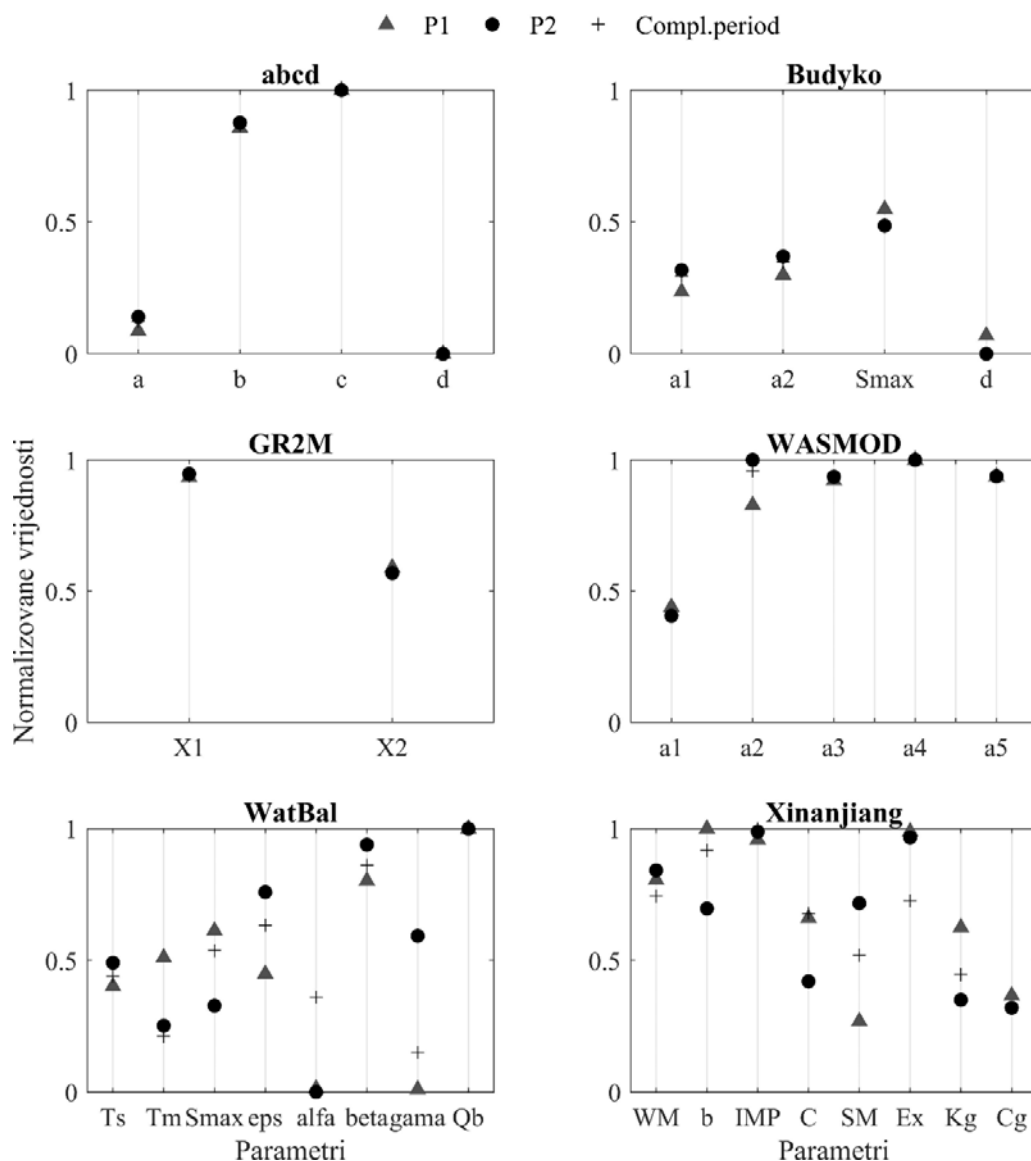
Модел	Вимера (IC)	Камп (IC)	Топлица (IC)
abcd	c (0.75)	c (0.00)	
WASMOD		a2 (0.65) a4 (0.71)	
WatBal	alfa (0.00)	Ts (0.67)	epsilon (0.69)
		epsilon (0.31)	alfa (0.64)
		alfa (0.00) gama (0.69)	gama (0.42)
Xinanjiang	b (0.44)	SM (0.04)	b (0.70)
	Ex (0.41)	Ex (0.04)	SM (0.55)
	Kg (0.37)	Kg (0.37)	Kg (0.72)
			Ex (0.74)

Параметар	Опис параметра
c (<i>abcd</i>)	Однос између инфилтрације у подземље и директног отицаја
a2 (WASMOD)	Параметар модула снијега (темп.индекс)
a4	Рецесиона константа спорог (базног) отицаја
Ts	Параметар модула снијега (темп.индекс)
epsilon	Коеф.степене функције површинског отицаја
alfa	Коефицијент потповршинског отицаја
gama	Коеф.степене ϕ -је потповршинског отицаја
b (Xinanjiang)	Параметар везе између тренутне и максималне влажности тла
Ex	Степени индекс за просторну расподјелу запремине подземне воде
SM	Средњи просторни капацитет слободне запремине воде
Kg	Параметар линеарног резервоара (одређује удио инфилтрације у подземни резервоар)

На сливу Вимере, учача се да само WatBal и Xinanjiang имају осјетљиве параметре док су код осталих модела веома стабилни ($IC > 0.75$). Слично као у резултатима претходног приступа моделирању са Тиреловим протоколом, осјетљиви параметри су углавном везани за компоненту базног отицаја и количине воде која инфилтрира у подземни резервоар односно за биланс воде у подземном резервоару.

За слив ријеке Камп параметар директног отицаја је такође осјетљив на калибрациони период. Модели који имају компоненту снијега имају осјетљиву и температурну границу за прорачун падавина као снијег или киша те за топљење снијега. Варијабилност параметра c *abcd* модела, ϵ *WatBal* модела као и SM од *Xinanjiang* модела се значајно повећала у односу на резултате за Вимера слив. Наведени параметри су везани за директни отицај који је очито осјетљива компонента на овом сливу. Примјећује се да код *abcd* и *Budyko* модела коефицијент линеарног подземног резервоара, параметар d који раздваја количине базног отицаја и запремине подземне воде, узима константну и максималну вриједност у свим калибрационим периодима, $d=1$. То практично значи да у датом мјесецу укупна количина подземне воде из претходног мјесеца постаје базни отицај.

Код слива ријеке Топлице, само WatBal и Xinanjiang имају варијабилне параметре и то углавном исте као код ријеке Камп. Од три параметра који су варијабилни на оба ова слива, само *alfa* (коефицијент површинског отицаја) је осјетљив на сливу Вимере. Остали параметри су везани за потповршински отицај. Варијабилни параметри код *Xinanjiang* модела су везани за подземни резервоар и влажност тла (резервоар тла). Вриједности IC за слив Топлице су доста више него код претходних сливова (Слика 5.27).



Слика 5.27. Нормализоване вриједности параметара у калибрацији на различитим периодима DSST протокола на сливу Топлица.

Модели WatBal и Xinanjiang имају најваријабилне параметре. Истовремено, то су модели са највише параметара али и углавном лошијом ефикасношћу у односу на остале модел. Обзиром да је и анализа осјетљивости (у Прилогу VI) показала да осјетљивост параметара ових модела углавном потиче од међусобне интеракције а мање од самог појединачног утицаја, ови модели су очито пре-параметризовани.

Поређењем варијабилних параметара са осјетљивим из анализе осјетљивости, добијају се исти закључци као у претходном приступу моделирању. Варијабилност параметра не може да се објасни његовом неосјетљивошћу (нпр. не утиче на ефикасност модела).

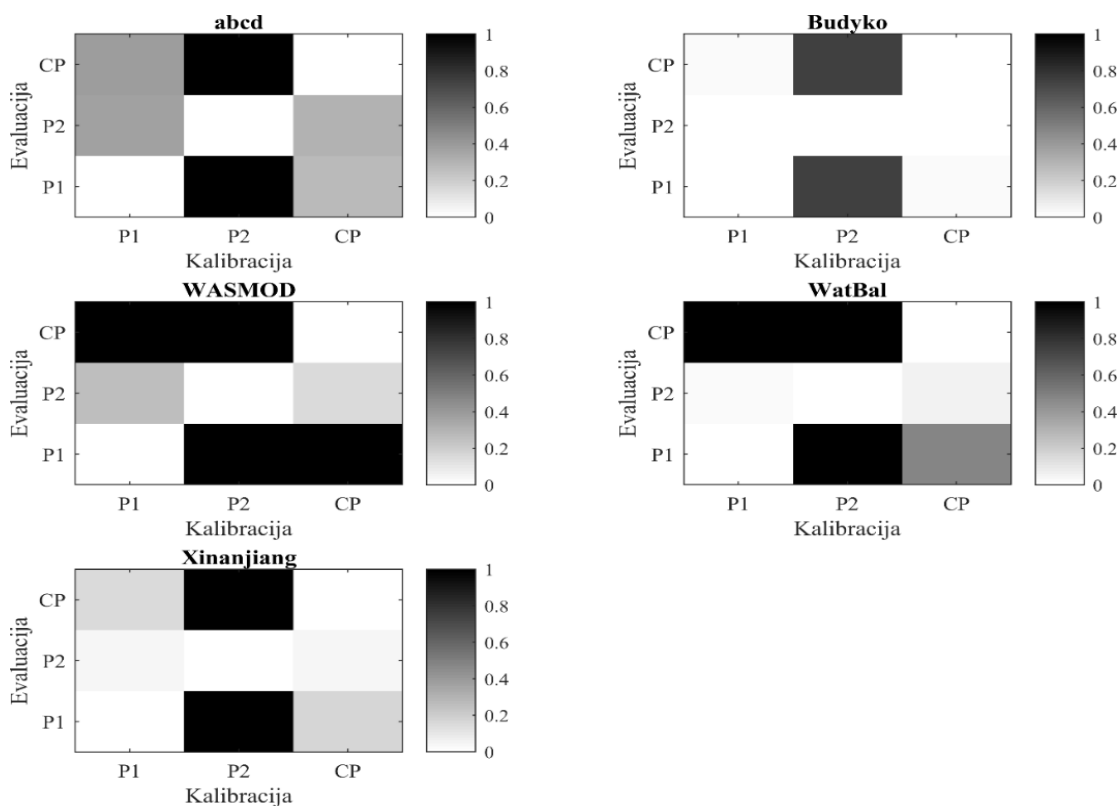
Међутим, ове резултате варијабилности параметара у калибрационим периодима треба узети са резервом обзиром да се варијабилност мјери од само три параметра (три калибрациона периода). Из истог разлога, зависност параметара од хидроклиматских показатеља није могла бити анализирана.

Остали резултати ове анализе су дати у Прилогу VIII.

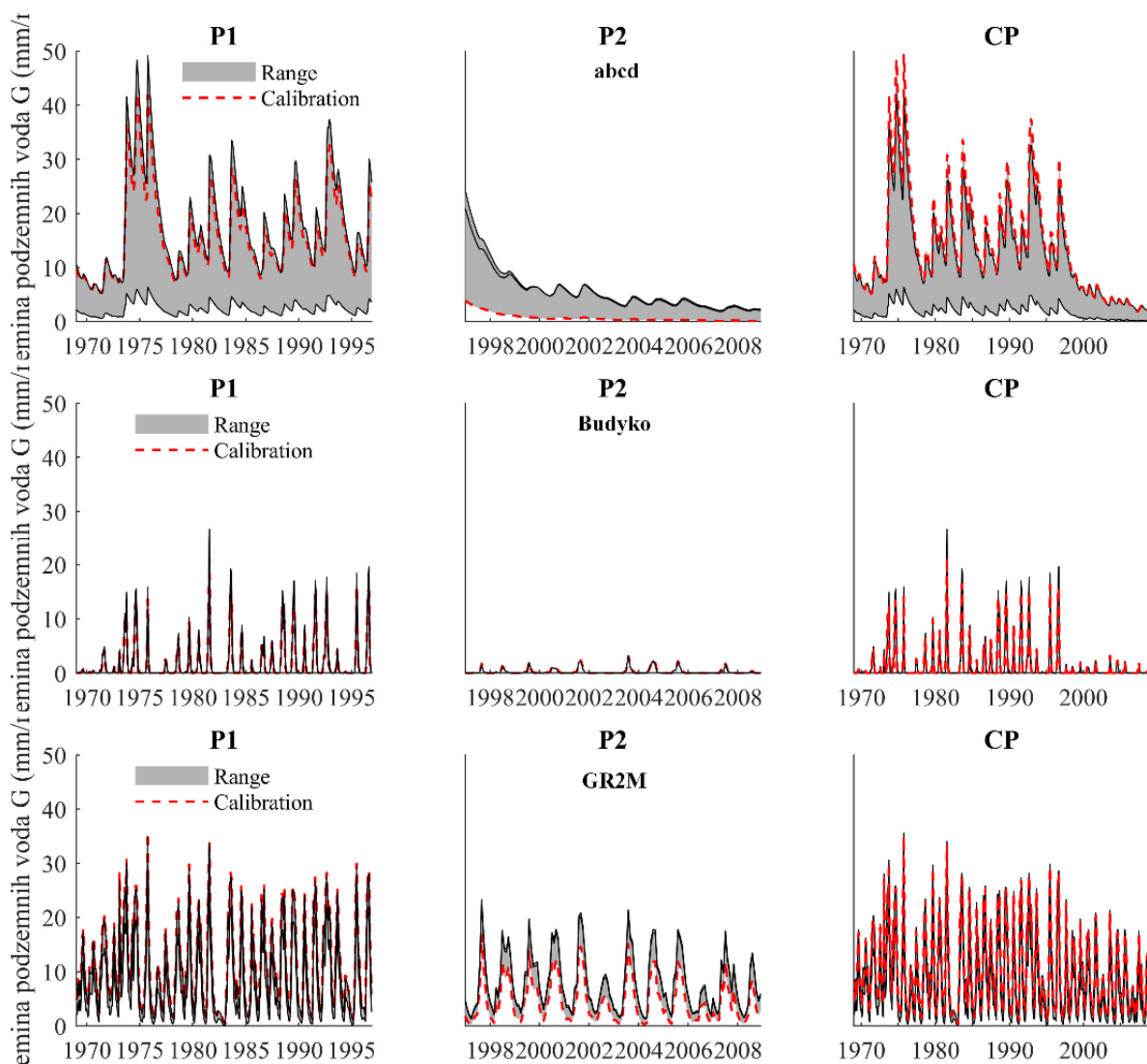
5.2.4 Конзистентност компоненти водног биланса

Конзистентне компоненте на Вимера сливу су стварна ЕТ, допуна подземља и укупни отицај док су најваријабилнији базни отицај и запремина подземних вода. Ово је исти закључак као код претходног приступа моделирању.

По питању свих компоненти, Budyko има најконзистентније резултате док су WASMOD и WatBal најлошији. Слика 5.28 приказује RMAD вриједности базног отицаја гдје је јасно види неконзистентност ове компоненте при трансферу параметара са сушног периода.



Слика 5.28. RMAD вриједности базног отицаја симулираног на сливу Вимере и DSST протоколом.

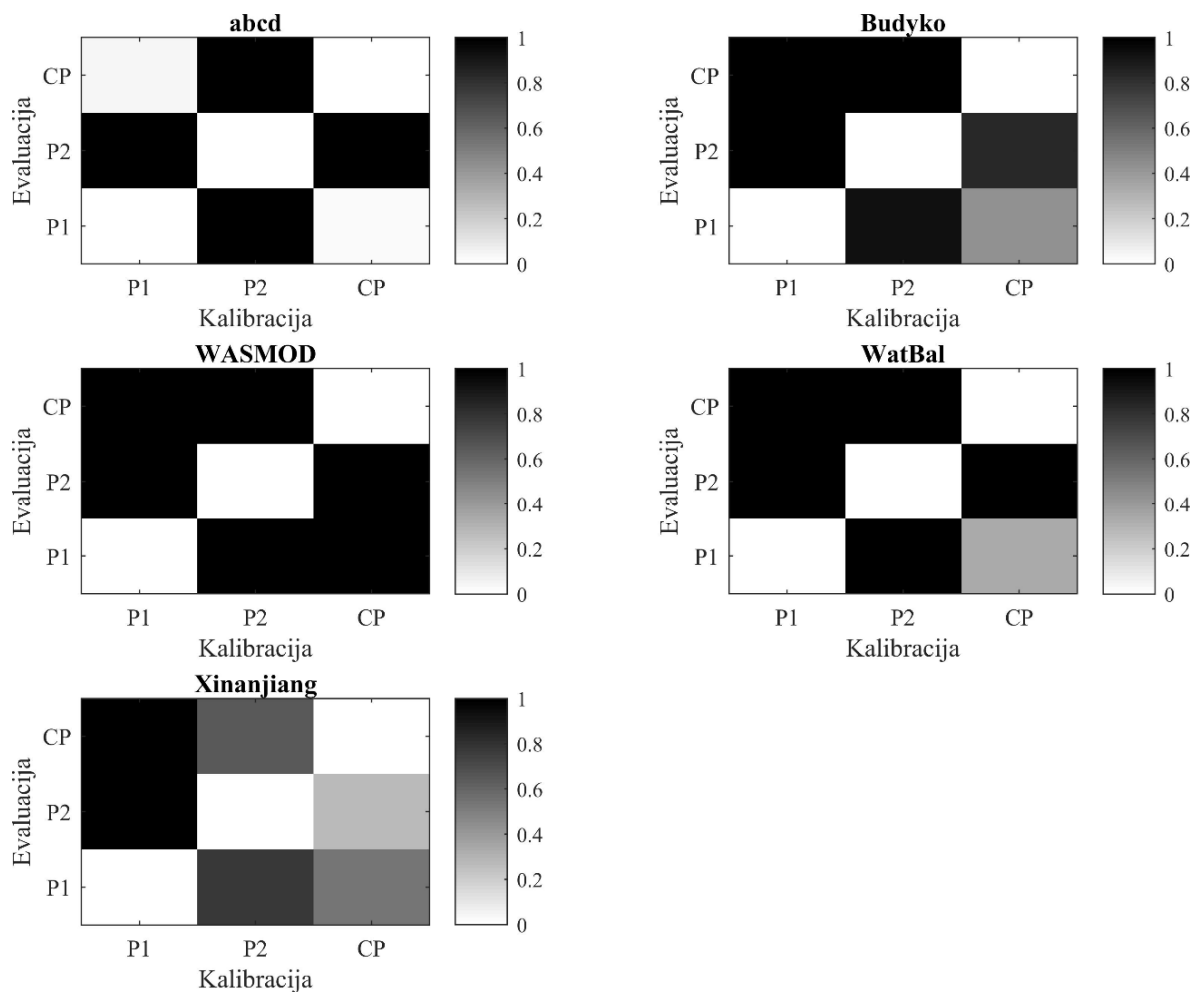


Слика 5.29. Симулиране вриједности запремине подземних вода на сливу Вимере и DSST протоколом.

Слика 5.29. приказује симулиране вриједности запремине подземних вода на сливу Вимере. Примјећују се различите вриједности ове компоненте симулиране са различитим моделима. Такође, према симулацијама Budyko модела уочава се значајно смањење запремине подземних вода у сушном периоду што дјелује много реалније од симулација добијених са осталим моделима обзиром на то да је ово изузетно маловодан период.

На сливу Камп, стварна ET је најконзистентнија, затим укупан и директни отицај док су најваријабилније компоненте базни отицај и запремина подземне воде као и влажност тла. Поново је Budyko најконзистентнији а WASMOD најмање. Овјде је WatBal на другом мјесту, одмах после Budyko, што је велика разлика у односу на слив Вимере.

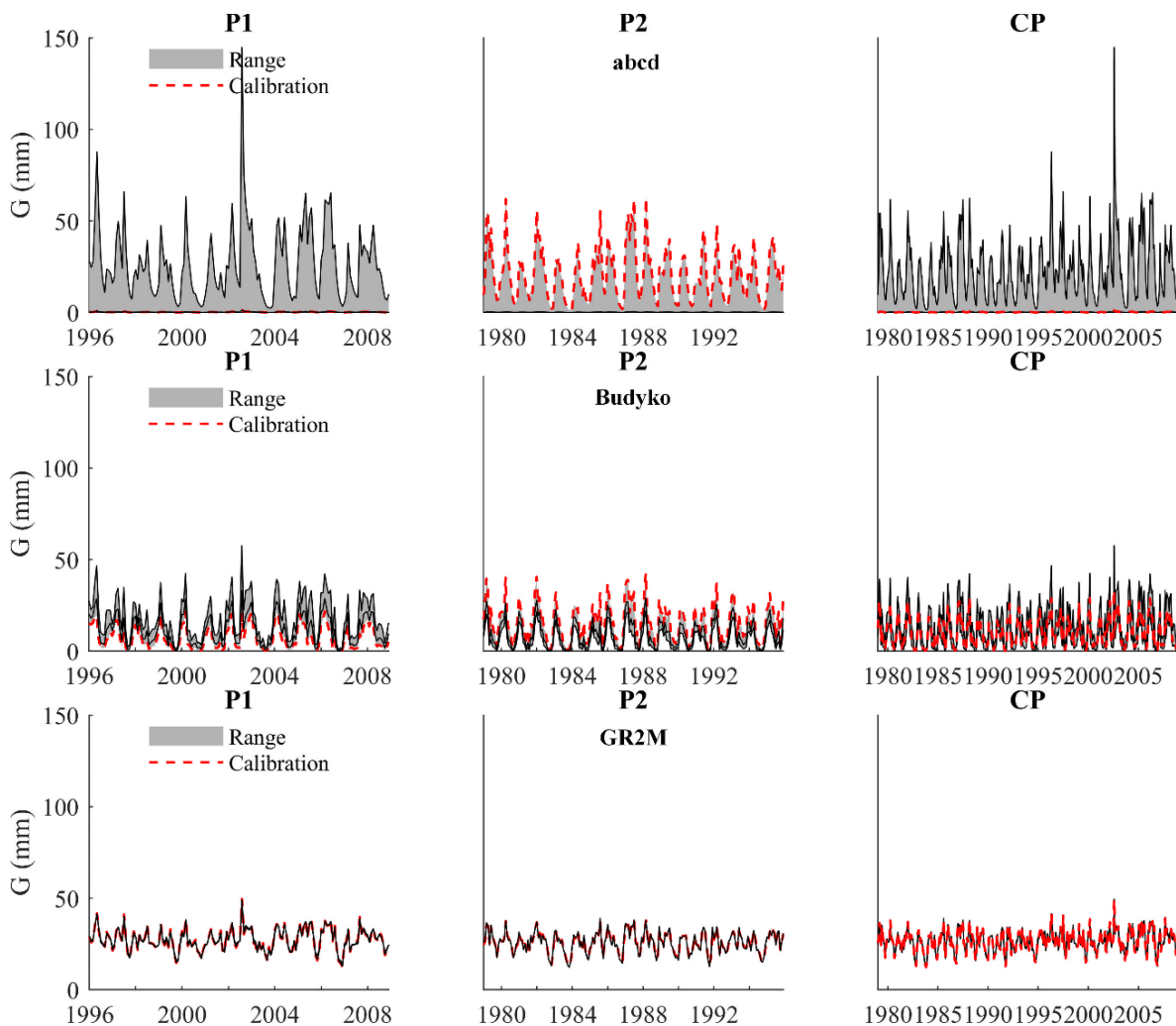
За WatBal се добијају велике вриједности одступања као последица дијељења бројем блиској нули при прорачуну, док стварна одступања нису велика. Модел *abcd* у сушном периоду симулира директни отицај нула због чега се не може срачунати SRrel.



Слика 5.30. RMAD вриједности базног отицаја симулираног на сливу Камп и DSST протоколом.

Слика 5.30 приказује срачунате вриједности RMAD са симулираним базним отицајем. Примјећује се да сви модели, осим *abcd*, симулирају велика одступања базног отицаја при трансферу оптималних параметера из P1 на CP (поред трансфера сушни/водни и обрнуто). Ово је необично обзиром да је трансфер водни/мјешовити до сада углавном био задовољавајући.

На слици 5.31. приказане су симулиране вриједности запремине подземних вода за моделе који имају ову компоненту. Разлике између симулираних вриједности са различитим моделом су очите. Овдје нема значајног смањења запремине подземне воде у сушном периоду као што је то случај код Вимере. То је разумљиво обзиром да сушни период слива Камп није заиста сушан јер су сви периоди умјерено водни до водни (Табела 4.4).

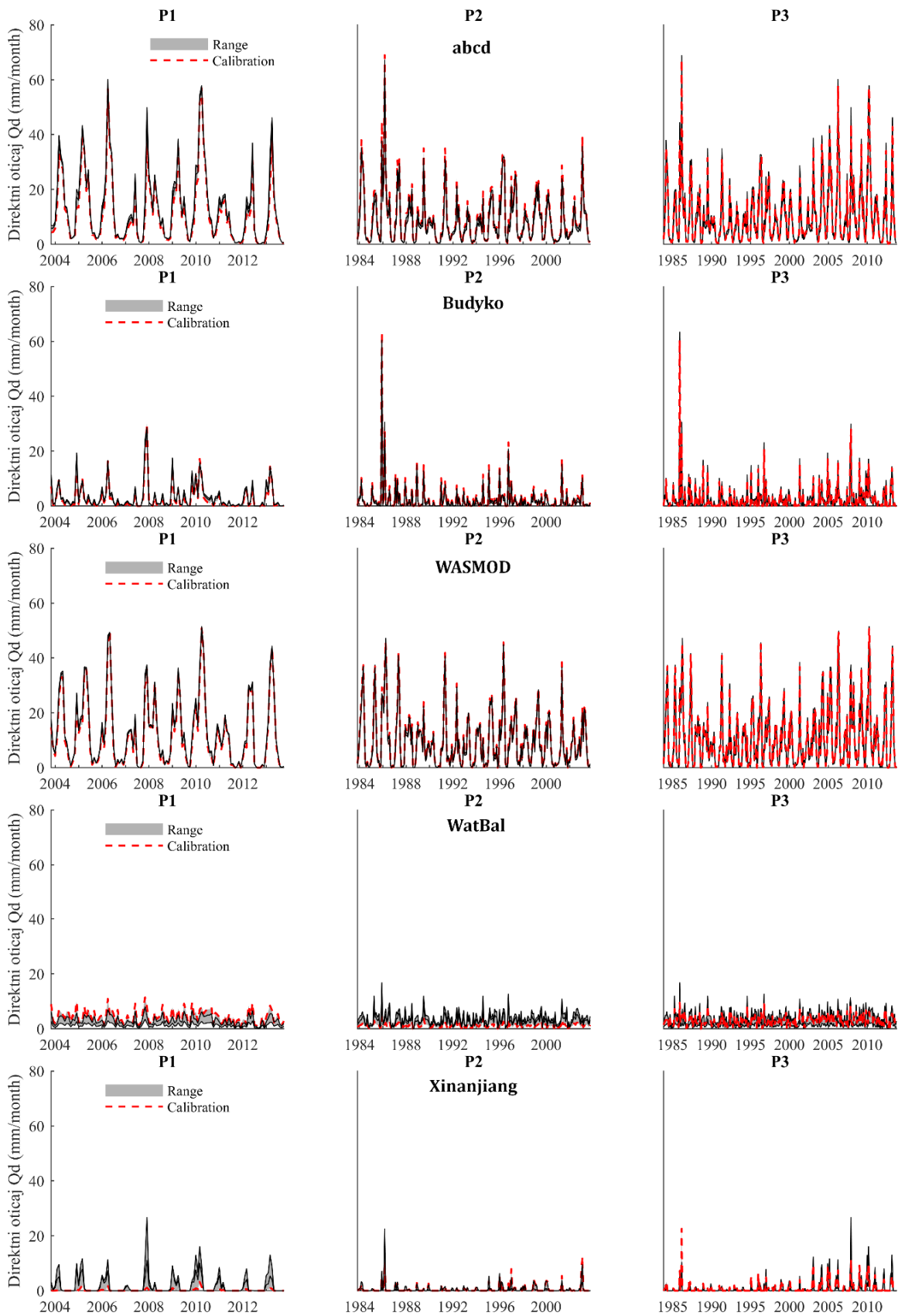


Слика 5.31. Симулиране вриједности запремине подземних вода на сливу Камп и DSST протоколом.

Код слива Топлице, симулиране компоненте водног биланса су углавном конзистентне. У већини случајева SR_{rel} је мањи од 1. SR_{rel} је већи од јединице само за симулирани базни и директни отицај са WatBal моделом и влажност тла и директни отицај са Xinanjiang моделом. Компоненте водног биланса симулиране са моделима *abcd* и Budyko су у потпуности конзистентне без обзира на ком калибрационом периоду су оптимизовани параметри.

На слици 5.32. приказан је директни отицај добијен симулацијама са различитим оптималним параметрима. Модели веома различито моделирају ову али и остале компоненте водног биланса, са различитом динамиком и магнитудама. При процјени водног биланса на сливовима, ово може представљати велики проблем уколико се процјена базира само на моделираним а не осматраним вриједностима. Такође, WASMOD и WatBal не показују повећани директни отицај у вријеме поплаве 2002 године.

Вриједности SR_{rel} и средње вриједности $RMAD$ за све сливове као и карактеристични дијаграми симулираних компоненти са параметрима оптимизованим у различитим калибрационим периодима су дате у Прилогу X.



Слика 5.32. Симулирани директни отицај на сливу Топлица у DSST протоколу.

Табела 5.20 приказује проценте задовољавајућих трансфера (задовољавајући трансфер има вриједност $RMAD < 1$) осредњени по свим компонентама. Неконзистентност компоненти водног биланса је најизраженија у трансферу са сушног периода и на сушни. Код слива Топлице, проценти успјешности трансфера компоненти водног биланса су доста високи. Најнижи је 69% у случају трансфера водни/сушни.

На свим сливовима резултати анализе конзистентности компоненти водног биланса упућују на Budyko као најпоузданији модел, иако према другим анализама није (нпр. на сливу Топлице).

Табела 5.20. Проценти успјешних трансфера према конзистентности компоненти водног биланса за све сливове и DSST протокол.

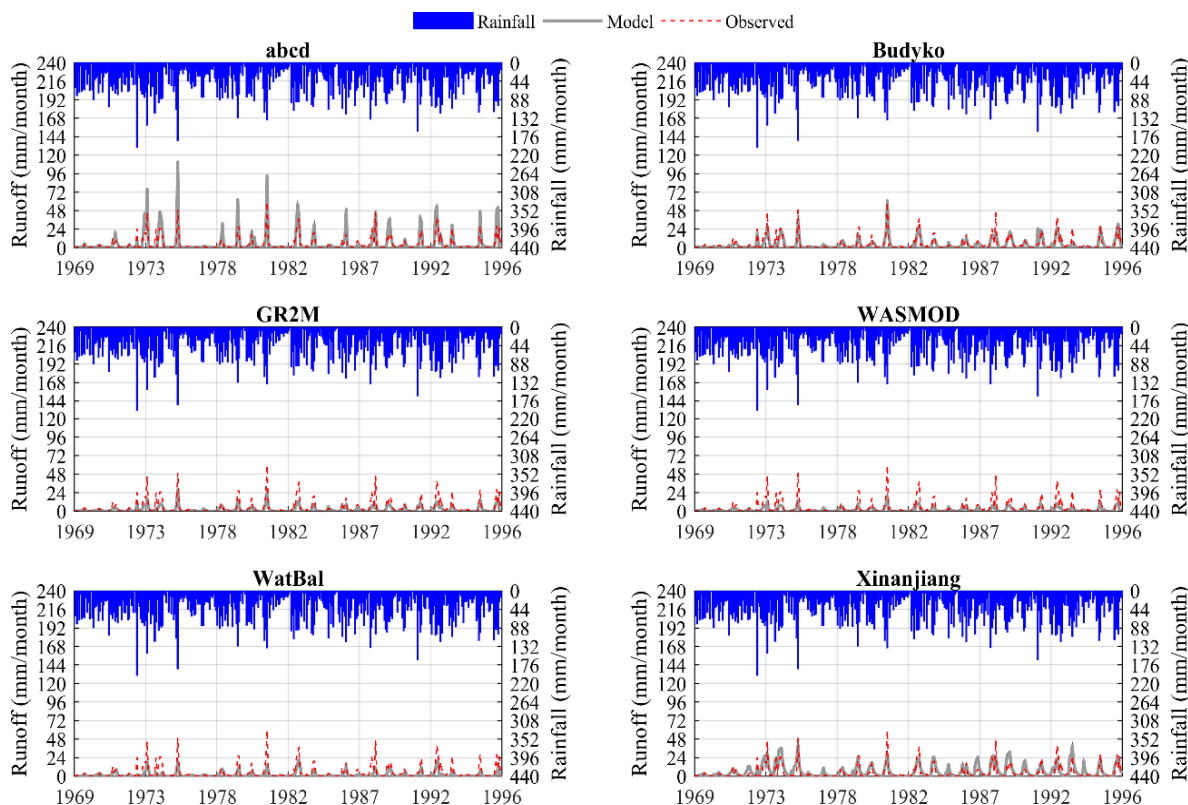
Вимера						
Трансфер	В-В	В-С	М-В	М-С	С-В	С-М
abcd	100	100	83	100	50	50
Budyko	100	100	83	100	83	83
GR2M	50	50	50	67	50	50
WASMOD	67	83	50	83	33	33
WatBal	50	50	50	67	50	50
Xinanjiang	83	83	67	83	33	33
Ср.вриједност	75	78	64	83	50	50
Камп						
Трансфер	В-В	В-С	М-В	М-С	С-В	С-М
abcd	100	33	100	33	50	50
Budyko	67	67	100	100	83	50
GR2M	50	33	67	50	50	50
WASMOD	50	50	50	50	50	33
WatBal	67	67	83	67	67	67
Xinanjiang	50	50	67	67	50	50
Ср.вриједност	64	50	78	61	58	50
Топлица						
Трансфер	В-В	В-С	М-В	М-С	С-В	С-М
abcd	100	100	100	100	100	100
Budyko	100	100	100	100	100	100
GR2M	50	50	67	67	67	67
WASMOD	83	83	83	83	83	83
WatBal	83	33	83	50	67	50
Xinanjiang	67	50	83	67	83	67
Ср.вриједност	81	69	86	78	83	78

5.2.5 Субјективна оцјена ефикасности модела

Хидрограми

Субјективна оцјена визуелног слагања осмотрених и симулираних хидрограма углавном одговара статистичким показатељима. Субјективна оцјена је као и у ранијем приступу моделирању већа (боље слагање) у односу на оно што показују статистичке мјере ефикасности.

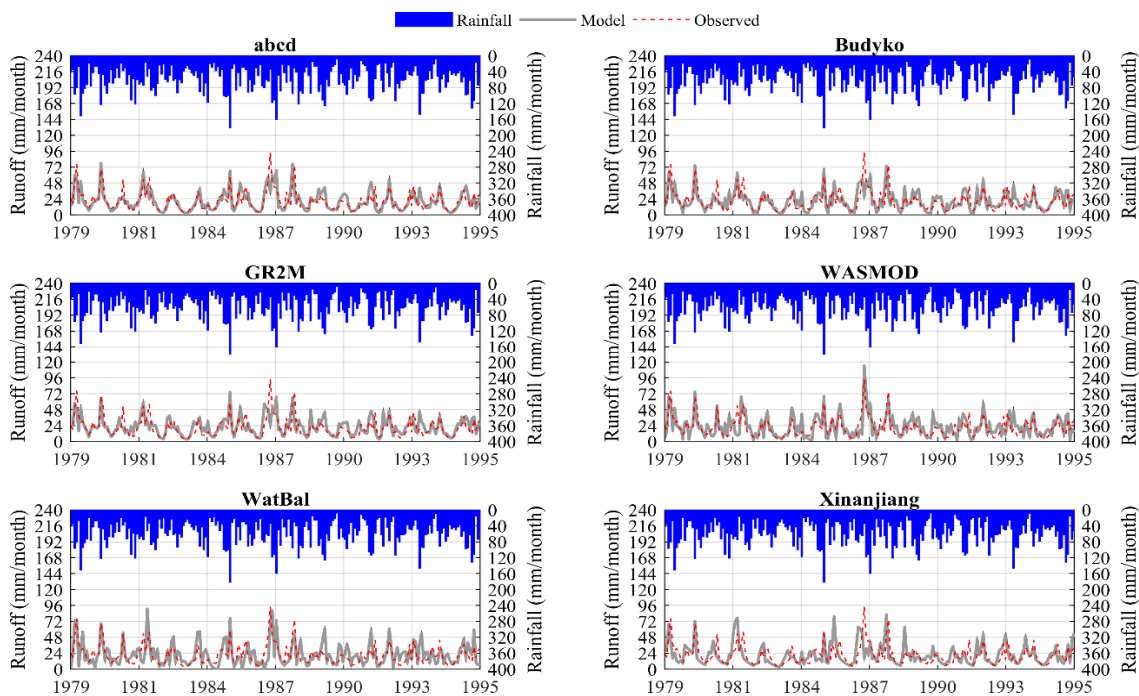
У калибрацији на сливу Вимера, модели углавном добро репродукују динамику отицаја као и велике и мале воде. Изузетак чине прецијењени пикови са *abcd* моделом при трансферима са сушног периода односно подцијењени са моделима GR2M, WASMOD и WatBal. Такође, GR2M, WASMOD, WatBal и Xinanjiang прецијењују пикове при трансферу P1/P2, P1/CP (у периоду малих вода). С друге стране, Budyko и Xinanjiang при валидацији на CP са скупом параметара калибрисаном у сушном периоду добро симулирају и пикове у водном као мале воде у сушном периоду.



Слика 5.33. Хидрограми отицаја при трансферу са сушног на водни период на сливу Вимере.

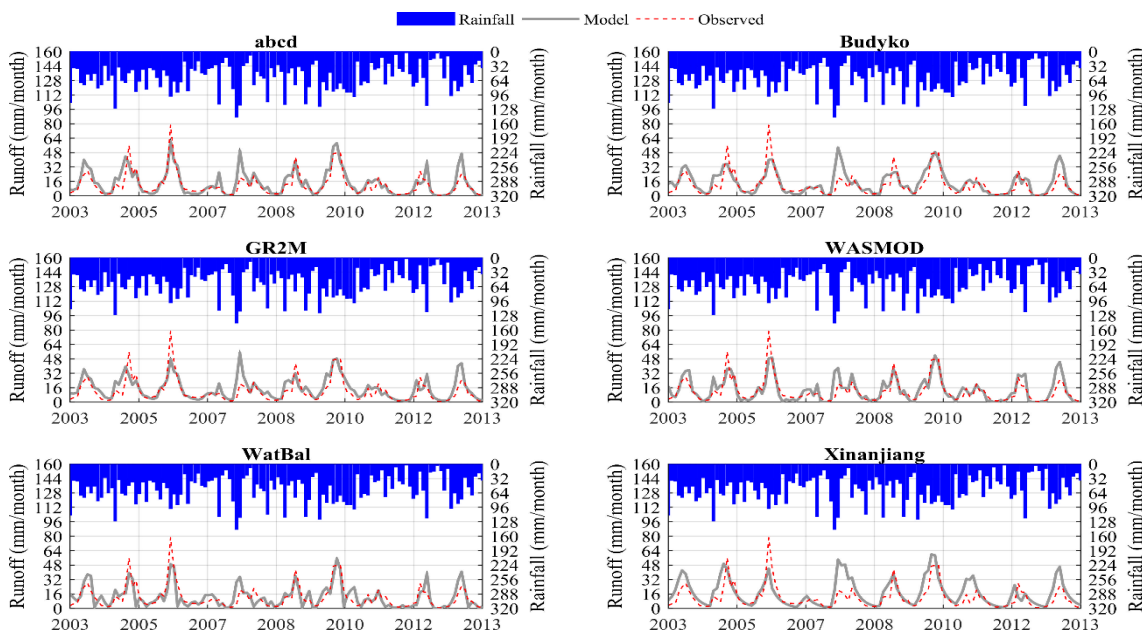
За слив ријеке Камп, карактеристична је динамика и облици хидрограма: узастопни пикови, велика база хидрограма и велики базни отицај. Визуелним прегледом хидрограма, уочава се да модели углавном имају потешкоће при симулацији оваквих хидрограма (Слика 5.34) мада то увијек не показују статистичке мјере.

Такође, први период карактерише велика поплава 2002 године која је углавном подцијењена са P2 скупом параметара док је при калибрацији сви модели (осим оних са снијегом, WASMOD и WatBal) одлично симулирају. Ово се такође не одражава на мјерама ефикасности.



Слика 5.34. . Хидрограми отицаја у трансферу са водног на сушни период на сливу Камп.

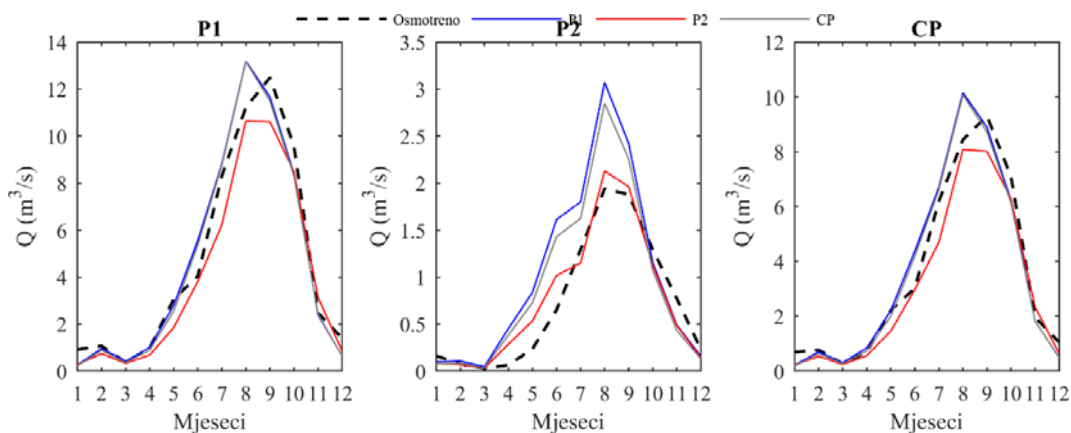
На сливу ријеке Топлице, хидрограми добијени калибрацијом на потпериодима и комплетном периоду нису увијек најбољи, нарочито код Budyko, WatBal и Xinanjiang модела. Нпр. код ових модела слагање је лоше у комплетном периоду поред сушног P2. При валидацији, неки трансфери на сушни период су добри док неки на CP нису. Ово тешко може да се закључи из мјера ефикасности; учено најбоље може да се представи са RSR мјером. Слика 5.35. приказује хидрограм при трансферу са сушног на водни период на сливу Топлице.



Слика 5.35. Хидрограми отицаја у трансферу са сушног на водни период на сливу Топлица.

Унутаргодишња варијабилност отицаја

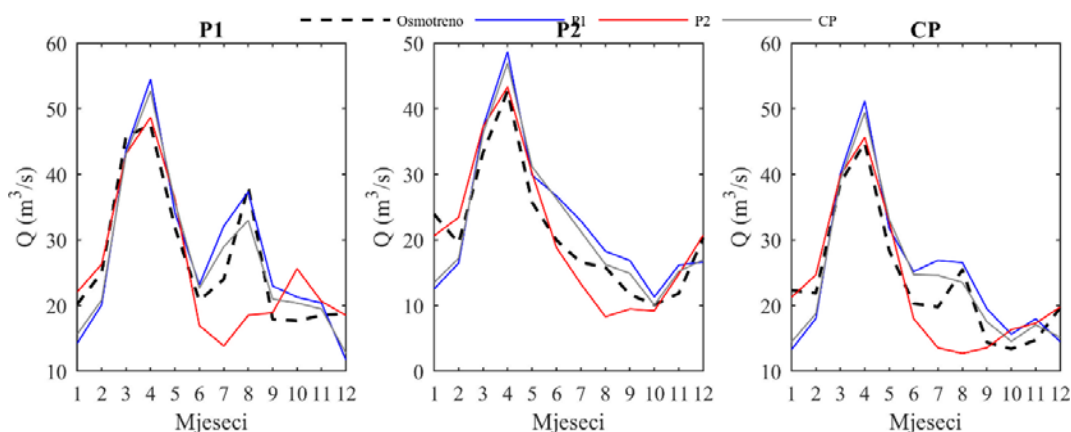
У већини случајева, ϵ_{IAFD} одговара ономе што се може закључити посматрањем дијаграма унутаргодишње расподјеле, уз неколико изузетака. На Вимера сливу, уочава се нпр. код WatBal и Xinanjiang модела да IAFD крива у трансферима P1/CP и при калибрацији на CP има сличне ординате док грешка потписа ϵ_{IAFD} показује да је P1/CP лоша а при калибрацији добра. Такође, $\epsilon_{IAFD}=0.42$ код Xinanjiang модела при калибрацији за сушном периоду док се са дијаграма оцјењује да поклапање није ништа лошије у односу на криву добијену при калибрацији на P1. Најбоље симулације унутаргодишње расподјеле има Budyko, што потпуно потврђује ϵ_{IAFD} .



Слика 5.36. Унутаргодишња расподјела мјесечних протицаја према симулацијама Budyko модела на сливу Вимера и DSST протоколу.

На сливу ријеке Камп, модели који немају модул снијега не успијевају симулирати довољно отицаја у априлу који очито настаје услед топљења снијегова. Генерално, сви модели лоше симулирају унутаргодишњу расподјелу иако се не би извео такав закључак посматрањем вриједности ϵ_{IAFD} које су изван задовољавајућих само у неколико трансфера.

Најбоље визуелно слагање IAFD се постиже са WASMOD-ом.



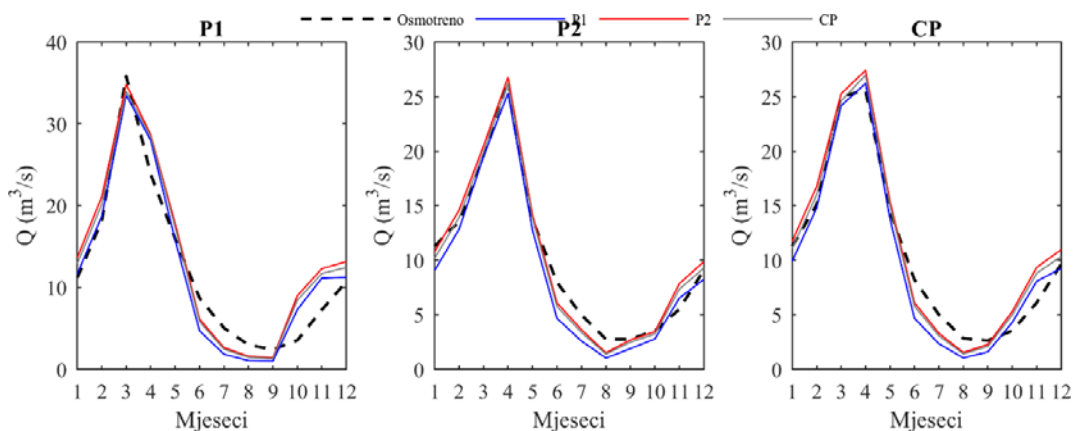
Слика 5.37. Унутаргодишња расподјела мјесечних протицаја према симулацијама WASMOD-а на сливу Камп и DSST протоколом.

На сливу Топлице, унутаргодишња расподјела је значајно боља у односу на слив Камп. Одлично слагање ове криве постиже WASMOD као и WatBal изузев трансфера P1/P2 и

P1/CP. Модели *abcd*, Budyko и GR2M имају сличне расподеле али конзистентно потцјењују прољећне велике воде. Ту је изузетак *abcd* који са сваким скупом параметара у периоду P1 има одлично слагање, без обзира што нема модул снијега. За слив Топлице, као и за Камп, је важан модул снијега у структури модела да би правилно представио унутаргодишњу расподелу у вријеме великих вода (март-април). Такође, сви модели без модула снијега прецјењују средње мјесечне протоке у јануару. У то вријеме падавине су углавном снијег који би требало да формира сњежни покривач а не отицај.

Вриједности ϵ_{IAFD} су најбоље код WASMODa затим за *abcd* те Budyko и WatBal који су подједнако добри у овом аспекту. Исти закључак се добија при субјективној оцјени након визуелног прегледа дијаграма унутаргодишње расподеле.

На слици 5.38 приказана је унутаргодишња расподела на сливу Топлица симулирана WASMOD-ом. Остали дијаграми унутаргодишње расподеле се дати у Прилогу XII.



Слика 5.38. Унутаргодишња расподела мјесечних протицаја према симулацијама WASMOD модела на сливу Топлице.

Веза падавине-отицај

Модели лоше репродукују везу падавине отицај на Вимера сливу углавном при трансферима са водног на сушни период и обратно. Поново је Budyko најуспјешнији и једини модел чије су симулације са CP скупом параметара успјешне по питању Q-P везе и у сушном и у водном периоду.

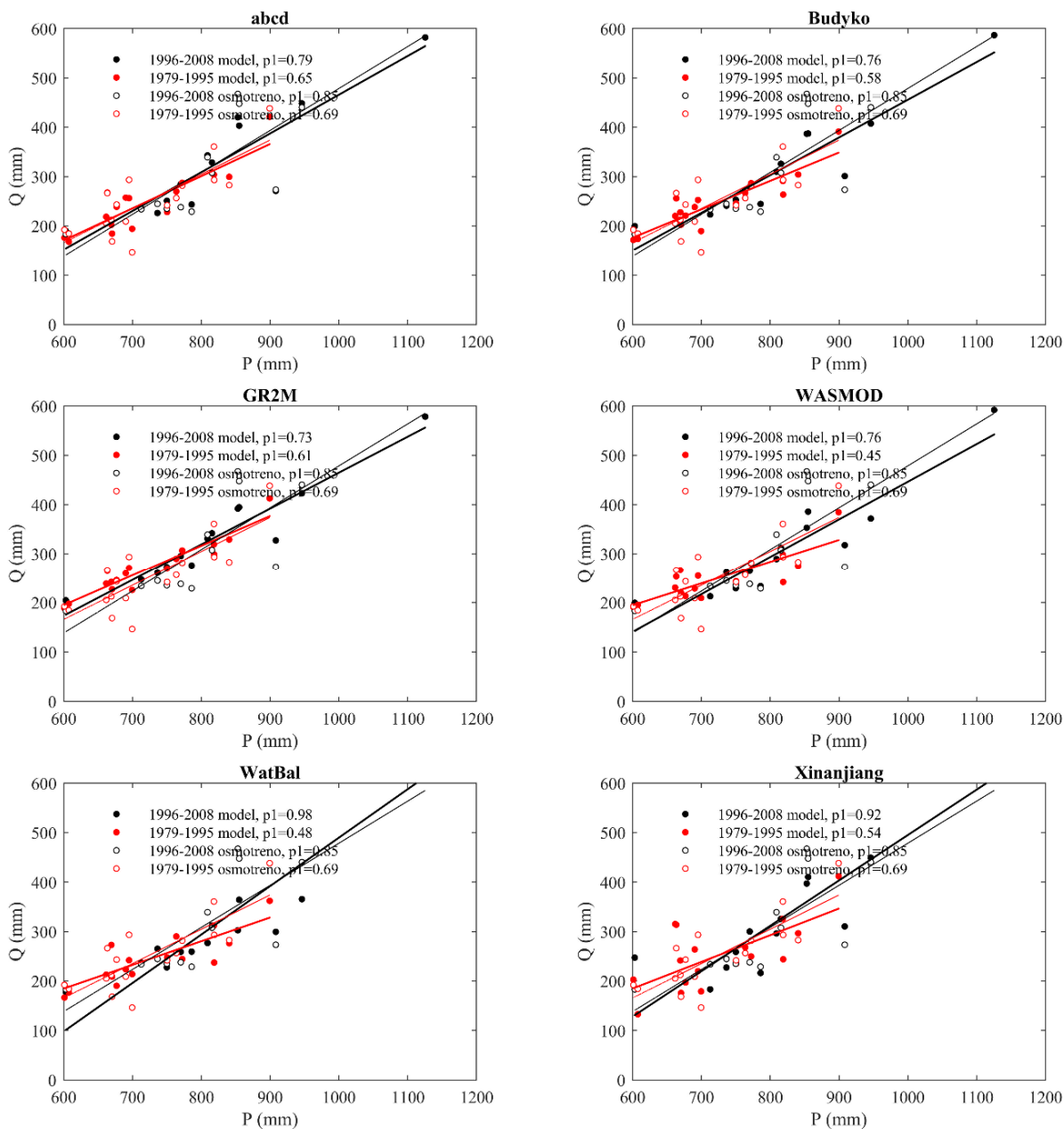
На сливу ријеке Камп су лошији резултати. Веома је мали број успјешних модела при репродуковању ове везе: *abcd* при калибрацији на сушном периоду и Xinanjiang при калибрацији на водном периоду и трансферу CP/P1. Интересантно је да Xinanjiang има већу успјешност у овом случају у односу на друге моделе који су по већини других критеријума бољи. Слика 5.39. приказује везу падавине-отицај на примјеу слива Камп, у симулацијама на комплетном периоду CP и оптималним скупом параметара из сушног периода. Остали карактеристични резултати су дати у Прилогу XII.

На сливу ријеке Топлице, модели такође не могу добро репродуковати везу падавине-отицај у оба периода, водном и сушном нити са једним скупом параметара. Изузетак чини WASMOD који је успјешан са сваким скупом параметара само у водном периоду. Послије WASMOD-а најбоље слагање се добија са Budyko моделом, затим *abcd*.

Табела 5.21. приказује успјешност модела у репродуковању ове везе. В означава водни, а С сушни период. Знак „+“ означава добру репродукцију Q-P везе, док „-“ лошу. Поново се закључује да су ови резултати најлошији на водним сливовима Камп и Топлица, иако су сви други бољи у односу на Вимеру.

Табела 5.21. Успјешност модела при репродукцији Q-P везе у DSST протоколу.

Вимера							
Модел	P1		P2		CP		Укупно успјешних
	B	C	B	C	B	C	
abcd	+	-	-	+	-	-	2
Budyko	+	-	-	+	+	+	4
GR2M	+	-	-	+	-	-	2
WASMOD	-	-	-	+	-	-	1
WatBal	-	-	-	+	-	-	1
Xinanjiang	+	-	-	-	+	-	2
Број успјешних симулација	4	0	0	5	2	1	12
Укупно	4		5		3		
Камп							
Модел	P1		P2		CP		Укупно успјешних
	B	C	B	C	B	C	
abcd	-	-	-	+	-	-	1
Budyko	-	-	-	-	-	-	0
GR2M	-	-	-	-	-	-	0
WASMOD	-	-	-	-	-	-	0
WatBal	-	-	-	-	-	-	0
Xinanjiang	+	-	-	-	+	-	2
Број успјешних симулација	1	0	0	1	1	0	3
Укупно	1		1		1		
Топлица							
Модел	P1		P2		CP		Укупно успјешних
	B	C	B	C	B	C	
abcd	-	-	-	-	-	-	0
Budyko	-	-	-	-	-	-	0
GR2M	-	-	-	-	-	-	0
WASMOD	+	-	+	-	+	-	3
WatBal	-	-	-	-	-	-	0
Xinanjiang	-	-	-	-	-	-	0
Број успјешних симулација	1	0	1	0	1	0	3
Укупно	1		1		1		



Слика 5.39. Веза падавине отицај према симулацијама модела на комплетном периоду и оптималним параметрима из сушног периода на сливу Камп и DSST протоколу.

5.2.6 Рангирање модела

Табела 5.22 приказује рангове за сваки слив и евалуациони критеријум. Према овој табели, најпогоднији модели су Budyko и GR2M за сливове Вимера и Камп. За слив ријеке Топлице Budyko модел даје лошије резултате, изузев у случају конзистентности компонентни водног биланса, док су најбољи модели *abcd* и WASMOD. Међутим, WASMOD је веома лош при симулацији потписа што се не смије занемарити. Модел Xinanjiang има најлошије резултате у симулацијама на сливу Топлице и више му одговара сушнији слив попут Вимере. Моделу WatBal не одговарају хидроклиматске карактеристике слива ријеке Камп, мада није нарочито добар ни на осталим сливовима.

Ипак, као и у претходном приступу, не може се тврдити да је један модел значајно успјешнији од осталих.

Табела 5.22. Рангирање модела у једнокритеријумској оптимизацији и DSST протоколу (1-најбољи, 6-најлошији).

Евалуациони критеријум		Статистички показатељи ефикасности					Субјективна процјена		Средњи ранг	
		Хидролошки потписи	Границе трансферабилности	Конзистенција у симулирању компоненти водног биланса	Конзистентност параметара модела	Рангиран као први	Рангиран као последњи			
Вимера	<i>abcd</i>	2	6	6	2	3	4	3.83	0	2
	Budyko	1	1	1	1	1	1	1.0	6	0
	GR2M	3	3	2	3	2	2	2.5	0	0
	WASMOD	5	4	5	5	4	6	4.83	0	2
	Watbal	6	4	4	5	5	5	4.83	0	2
	Xinanjiang	3	2	2	3	6	2	3.0	0	1
Камп	<i>abcd</i>	1	2	2	6	2	1	2.33	2	1
	Budyko	2	4	1	2	1	2	2.0	2	0
	GR2M	3	1	2	1	2	3	2.0	2	0
	WASMOD	4	5	4	5	6	3	4.5	0	1
	Watbal	6	6	6	4	4	6	5.33	0	4
	Xinanjiang	5	3	5	3	5	5	4.33	0	0
Топлица	<i>abcd</i>	3	2	2	4	2	2	2.5	0	0
	Budyko	5	5	4	2	4	3	3.83	0	0
	GR2M	1	3	6	1	1	4	2.67	3	1
	WASMOD	1	6	1	3	3	1	2.5	3	1
	Watbal	4	1	3	5	6	5	4.0	1	2
	Xinanjiang	6	4	5	5	5	6	5.17	0	3

5.2.7 Регресиона анализа компоненти водног биланса и резидуала модела

Регресионом анализом компоненти водног биланса и резидуала модела добија се да је најбољи регресиони модел за све компоненте полином другог реда. Ваљаност регресионог модела је провјерена преко коефицијента корелације односно квадрат Пирсоновог коефицијента корелације.

Из спроведене анализе учача се да нема значајне корелације између компоненти и резидуала при калибрацији на оба периода (сушни и водни) на свим анализираним сливовима, што се може приписати мањим грешкама модела у калибрационим

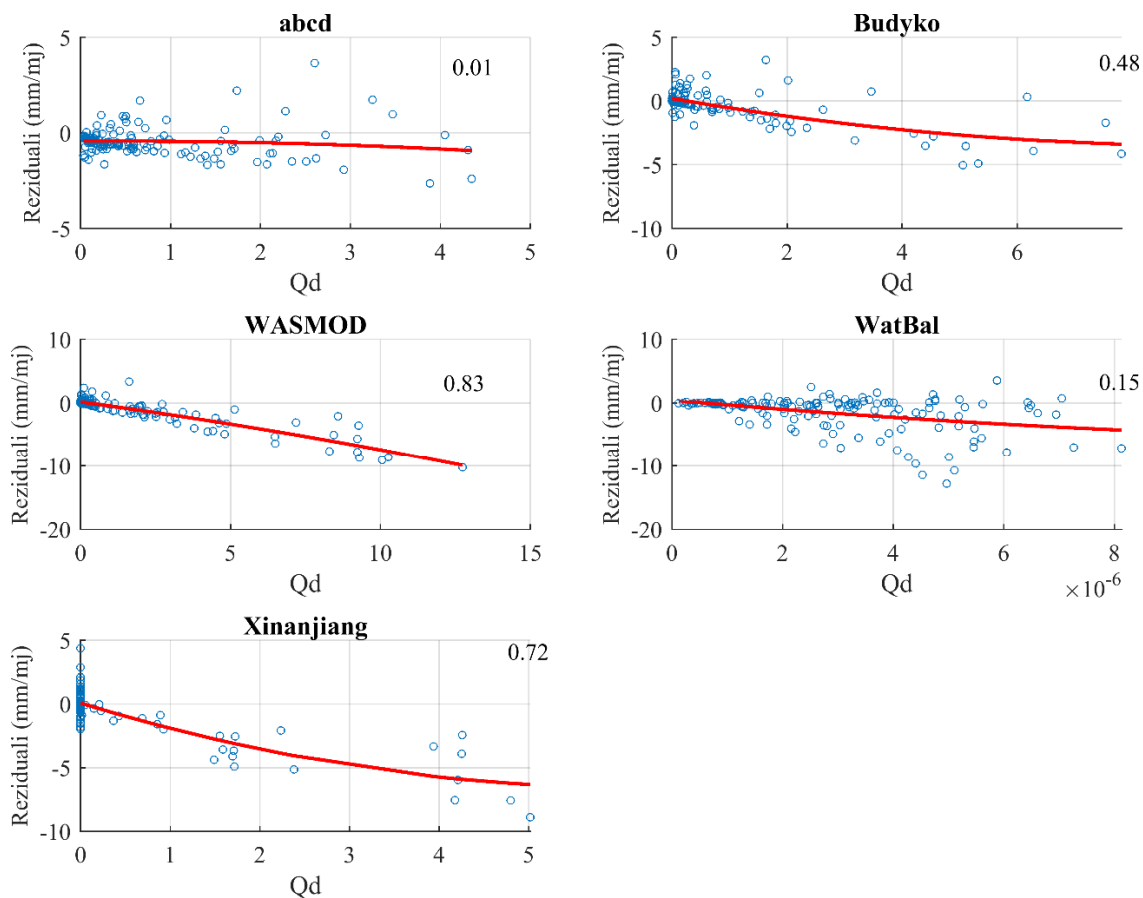
периодима. Поједине компоненте су корелисане са резидуалима приликом валидације, што варира од модела до модела али зависи и од слива.

На сливу Вимере постоји корелација између допуне подземља (*abcd* и Xinanjiang), директног отицаја (*abcd*, WASMOD и Xinanjiang), влажности тла (WASMOD и WatBal) и запремине подземних вода (само GR2M). Већина је уочена само при трансферу на сушни период, док је при трансферу на водни корелација примјећена само код *abcd* модела. Једино Budyko модел нема изражену везу компоненти и резидуала. У свим случајевима, веће вриједности компоненте изазивају повећане грешке модела. Нпр. веће вриједности директног отицаја код модела *abcd*, WASMOD и Xinanjiang систематично дају прецијењене вриједности отицаја при трансферу. Слично је са моделима код којих је уочена корелација са влажношћу тла и допуном подземља, гдје повећане вриједности дају повећане отицаје у односу на осмотрене. Ово је очито посљедица трансфера параметра везаног за компоненту а који не одговара карактеристикама периода трансфера (трансфер са сушног на водни период).

У табели 5.23 приказане су вриједности коефицијента корелације између симулираних компоненти водног биланса и грешака модела. Сиве ћелије су значајне корелације са коефицијентом већим од 0.7.

Табела 5.23. Вриједности коефицијента корелације између симулираних компоненти водног биланса и резидуала на примјеру слива Вимера.

Калиб./ валид.	P1							P2/P1						
	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q
<i>abcd</i>	0.03	0.02	0.06	0.14	0.06	0.14	0.14	0.05	0.13	0.08	0.72	0.08	0.72	0.72
Budyko	0.02	0.03	0.03	0.03	0.05	0.06	0.06	0	0.03	0.03	0.05	0.09	0.05	0
GR2M	0.03	0.02	0.06	n/a	n/a	n/a	0.03	0.15	0.19	0.55	n/a	n/a	n/a	0.54
WASMOD	0.18	0.1	n/a	n/a	0.04	0.07	0.07	0.13	0.49	n/a	n/a	0.3	0.56	0.56
WatBal	0.08	0.11	n/a	n/a	0.06	0.08	0.11	0.05	0.11	n/a	n/a	0.08	0.38	0.28
Хај	0.02	0	n/a	0.07	0.05	0.06	0.06	0.08	0.02	n/a	0.11	0.11	0.1	0.11
Калиб./ валид.	P2							P1/P2						
	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q
<i>abcd</i>	0.07	0	0.02	0.18	0.02	0.18	0.17	0.12	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02
Budyko	0	0.09	0.06	0.06	0.07	0.11	0.12	0.04	0.39	0.32	0.33	0.04	0.48	0.47
GR2M	0.02	0.04	0.07	n/a	n/a	n/a	0.07	0.32	0.34	0.88	n/a	n/a	n/a	0.88
WASMOD	0.1	0.14	n/a	n/a	0	0.08	0.08	0.08	0.78	n/a	n/a	0.47	0.83	0.83
WatBal	0.29	0.28	n/a	n/a	0.37	0.09	0.23	0.42	0.77	n/a	n/a	0.59	0.15	0.91
Хај	0.16	0.16	n/a	0.25	0.06	0.18	0.09	0.20	0.12	n/a	0.73	0.66	0.72	0.73



Слика 5.40. Зависност резидуала и директног отицаја у трансферу са водног на сушни период на сливу Вимера.

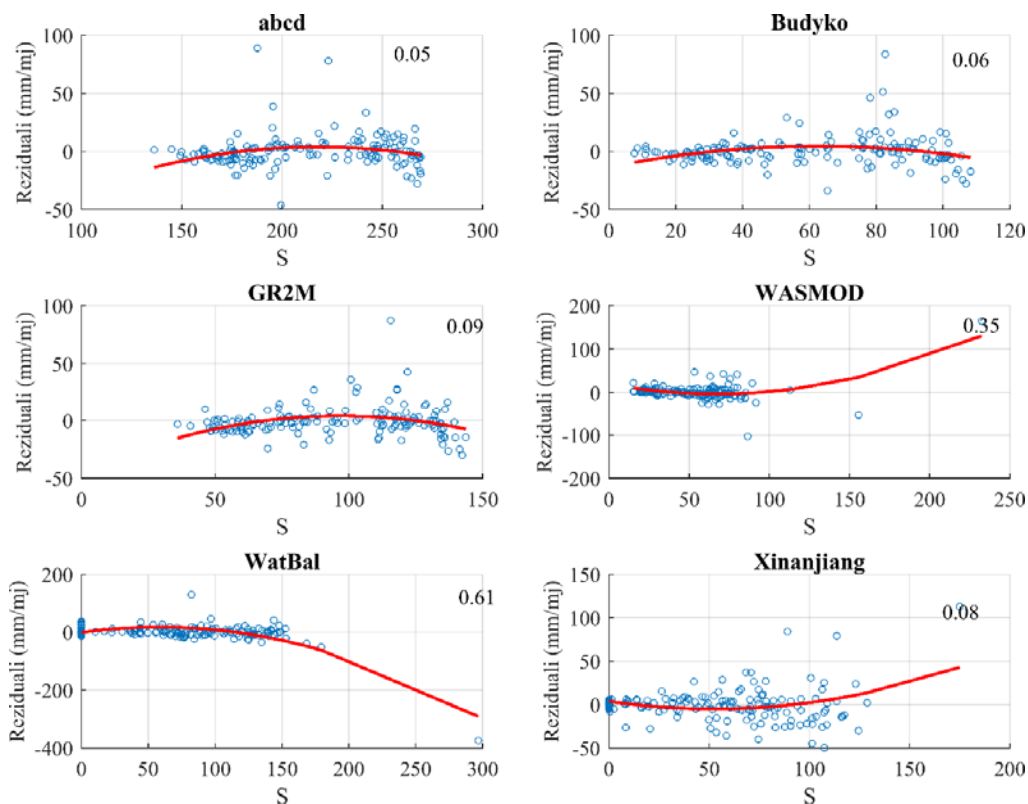
На сливу ријеке Камп, једино су компоненте WatBal модела, и то влажност тла и базни отицај, корелисане са резидуалима у трансферу на водни период. Слично као на сливу Вимера, повећане вриједности ових компоненти дају повећане грешке (прецјењивања) моделираних отицаја, што је нарочито изражено код базног отицаја. У калибрацији на сушном периоду вриједности базног отицаја су доста мале, међутим у валидацији на водном периоду постају неколико пута веће, вјероватно као посљедица повећаних падавина.

Резултати на сливу Топлице упућују да је само код Xinanjiang модела изражена веза између базног отицаја и резидуала са не тако великом вриједношћу коефицијента корелације (0.54) и то при трансферу на сушни период. Ово има смисла обзиром да је на водном периоду параметар базног отицаја калибрисан да постигне повећане базне отицаје којих нема у сушном периоду, што систематично повећава грешку модела.

Сви добијени коефицијенти корелације су дати у табелама 5.23 до 5.25.

Табела 5.24. Вриједности коефицијента корелације између симулираних компоненти водног биланса и резидуала на сливу Камп.

Калиб./ валид.	P1							P2/P1						
	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q
<i>abcd</i>	0.08	0.04	0.01	0.07	0.01	0.07	0.07	0.02	0.05	0.3	0.27	0.3	n/a	0.3
Budyko	0.06	0.03	0.01	0.01	0.12	0.17	0.07	0.01	0.06	0.1	0.1	0.01	0.11	0.12
GR2M	0.16	0.15	0.04	n/a	n/a	n/a	0.04	0.07	0.09	0.03	n/a	n/a	n/a	0.04
WASMOD	0.1	0.02	n/a	n/a	0.07	0.32	0.32	0.09	0.35	n/a	n/a	0.18	0.08	0.1
WatBal	0.3	0.1	n/a	n/a	0.08	0.27	0.42	0.06	0.61	n/a	n/a	0.76	0.1	0.72
Хај	0.27	0.03	n/a	0.15	0.04	0.23	0.17	0.25	0.08	n/a	0.04	0.12	0.25	0.09
Калиб./ валид.	P2							P1/P2						
	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q
<i>abcd</i>	0.17	0.03	0.12	0.11	0.12	n/a	0.12	0.14	0.01	0.06	0.18	0.06	0.18	0.18
Budyko	0.08	0.06	0.04	0.04	0.08	0.04	0.04	0.15	0.02	0.05	0.05	0.13	0.4	0.19
GR2M	0.21	0.05	0.07	n/a	n/a	n/a	0.06	0.27	0.14	0.18	n/a	n/a	n/a	0.16
WASMOD	0	0.08	n/a	n/a	0.08	0.12	0.12	0.11	0.01	n/a	n/a	0.03	0.36	0.36
WatBal	0.17	0.04	n/a	n/a	0.03	0.11	0.17	0.38	0.1	n/a	n/a	0.05	0.27	0.4
Хај	0.19	0.01	n/a	0.19	0.16	0.1	0.17	0.38	0.18	n/a	0.32	0.01	0.46	0.33



Слика 5.41. Зависност резидуала и влажности тла у трансферу са сушног на водни период на сливу Камп.

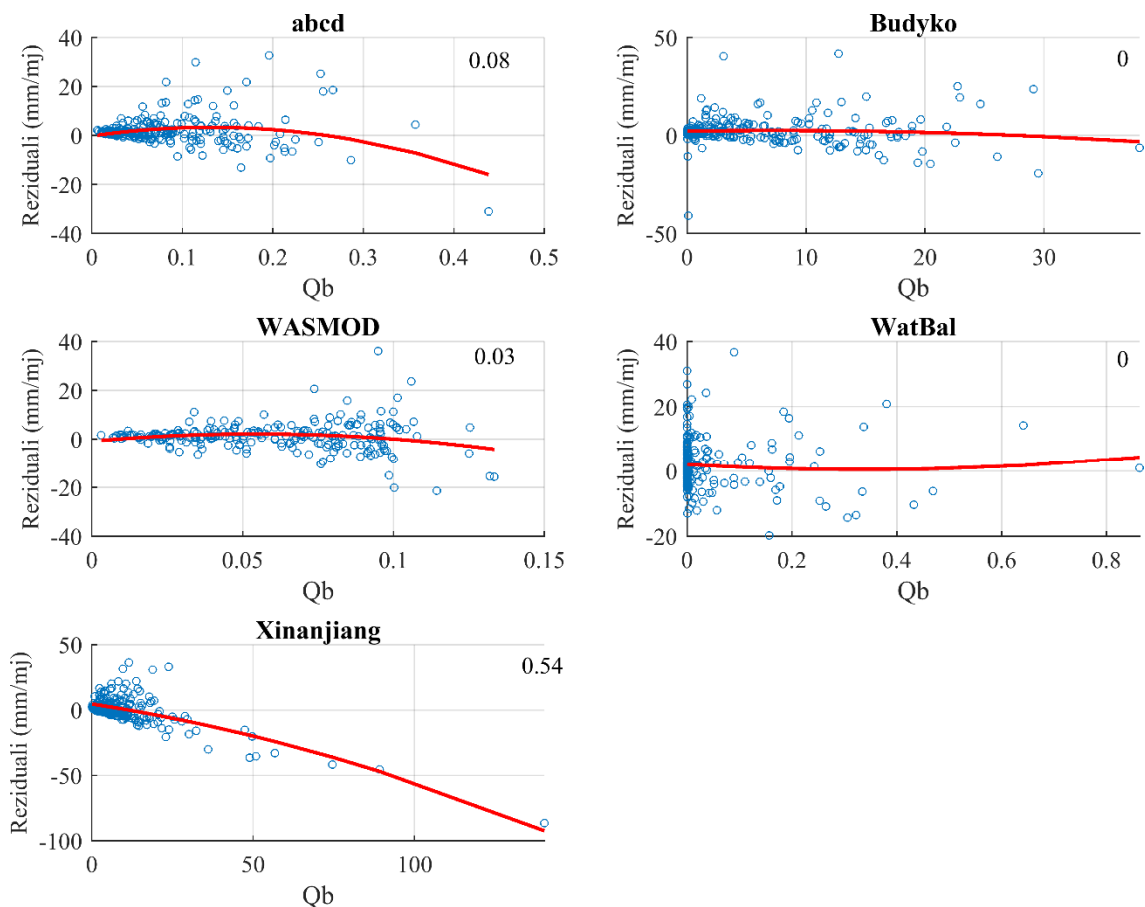
Највише корелација између компоненти и резидуала је успостављено на Вимера сливу, што може да се повеже са чињеницом да је управо на овом сливу конзистентност компоненти најмања али су и грешке модела највеће.

У валидацији, симулиране вриједности појединих компоненти (S , Q_b за Камп и Топлицу, плус G и Q_d за Вимеру) вјероватно утичу на величину грешке модела. Ово су исте компоненте које су неконзистентне у симулацијама са оптималним параметрима из различитих калибрационих периода. Исто тако, Вудуко има конзистентне компоненте и једини је модел чије компоненте нису корелисане са грешкама модела. Међутим, наведене компоненте водног биланса су биле осјетљиве на калибрациони период у скоро свим осталим моделима док корелације нису пронађене за све моделе.

Из наведеног, не може да се закључи да постоји систематска корелација између поједине компоненте и грешака модела а да се константно понавља за исти модел и различите сливове. Да је корелација конзистентна, то би био доказ да је управо та једна компонента одговорна за грешке модела. Веза постоји али није јасно дефинисана. Вишеструка регресиона анализа са више везаних компоненти (нпр. R , G , Q_b или S , R , G) би можда показала другачије резултате, обзиром да компоненте дјелују у међусобној спрези унутар модела и да би могли тако утицати и на резидуале.

Табела 5.25. Вриједности коефицијента корелације између симулираних компоненти водног биланса и резидуала на сливу Топлица.

Калиб./ валид.	P1							P2/P1						
	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q
abcd	0.07	0.07	0.05	0.08	0.05	0.08	0.08	0.09	0.2	0.11	0.2	0.11	0.2	0.2
Budyko	0.05	0.09	0.04	0.04	0.04	0.11	0.06	0.04	0.11	0.07	0.07	0.05	0.14	0.1
GR2M	0.11	0.04	0.01	n/a	n/a	n/a	0.01	0.1	0.11	0.06	n/a	n/a	n/a	0.06
WASMOD	0	0.08	n/a	n/a	0.01	0.11	0.11	0	0.12	n/a	n/a	0.02	0.18	0.18
WatBal	0.05	0.08	n/a	n/a	0.01	0.05	0.11	0.11	0.17	n/a	n/a	0.05	0.02	0.19
Хај	0.07	0.01	n/a	0.18	0.13	0.07	0.13	0.27	0.15	n/a	0.38	0.2	0.26	0.27
Калиб./ валид.	P2							P1/P2						
	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q	ET	S	G	R	Qb	Qd	Q
abcd	0.12	0.03	0.06	0.16	0.06	0.16	0.16	0.1	0.03	0.08	0.15	0.08	0.15	0.15
Budyko	0.04	0.1	0.05	0.05	0.02	0.18	0.15	0.05	0.1	0.06	0.07	0	0.18	0.14
GR2M	0.09	0.1	0.03	n/a	n/a	n/a	0.09	0.09	0.08	0.01	n/a	n/a	n/a	0.07
WASMOD	0.01	0.05	n/a	n/a	0.01	0.07	0.07	0	0.02	n/a	n/a	0.03	0.05	0.05
WatBal	0.21	0.08	n/a	n/a	0.04	0.04	0.11	0.08	0	n/a	n/a	0	0.02	0.02
Хај	0.14	0.01	n/a	0.17	0.13	0.06	0.13	0.03	0.03	n/a	0.37	0.54	0.1	0.54



Слика 5.42. Зависност резидуала и базног отицаја у трансферу са сушног на водни период на сливу Топлица.

5.3 Евалуација модела Тиреловим протоколом за вишекритеријумску оптимизацију

У овом поглављу приказани су резултати анализа евалуације модела оптимизованих са више циљних функција. У прелиминарној анализи, као што је наведено у поглављу 3.4.2, најпоузданији модел према резултатима једнокритеријумске оптимизације је калибрисан са комбинацијама од двије циљне функције из реда статистичких показатеља. Прегледом резултата, из ових комбинација искључене су оне са лошијим вриједностима показатеља ефикасности. Преостале 2-критеријумске комбинације су проширене са трећом циљном функцијом из реда хидролошких потписа, и то оних који се покажу значајни у смислу побољшавања резултата модела. Због обимности резултата, нису приказани резултати комбинација са свим анализираним потписима, већ само са хидролошким потписом који значајно утиче на побољшање ефикасности.

Одабран је Budyko модел као најпоузданији према свим резултатима једнокритеријумске оптимизације. Калибрација и евалуација је примијењена на Вимера сливу и приступу моделирања са Тиреловим протколом, јер су ту резултати једнокритеријумске оптимизације били најнеповољнији.

5.3.1 Прелиминарна анализа комбинација са двије циљне функције из реда статистичких показатеља

Циљ ове прелиминарне анализе је да покаже које комбинације пружају најпоузданије резултате да би се касније укључиле у коначну анализу и комбиновале са хидролошким потписима.

Ефикасност у периоду калибрације и валидације је оцијењена преко KGE од статистичких показатеља и ϵ_{IAFD} и ϵ_{STD} из реда хидролошких потписа. У периоду калибрације, само комбинације са коефицијентима корелације (Пирсонов и Спирманов) немају задовољавајуће вриједности KGE ни у једном периоду као и комбинација са MSE у P5 периоду. Комбинације d , f и g дају највеће грешке ϵ_{IAFD} у свим калибрационим периодима а за f и g највећу грешку ϵ_{STD} .

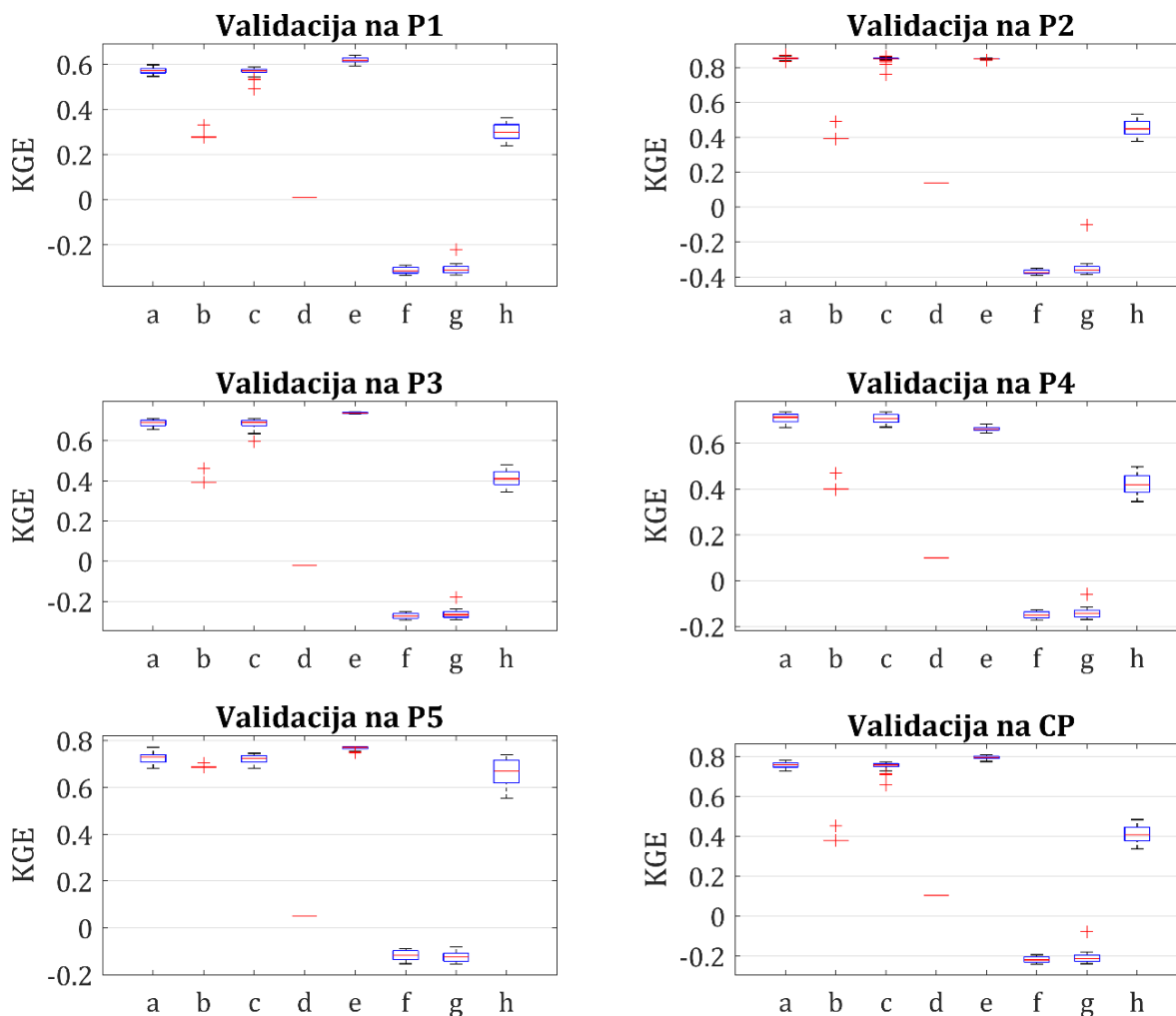
Према KGE, модел је трансферабилан у трансферу CP/P5 ако је калибрисан комбинацијом MSE+BIAS, и у трансферу P2/P5 ако је калибрисан комбинацијом RSR+WBE. У осталим трансферима на сушни период, модел није трансферабилан али најбоље резултате дају комбинације KGE_{nr}+WBE за трансфер P3/P5 и IoA+BIAS за P4/P5. У трансферу P1/P5 све комбинације су лоше. Слика 5.43. приказује KGE вриједности добијене са оптималним параметрима из периода P1 у калибрацији модела на осам одабраних дво-критеријумских комбинација.

Грешка потписа ϵ_{IAFD} је задовољавајућа у неколико трансфера, углавном на водни P1 и мјешовите P2, P4 и CP. Резултати су нешто бољи за ϵ_{STD} у односу на ϵ_{IAFD} , па је модел трансферабилан са свим комбинацијама (осим наведених d , f и g) осим на сушни период P5.

Модел има задовољавајућу KGE у трансферу са сушног периода P5 на све остале само за комбинације NSE+BIAS, RSR+WBE и IoA+BIAS. Према ϵ_{IAFD} резултати су нешто другачији. Тако нпр. модел није трансферабилан на P1 и P3 уопште док на остале периоде јесте, уколико је калибрисан са неком од NSE+BIAS, RSR+WBE или IoA+BIAS комбинација. Према ϵ_{STD} , са истим овим комбинацијама ЦФ-ја модел је трансферабилан са сушног P5 периода на периоде P2, P3, P4 и CP док је трансфер P5/P1 задовољавајући само са комбинацијом IoA+BIAS.

Према овим прелиминарним резултатима, показује се да коефицијенти корелације нису добри за калибрацију јер иако се том приликом остварују високе вриједности корелације моделираних и осмотрених протицаја (изнад 0.9 или 0.95), остали показатељи су веома лоши. С друге стране, волуметријске ЦФ-је самостално не могу остварити добре резултате калибрације односно потребна им је динамичка компонента (нпр. запремина хидрограма може бити иста али облик хидрограма веома различит).

Надаље, резултати са комбинацијом MSE+BIAS су доста лошији од осталих те ова комбинација може да се одбаци. Комбинације KGE_{nr}+WBE и NSE_{sqrt}+WBE (прва мало боља од друге) дају доста сличне резултате и углавном лошије од горе наведене три најбоље. На овај начин, одабране су три задовољавајуће комбинације, NSE+BIAS, RSR+WBE и IoA+BIAS, те су даље комбинације са хидролошким потписима рађене са њима.



Слика 5.43. Вриједности KGE у трансферу са P1 скупом параметара на остале периоде за различите комбинације двије ЦФ-је из реда статистичких показатеља.

5.3.2 Анализа комбинација са три циљне функције

У комбинацијама са три циљне функције, трећа ЦФ на претходно одабране комбинације се додаје из реда хидролошких потписа. У анализи са различитим потписима (није приказана у овом докторату), само ϵ_{IAFD} утиче на побољшање резултата у односу на дво-критеријумску. Остали анализирани потписи (аутокорелација, коефицијент асиметрије, коефицијент варијације, перцентили и ϵ_{D20}) немају значајног утицаја у смислу побољшања трансферабилности (обично супротно, резултати су лошији) изузев чињенице да тај потпис постаје информативан по питању трансферабилности и са мањим грешкама иако раније (нпр. у једнокритеријумској калибрацији) то није био случај.

Табела 5.26 приказује ознаке и коначан одабир комбинација за више-критеријумску оптимизацију гдје су ЦФ-је комбинација статистичких показатеља и хидролошких потписа.

Табела 5.26. Усвојене комбинације циљних функција за вишекритеријумску оптимизацију.

Ознака комбинације	Циљне функције
1	NSE+BIAS
2	NSE+BIAS+IAFD
3	RSR+WBE
4	RSR+WBE+IAFD
5	IoA+BIAS
6	IoA+BIAS+IAFD

5.3.3 Ефикасност модела у калибрационом периоду

Вриједности KGE у периодима калибрације су веома задовољавајуће и генерално веће него вриједности добијене у једнокритеријумској калибрацији. Табела 5.27 приказује минималне, максималне и вриједности медијане KGE за све калибрационе комбинације. Најнижа вриједност је 0.68 а највиша чак 0.95 коју модел постиже у водном периоду P1.

Табела 5.27. Преглед минималних, максималних и вриједности медијане KGE за све вишекритеријумске комбинације.

Период	NSE+BIAS			NSE+BIAS+IAFD		
	KGE min	KGE sr	KGE max	KGE min	KGE sr	KGE max
P1	0.91	0.93	0.93	0.92	0.94	0.95
P2	0.92	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93
P3	0.71	0.72	0.72	0.71	0.72	0.74
P4	0.77	0.78	0.79	0.75	0.78	0.8
P5	0.68	0.73	0.77	0.68	0.73	0.78
CP	0.83	0.84	0.84	0.79	0.83	0.85
Период	RSR+WBE			RSR+WBE+IAFD		
	KGE min	KGE sr	KGE max	KGE min	KGE sr	KGE max
P1	0.92	0.93	0.93	0.92	0.93	0.95
P2	0.91	0.92	0.92	0.92	0.93	0.93
P3	0.71	0.72	0.74	0.69	0.72	0.73
P4	0.77	0.78	0.78	0.74	0.78	0.81
P5	0.68	0.72	0.75	0.68	0.73	0.77
CP	0.83	0.84	0.85	0.76	0.83	0.84
Период	IoA+BIAS			IoA+BIAS+IAFD		
	KGE min	KGE sr	KGE max	KGE min	KGE sr	KGE max
P1	0.83	0.88	0.92	0.83	0.9	0.95
P2	0.88	0.91	0.92	0.88	0.91	0.93
P3	0.72	0.73	0.74	0.71	0.73	0.74
P4	0.76	0.77	0.78	0.72	0.77	0.8
P5	0.75	0.77	0.77	0.71	0.76	0.78
CP	0.86	0.86	0.87	0.79	0.86	0.87

Према хидролошким потписима, резултати су нешто другачији. Очекивано, ϵ_{IAFD} је у калибрацији задовољавајућа ако је модел калибрисан у комбинацији са овим потписом (Табела 5.28). Посљедишно, комбинације са ϵ_{IAFD} дају лошије вриједности $\epsilon_{Q_{med}}$ док су остали потписи који су били лоше репродуковани при једно-критеријумској калибрацији и даље лоши. Побољшање се види једино код ϵ_{D20} који је са прве 4 комбинације задовољавајући односно грешка не прелази 15%.

Табела 5.28. Вриједности медијане ϵ_{IAFD} у калибрацији са свим вишекритеријумским комбинацијама.

Период	NSE+BIAS	NSE+BIAS+IAFD	RSR+WBE
P1	0.15	0.14	0.15
P2	0.08	0.06	0.08
P3	0.24	0.24	0.24
P4	0.26	0.17	0.26
P5	0.16	0.15	0.16
CP	0.11	0.1	0.11
	RSR+WBE+IAFD	IoA+BIAS	IoA+BIAS+IAFD
P1	0.14	0.19	0.16
P2	0.06	0.12	0.1
P3	0.24	0.24	0.23
P4	0.18	0.19	0.16
P5	0.15	0.24	0.18
CP	0.1	0.12	0.1

5.3.4 Конзистентност ефикасности модела и поређење калибрационих комбинација циљних функција

Статистички показатељи и хидролошки потписи

У крос-валидацији Вудуко модел не остварује значајно боље резултате са вишекритеријумским комбинацијама. И даље су сви трансфери на сушни P5 период неуспјешни док су остали трансфери једнако успјешни или успјешнији у односу на једнокритеријумску оптимизацију за максимално 15%.

Успјешност трансфера различитих комбинација циљних функција је поприлично изједначена. Укупно гледајући, мало већу успјешност (а ради се о неколико процената) имају комбинације NSE+BIAS и RSR+WBE док према статистичким показатељима, комбинација IoA+BIAS+IAFD је успјешнија за 1-2% у односу на остале.

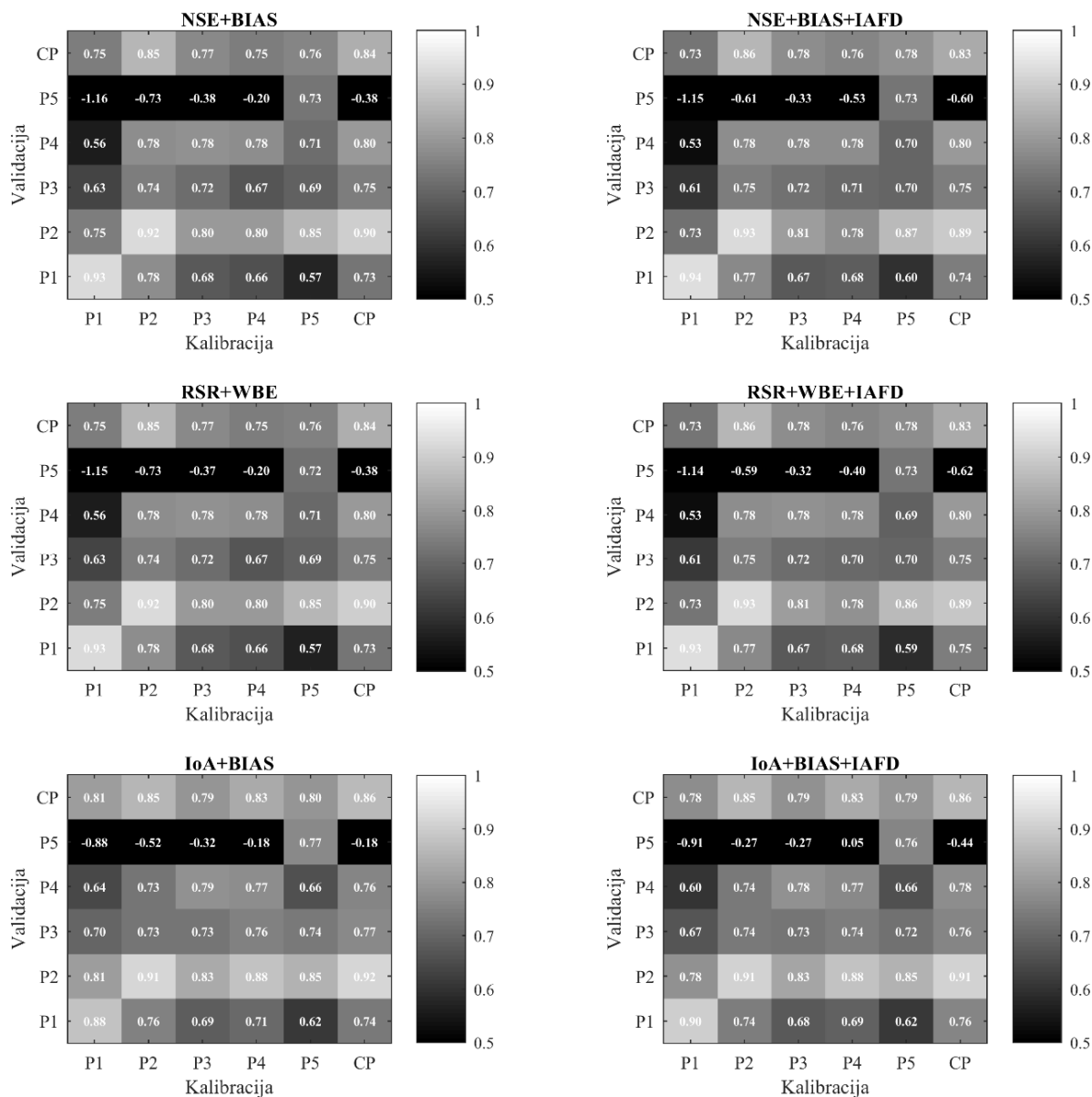
Табела 5.29 приказује проценте успјешних трансфера за све комбинације срачунате на основу медијане показатеља ефикасности срачунатих из симулација са Парето-оптималним параметрима. Средња вриједност најбољих резултата приказана у табели представља максималне/минималне вриједности показатеља и потписа односно њихове најбоље вриједности са Парето фронта (нпр. макс. KGE, мин. ϵ_{IAFD} и сл.). Уочава се да је успјешност модела боља, нарочито према грешкама хидролошких потписа, али и даље модел није трансферабилан на сушни период по питању статистичких показатеља, док је према потписима трансферабилан максимално 37% (са комбинацијама RSR+WBE+IAFD и IoA+BIAS+IAFD). Ово су уједно комбинације које су генерално најбоље, ако се узму у разматрање најбоља рјешења са Парето фронта.

Табела 5.29. Процент успјешних трансфера према медијанама статистичких показатеља и потписа на сливу Вимере за шест одабраних комбинација ЦФ-ја.

Трансфер	В-В	В-М	В-С	М-В	М-М	М-С	С-В	С-М
Број трансфера	2	6	2	6	6	3	2	3
Комбинација	Статистички показатељи							
NSE+BIAS	75	92	0	92	100	0	75	92
NSE+BIAS+IAFD	75	88	0	100	100	0	75	83
RSR+WBE	75	92	0	92	100	0	75	92
RSR+WBE+IAFD	75	88	0	96	100	0	75	83
IoA+BIAS	75	100	0	88	100	0	75	83
IoA+BIAS+IAFD	75	100	0	92	100	0	75	83
Ср.вриједност	75	93	0	93	100	0	75	86
Ср. вриједност најбољих резултата	81	98	0	99	100	0	79	96
Вриједн. из 1-крит.	63	83	0	96	100	0	75	83
Комбинација	Хидролошки потписи							
NSE+BIAS	61	57	22	70	65	15	61	70
NSE+BIAS+IAFD	61	46	22	69	70	19	61	63
RSR+WBE	61	57	22	70	65	15	61	67
RSR+WBE+IAFD	61	44	28	69	72	19	61	63
IoA+BIAS	67	52	22	57	52	33	44	59
IoA+BIAS+IAFD	61	52	22	56	56	37	50	56
Ср.вриједност	62	52	23	65	63	23	56	63
Ср. вриједност најбољих резултата	69	64	37	77	75	33	72	83
Вриједн. из 1-крит.	50	49	29	69	63	26	68	60

Дијаграми медијане мјера ефикасности по свом обрасцу су веома слични дијаграмима за Вудуко модел у једнокритеријумској оптимизацији. Слика 5.44 приказује медијане вриједности KGE са све калибрационе комбинације. Образац је готово потпуно исти као код једнокритеријумске оптимизације, само су бројне вриједности различите. Према KGE, комбинација IoA+BIAS+IAFD даје најбоље резултате. Такође, примјетне су значајно веће вриједности KGE при трансферу на сушни период у односу на резултате ПМ1. Међутим, ово није толико значајно, обзиром да и даље трансфер није успјешан односно и даље је $KGE < 0.5$.

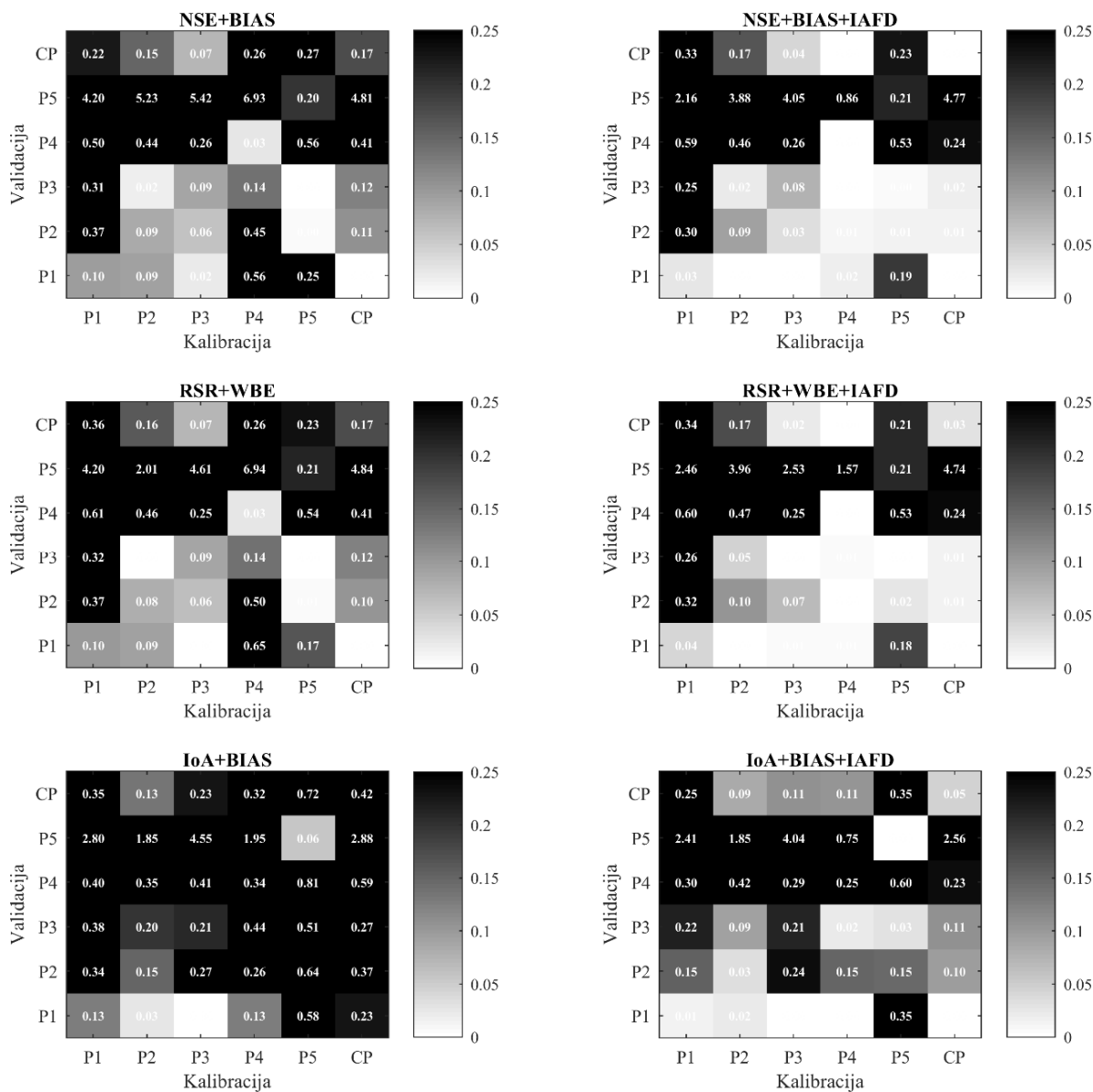
Од потписа, значајније су побољшани само ϵ_{D20} и $\epsilon_{Q_{med}}$. Такође, не примјећују се бољи резултати неке од комбинација у односу на остале.



Слика 5.44. Вриједности медијане вриједности KGE са Парето фронта.

С друге стране, дијаграми са најбољим рјешењима са Парето фронта показују веће ефикасности модела у односу на резултате ПМ1. Упоредивањем дијаграма медијане и најбољих рјешења закључује се да су неки потписи значајно бољи (нпр. аутокорелација, ϵ_{D20} нарочито за комбинацију RSR+WBE+ ϵ IAFD, ϵ_{Qmed} нарочито за комбинацију број 2 и 4, ϵ IAFD – не много значајно по питању трансфера али значајно у односу на ПМ1, ϵ_{Q20} нарочито за комбинацију RSR+WBE+IAFD, ϵ_{Q80} за све комбинације са IAFD, ϵ_{Q95} за све комбинације). Ефикасност мјерена са статистичким показатељима није много промијењена по питању трансферабилности као потписи али су вриједности ближе идеалној.

Слика 5.45 приказује најбоље вриједности са Парето фронта за потпис ϵ_{Qmed} и све комбинације. Уочљиви су бољи резултати са комбинацијама NSE+BIAS+IAFD и RSR+WBE+IAFD. Вриједности мјера ефикасности и грешака хидролошких потписа су приказане у Прилогу XIII.



Слика 5.45. Вриједности ϵ_{Qmed} на сливу Вимера са најбољим резултатима са Парето фронта.

Границе трансферабилности

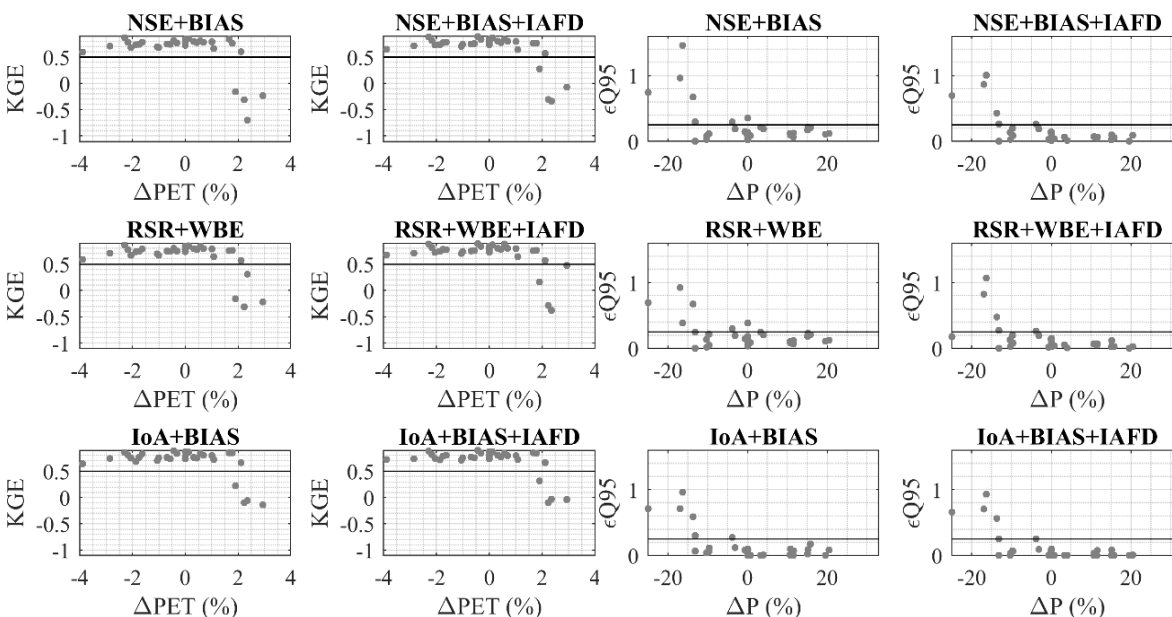
Дијаграми промјене ефикасности модела у односу на промјену количине падавина и РЕТ у односу на калибрациони период показују сличан образац као код једнокритеријумске оптимизације. За већину потписа распоред парова тачака ефикасност-промјена је хаотичан и без видљивог обрасца те је модел према њима или потпуно трансферабилан или није трансферабилан уопште (укључујући лоше резултате и у калибрационом периоду). Статистички показатељи као и потписи ϵ_{Q95} , ϵ_{STD} , ϵ_{IAFD} и ϵ_{Qmed} показују сличан образац наглог пада ефикасности модела у периодима када има мање падавина (више РЕТ) у односу на калибрациони период. При томе, за мјере ефикасности ϵ_{IAFD} и ϵ_{Qmed} модел није трансферабилан ни према једној калибрационој комбинацији.

Према статистичким показатељима, Видуко модел је у потпуности трансферабилан на водније периоде али не на сувље. Ако у периоду симулације има мање од око 15% падавина односно више од 2% РЕТ у односу на калибрациони период (слика 5.46, лијево),

модел није трансферабилан. Ово важи за све калибрационе комбинације. Према RSR показатељу, претходно важи само за посљедње двије комбинације, IoA+BIAS и IoA+BIAS+IAFD, али не и за остале.

Према релевантним хидролошким потписима (који показују горе наведени образац), претходни закључак о трансферабилности у случају ϵ_{Q95} важи само за комбинације које укључују IAFD (слика 5.46. десно) док у случају ϵ_{STD} важи у попуности исти закључак као и за статистичке показатеље. Такође, према ϵ_{D20} модел је трансферабилан на водније периоде при калибрацији са комбинацијама у које је укључен ϵ IAFD што не вриједи за остале комбинације.

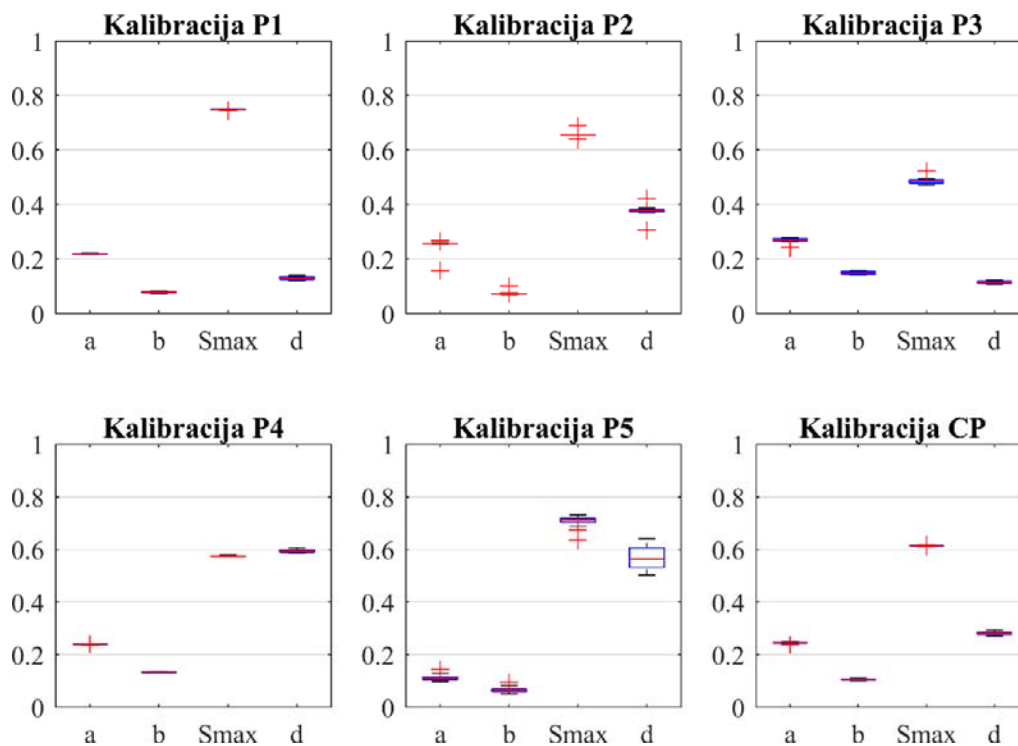
Дијаграми зависности појединих ефикасности од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони су дате у Прилогу XIII.



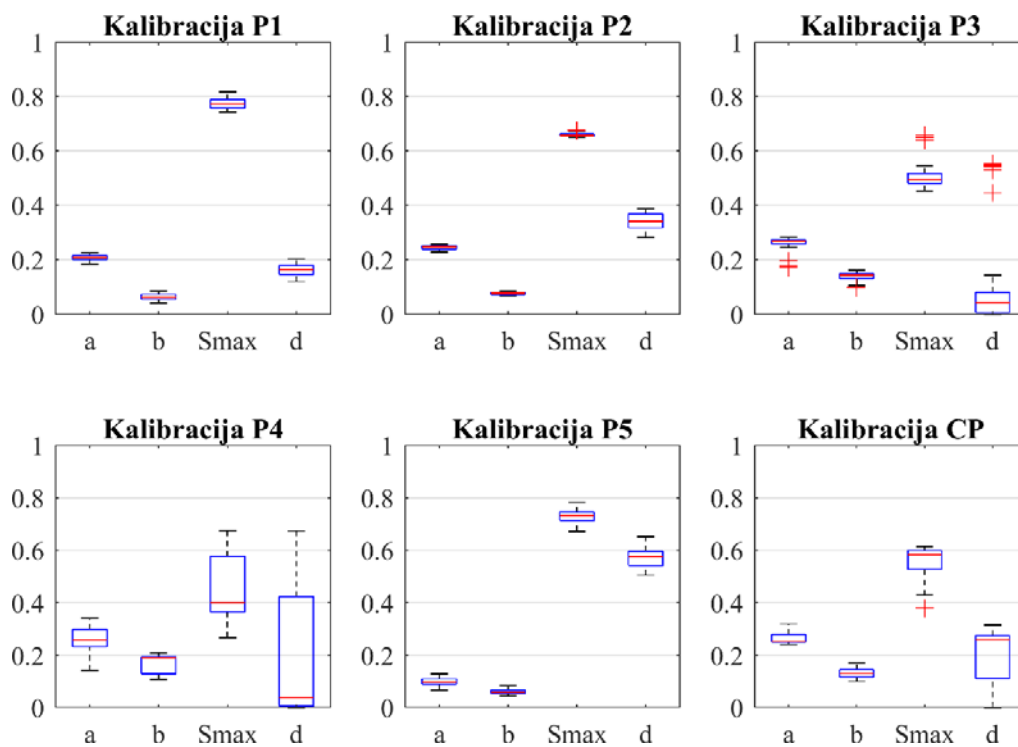
Слика 5.46. Границе трансферабилности за показатеље KGE (лијево) и ϵ_{Q95} (десно) у вишекритеријумској оптимизацији.

5.3.5 Конзистентност Парето-оптималних параметара

При калибрацији, вриједности Парето-оптималних параметара унутар једног калибрационог периода су веома стабилне. IC за оптималне параметре је углавном изнад 0.9. Варијабилност се повећава (IC се смањује) код свих комбинација након укључења IAFD, нарочито у P4 периоду (који је комбиновани период и садржи првих неколико година Миленијумске суше) и за параметре S_{max} и d који су већ раније оцијењени као варијабилни. Ово је очекивано обзиром да се за филтрацију Парето фронта користи додатни услов доста различит од претходна два. Од свих 3-критеријумских комбинација најстабилнији параметри су при калибрацији са комбинацијом број 6. Слика 5.47 приказује варијабилност параметара у свим калибрационим периодима за комбинацију RSR+WBE док слика 5.48 приказује исто само за комбинацију RSR+WBE+IAFD.



Слика 5.47. Box&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију RSR+WBE.

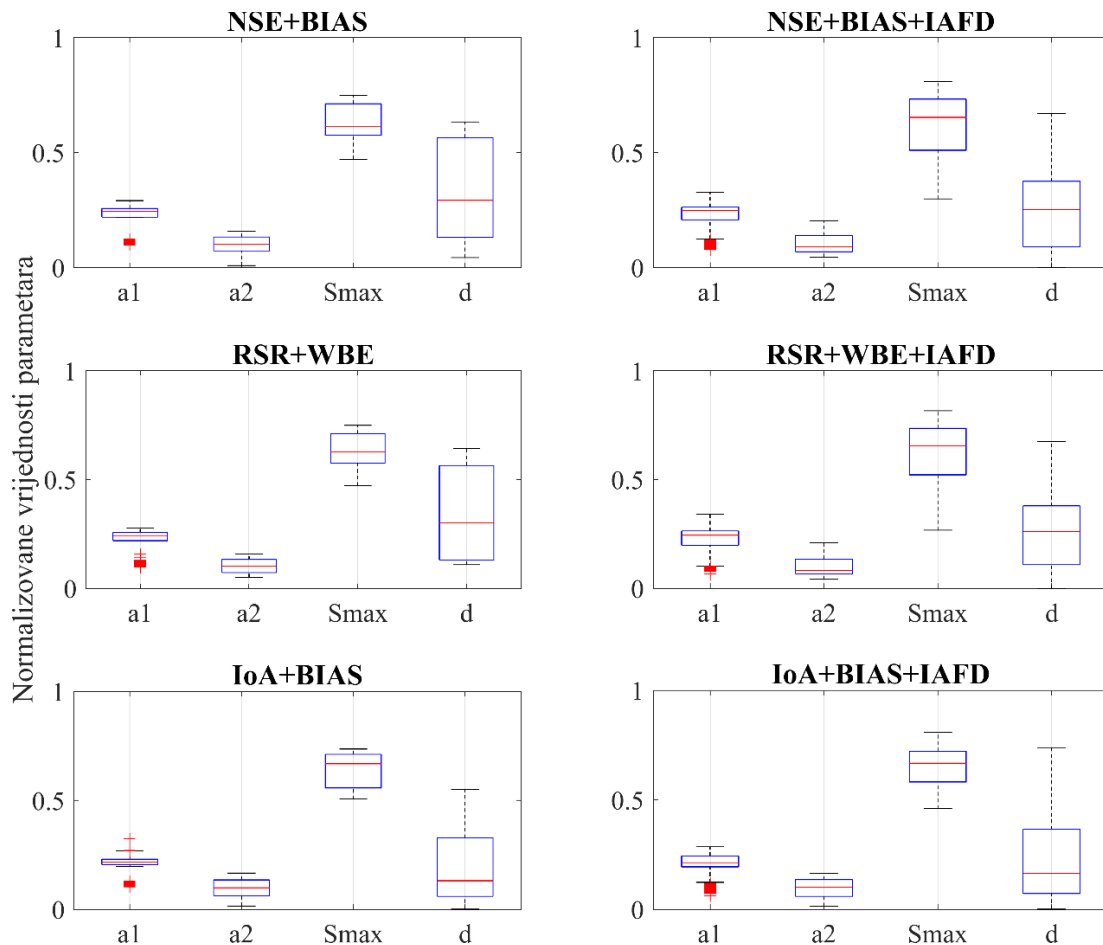


Слика 5.48. Box&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију RSR+WBE +IAFD.

Табела 5.30 приказује конзистентност параметара у калибрацији на различитим калибрационим периодима мјерено са статистиком IC. У посљедњем реду табеле дате су вриједности добијене у једнокритеријумској оптимизацији, ради поређења. Слика 5.49 приказује Box&Whisker дијаграм вриједности нормализованих Парето-оптималних параметара из свих калибрационих периода одакле се види већа варијабилност параметара S_{max} и d .

Табела 5.30. IC вриједности као мјера варијабилности параметара услијед калибрације на различитим периодима.

Параметар	a_1	a_2	S_{max}	d	Средња вриједност
NSE+BIAS	0.83	0.90	0.73	0.50	0.74
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.77	0.85	0.53	0.39	0.63
RSR+WBE	0.83	0.90	0.73	0.49	0.74
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.77	0.85	0.52	0.39	0.63
IoA+BIAS	0.84	0.86	0.78	0.46	0.73
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.81	0.86	0.70	0.43	0.70
Једно-критеријумска опт.	0.87	0.94	0.85	0.49	0.79



Слика 5.49. Варијабилност Парето-оптималних параметара у свим калибрационим периодима.

Упоредивањем IC вриједности са истим добијеним при једнокритеријумској оптимизацији закључује се да су у случају вишекритеријумске оптимизације параметри варијабилнији тј. да имају ниже IC вриједности (осим параметра d за који су вриједности IC сличне изузев у комбинацијама са ϵ IAFD када су ниже).

Генерално, параметри Вудуко модела су прилично стабилни. Варијабилни параметри су, као и код резултата једнокритеријумске оптимизације, максимална запремина горњег резервоара (површински слој тла) и параметар линеарног подземног резервоара који одређује количину базног отицаја. Ниже вриједности IC у вишекритеријумској оптимизацији могу бити приписане већем узорку за прорачун IC статистике (за разлику од само 6 оптималних параметара у 6 калибрационих периода код једно-критеријумске опт.) чиме иста, статистички гледано, постаје поузданија оцјена.

Спирманов коефицијент корелације између оптимизованих параметара и хидроклиматских (ХК) показатеља одређеног калибрационог периода је већи од 0.75 (у апсолутној вриједности) само у двокритеријумским комбинацијама за параметар d и a_1 . Комбинацијама NSE+BIAS и RSR+WBE наведени параметри су корелисани са средњим протицајем и коефицијентом отицаја, док је параметар d додатно корелисан са индексом суше и PET. Комбинација IoA+BIAS има различите резултате од претходно наведене двије комбинације; само параметар d је корелисан али са средњом температуром. Увођењем хидролошког потписа IAFD у комбинације циљних функција, наведене значајне корелације се губе. Вриједности Спирмановог коефицијента корелације су приказане у табели 5.31.

Табела 5.31. Спирманови коефицијенти корелације између Парето-оптималних параметара и хидроклиматских показатеља калибрационог периода.

		P	PET	Tsr	Qsr	PET/P	V0/P
NSE+BIAS	a1	0.38	-0.44	-0.04	0.82	-0.38	0.82
	a2	0.36	-0.24	-0.54	0.35	-0.36	0.35
	Smax	0.03	-0.08	0.09	-0.31	-0.03	-0.31
	d	-0.89	0.84	0.38	-0.77	0.89	-0.77
NSE+BIAS+ IAFD	a1	0.25	-0.20	-0.25	0.46	-0.25	0.46
	a2	0.08	0.02	-0.29	0.22	-0.08	0.22
	Smax	0.08	-0.15	0.08	-0.20	-0.08	-0.20
	d	-0.61	0.53	0.63	-0.50	0.61	-0.50
RSR+WBE	a1	0.36	-0.42	-0.03	0.80	-0.36	0.80
	a2	0.37	-0.25	-0.56	0.36	-0.37	0.36
	Smax	0.03	-0.09	0.08	-0.31	-0.03	-0.31
	d	-0.89	0.83	0.38	-0.78	0.89	-0.78
RSR+WBE+ IAFD	a1	0.26	-0.20	-0.25	0.44	-0.26	0.44
	a2	0.08	0.03	-0.28	0.21	-0.08	0.21
	Smax	0.07	-0.16	0.05	-0.21	-0.07	-0.21
	d	-0.60	0.51	0.63	-0.45	0.60	-0.45
IoA+BIAS	a1	0.55	-0.59	-0.41	0.75	-0.55	0.75
	a2	0.24	-0.11	-0.67	0.05	-0.24	0.05
	Smax	-0.24	0.13	0.41	-0.32	0.24	-0.32
	d	-0.46	0.34	0.86	-0.04	0.46	-0.04
IoA+BIAS+IAFD	a1	0.60	-0.54	-0.16	0.72	-0.60	0.72
	a2	0.15	0.04	-0.45	0.01	-0.15	0.01
	Smax	-0.10	-0.02	0.13	-0.29	0.10	-0.29
	d	-0.69	0.50	0.57	-0.39	0.69	-0.39

Овакви резултати упућују да се варијабилност параметара не може приписати зависности од ХК показатеља калибрационог периода, што је закључено и из резултата једнокритеријумске оптимизације. Варијабалан параметар d је зависан од наведених ХК показатеља али и стабилни a_1 , и то само код комбинација са двије циљне функције. Такође, вриједности параметра d добијене са комбинацијама са три циљне функције не показују значајну зависност иако је овај параметар једнако варијабалан.

Недостатак везе између хидроклиматских показатеља и оптимизованих параметара у комбинацијама са хидролошким потписом је важан закључак. Ово може да значи да оптимизациони алгоритам условљен хидролошким потписом тражи такве вриједности параметара који осликавају стварне (хидролошке) процесе на сливу а не понашање модела условљено одређеним хидроклиматским карактеристикама калибрационог периода.

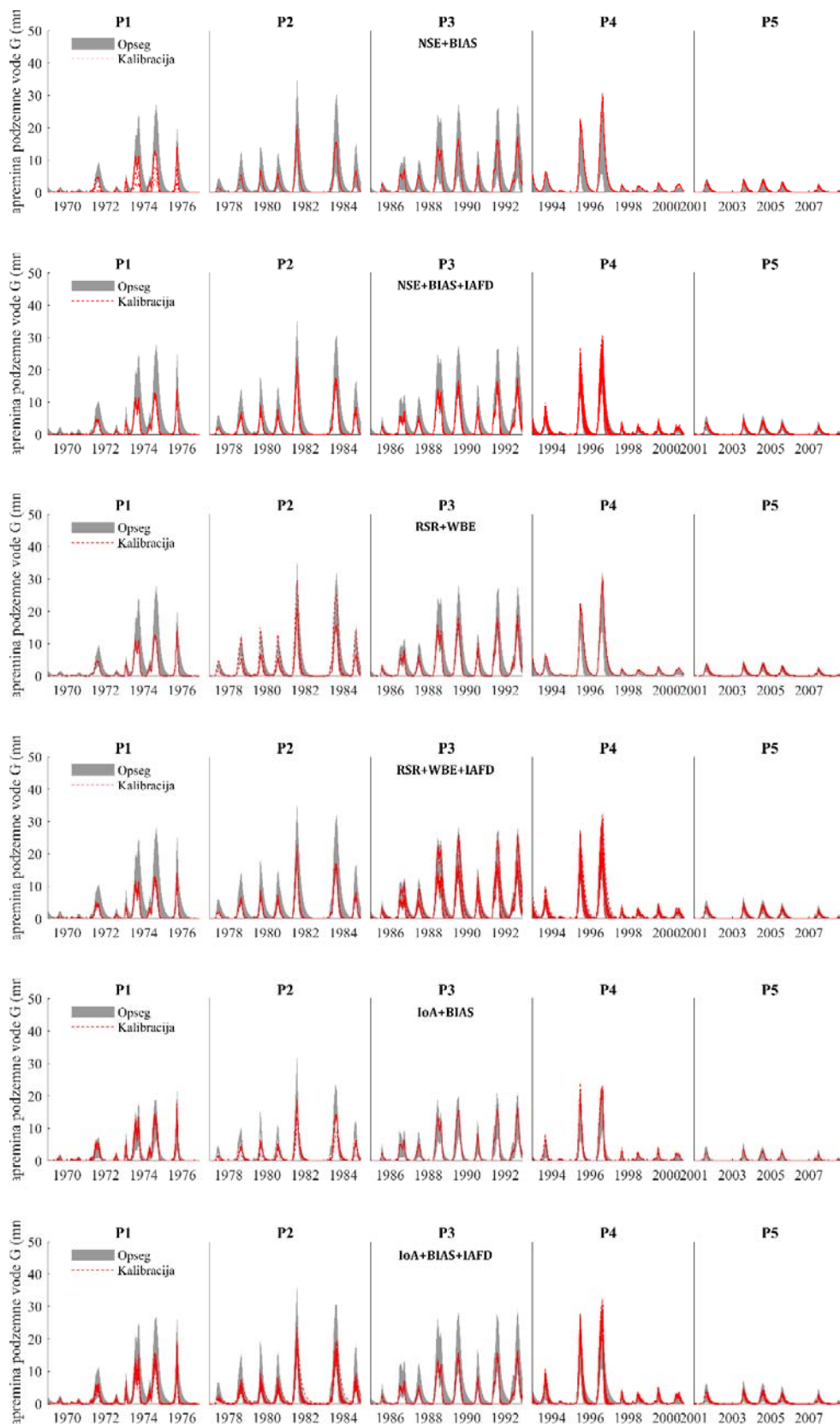
Остали резултати из анализе конзистентности Парето-оптималних параметара су дати у Прилогу XIV.

5.3.6 Конзистентност компоненти водног биланса симулираних са Парето-оптималним параметрима

Најконзистентније компоненте водног биланса за све комбинације су ET и S док су најваријабилније G и Q_b . При томе, комбинација са најмањим распоном симулираног базног отицаја је комбинација NSE+BIAS а са комбинацијом IoA+BIAS добија се најмањи распон симулиране запремине подземне воде, што се види на слици 5.50.

Ови резултати су конзистентни са резултатима из једно-критеријумске калибрације за Вудуко модел те потврђују да су најосјетљивије управо компоненте базног отицаја и подземне воде на калибрациони период. Ово је директна посљедица варијабилности параметра d из претходне анализе. Иако је и параметар S_{max} такође варијабалан, не утиче на конзистентност влажности тла већ на отицај у подземље и залихе воде у подземљу. То је због концепта Вудуко модела у коме је перколација дозвољена и када је влажност тла мања од капацитета (засићења).

Према РС вриједностима, најмање 80% времена опсег симулираних компоненти садржи медијану симулација добијених калибрацијом са комбинацијом IoA+BIAS+IAFD. У случају осталих комбинација, проценат је нешто мањи (65-80%). Вриједности SRrel су дате у табели 5.32. док су вриједности РС и дијаграми симулација појединих компоненти дате у Прилогу XV.



Слика 5.50. Осјетљивост компоненте запремине подземне воде на калибрациони период са различитим комбинацијама циљних функција.

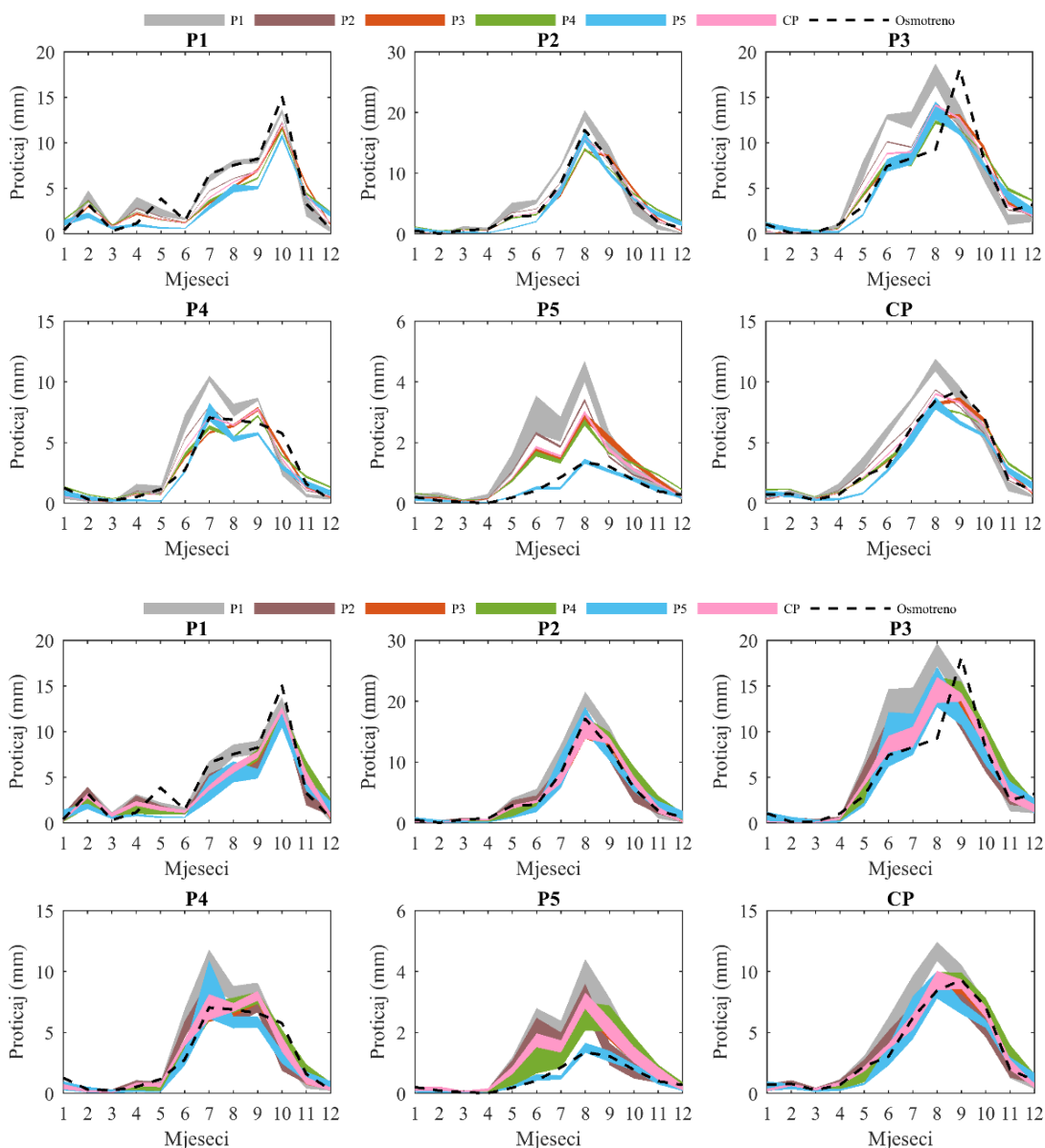
Табела 5.32. Вриједности SR_{rel} за компоненте водног биланса у вишекритеријумској оптимизацији.

Базни отицај Qb							
Периоди	P1	P2	P3	P4	P5	CP	Ср.вр.
NSE+BIAS	0.43	0.57	0.41	0.37	0.74	0.44	0.49
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.70	0.73	0.61	0.27	1.01	0.65	0.66
RSR+WBE	0.44	0.57	0.42	0.38	0.75	0.44	0.50
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.70	0.71	0.61	0.29	1.04	0.51	0.64
IoA+BIAS	0.49	0.75	0.61	0.26	0.80	0.58	0.58
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.73	0.89	0.73	0.31	1.05	0.55	0.71
Директни отицај Qd							
NSE+BIAS	0.23	0.27	0.54	0.41	0.72	0.34	0.42
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.25	0.37	0.75	0.61	1.26	0.42	0.61
RSR+WBE	0.23	0.27	0.54	0.41	0.72	0.34	0.42
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.25	0.36	0.74	0.61	1.55	0.45	0.66
IoA+BIAS	0.27	0.20	0.51	0.42	0.88	0.31	0.43
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.26	0.28	0.64	0.50	1.32	0.40	0.57
Стварна евапотранспирација ET							
NSE+BIAS	0.08	0.09	0.07	0.09	0.06	0.09	0.08
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.12	0.13	0.12	0.10	0.10	0.13	0.12
RSR+WBE	0.08	0.09	0.07	0.09	0.06	0.09	0.08
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.12	0.13	0.12	0.11	0.09	0.13	0.12
IoA+BIAS	0.10	0.08	0.09	0.09	0.08	0.09	0.09
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.10	0.10	0.10	0.11	0.08	0.10	0.10
Запремина подземне воде G							
NSE+BIAS	0.83	0.81	0.93	0.32	0.66	0.69	0.71
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.95	0.82	1.04	0.45	0.55	0.69	0.75
RSR+WBE	0.84	0.82	0.94	0.33	0.67	0.69	0.72
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.98	0.87	1.08	0.45	0.71	0.71	0.80
IoA+BIAS	0.44	0.42	0.54	0.26	0.54	0.40	0.43
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.91	0.83	1.00	0.34	0.82	0.70	0.77
Допуна подземља R							
NSE+BIAS	0.31	0.28	0.32	0.18	0.36	0.28	0.29
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.50	0.48	0.50	0.18	0.61	0.44	0.45
RSR+WBE	0.84	0.82	0.94	0.33	0.67	0.69	0.72
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.54	0.52	0.55	0.19	0.65	0.42	0.48
IoA+BIAS	0.41	0.45	0.52	0.21	0.64	0.44	0.45
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.60	0.59	0.64	0.21	0.76	0.46	0.54
Запремина воде у тлу S							
NSE+BIAS	0.14	0.19	0.16	0.16	0.10	0.17	0.15
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.21	0.27	0.27	0.18	0.16	0.25	0.22
RSR+WBE	0.14	0.19	0.16	0.16	0.10	0.17	0.15
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.21	0.27	0.27	0.18	0.15	0.24	0.22
IoA+BIAS	0.16	0.16	0.16	0.15	0.11	0.16	0.15
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.17	0.21	0.20	0.19	0.12	0.20	0.18
Укупни отицај Q							
NSE+BIAS	0.25	0.35	0.52	0.43	0.85	0.40	0.47
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	0.30	0.43	0.65	0.46	1.25	0.48	0.60
RSR+WBE	0.14	0.19	0.16	0.16	0.10	0.17	0.15
RSR+WBE+ ϵ IAFD	0.30	0.43	0.64	0.46	1.40	0.48	0.62
IoA+BIAS	0.28	0.27	0.47	0.32	0.94	0.37	0.44
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	0.31	0.36	0.60	0.39	1.27	0.43	0.56

5.3.7 Субјективна оцена ефикасности

Унутаргодишња варијабилност отицаја

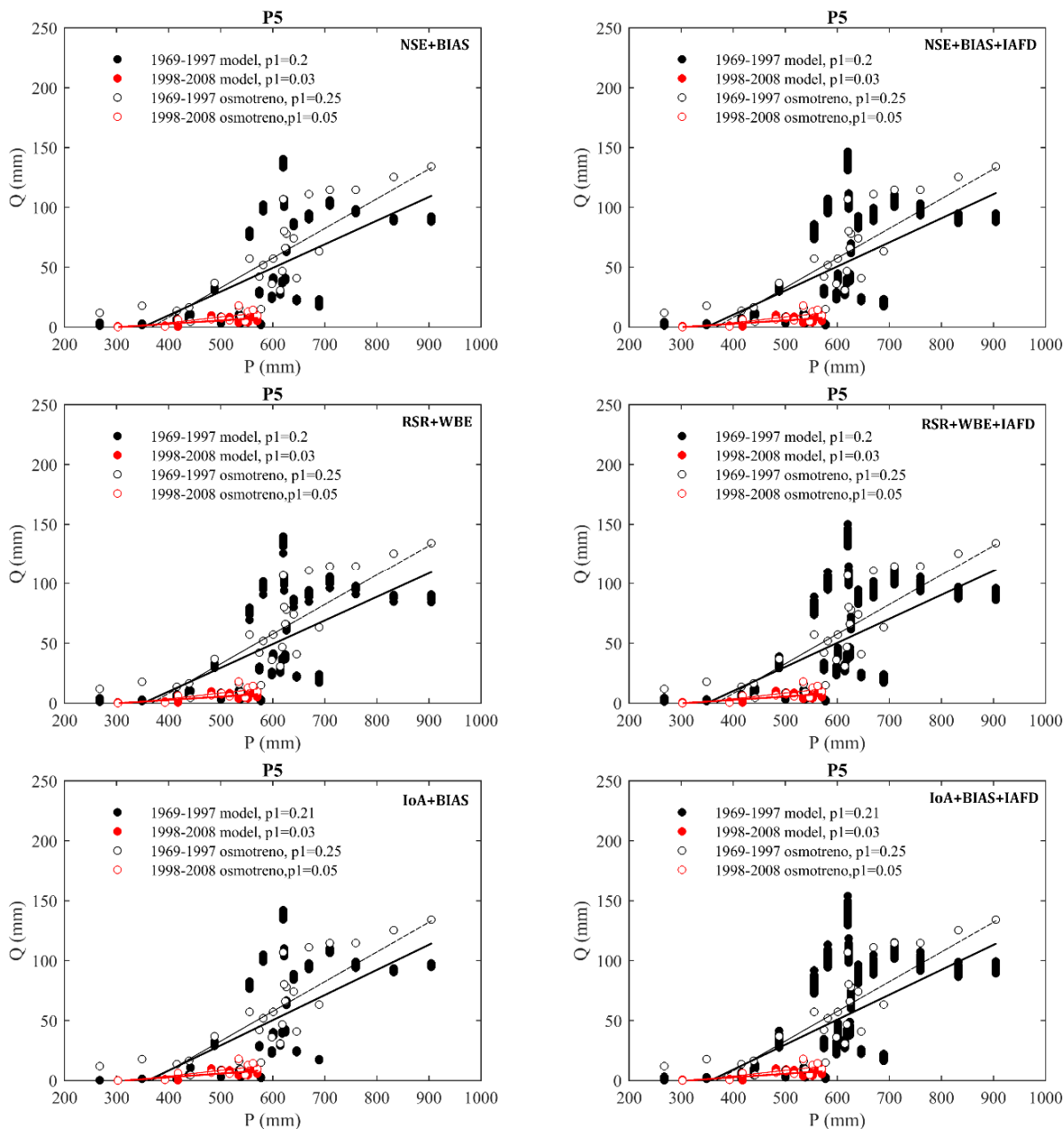
За све комбинације, унутаргодишња варијабилност отицаја је слична или боља оствареној при једнокритеријумској калибрацији. Грешка ϵ_{IAFD} потврђује оно што се види на графицима: модел је трансферабилан (без обзира на калибрациони период) на мјешовите периоде P2 и CP и дјелимично на P4 док није уопште трансферабилан на сушни период P5 и на водне P1 и P3. Шеста комбинација $IoA+BIAS+\epsilon_{IAFD}$ је за нијансу боља од осталих док прва комбинација $NSE+BIAS$ има најужи опсег симулираних вриједности. Наведено се види на слици 5.51. док су остали дијаграми дати у Прилогу XVI.



Слика 5.51. Унутаргодишња расподела протицаја симулирана са Парето-оптималним параметрима при валидацији на свим периодима са калибрационим комбинацијама $NSE+BIAS$ (горе) и $IoA+BIAS+IAFD$ (доле).

Веза падавине-отицај

Све комбинације остварују везу падавина и отицаја веома слично као у једнокритеријумској оптимизацији. Такође, међу резултатима различитих комбинација циљних функција нема значајнијих разлика односно ниједна од комбинација у овом аспекту није боља од осталих. На слици 5.52 су приказани резултати добијени у валидацији са оптималним параметрима из сушног P5 периода. Овдје је линеарна зависност успостављена на основу медијане рјешења са Парето фронта.



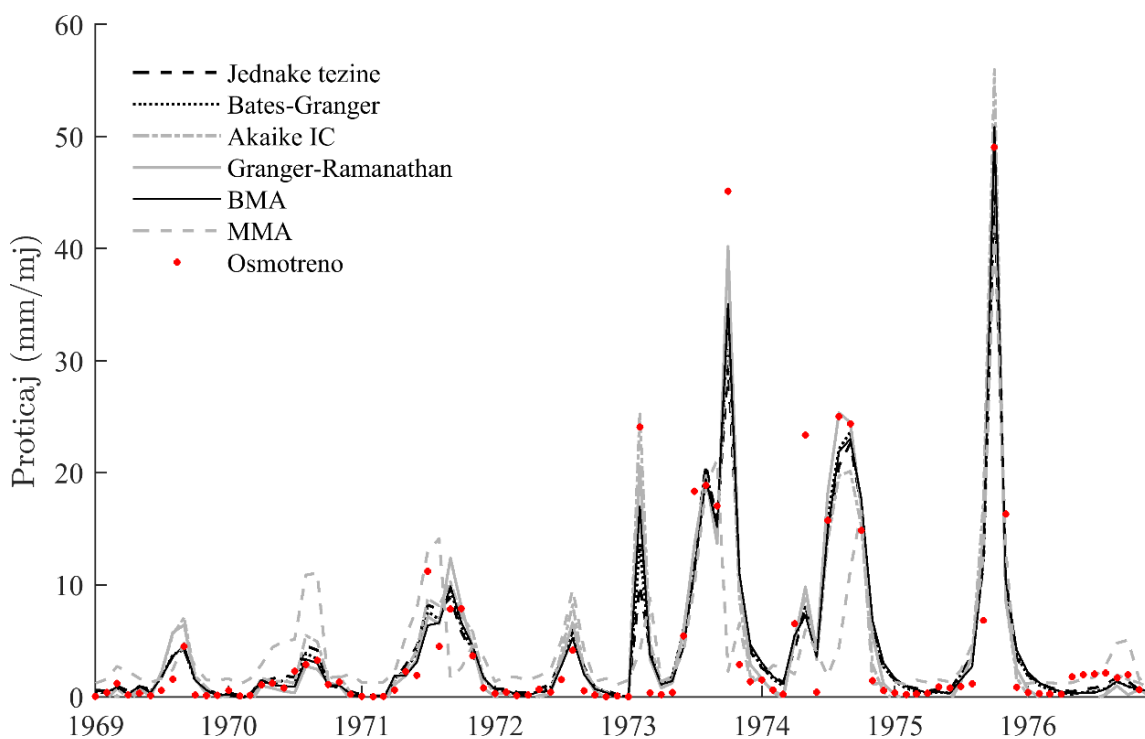
Слика 5.52. Зависност годишњих сума падавина и осмотрених и симулираних отицаја добијених са Парето-оптималним параметрима у сушном периоду P5.

5.4 Поређење ефикасности вишемоделског осредњавања и појединачних МБХМ-а

Више-моделско осредњавање је примијењено на резултате ПМ1 добијене при симулацијама на сливу Вимере, и то на два одабрана трансфера. Један релативно добар за све моделе (мјешовити на водни Р4/Р1) и један најлошији (трансфер водни на сушни период Р1/Р5). Улаз у одабраних шест алгоритама за осредњавање су били симулације шест МБХМ анализираних у ПМ1 и за сваки од њих је примијењена корекција одступања од осмотрених вриједности, дефинисана у поглављу 3.5. Поред тога, провјерени су резултати вишемоделског осредњавања истог модела оптимизованог са различитим комбинацијама циљних функција и упоређени са истим добијеним из различитих модела.

5.4.1 Вишемоделско осредњавање при трансферу Р4/Р1

Слика 5.53. приказује хидрограме добијене из шест метода осредњавања упоређено са осмотреним протицајима. Већ са слике се уочава да неке методе боље описују осмотрени хидрограм, као нпр. Гренџер-Раманатан, Акаике IC и БМА. Све методе, изузев ММА, имају бољу ефикасност од сваког појединачног модела, према мјерама приказаним у табели 5.33. Као најбоља метода посебно се издваја Гренџер-Раманатан према којој су мјере ефикасности (како статистичке тако и потписи, изузев ϵ_{D20}) најбоље, што се слаже са ранијим истраживањима (Diks and Vrugt 2010, Arsenault *и остали* 2015). Чак и најједноставнија метода осредњавања са једнаким пондерисаним вриједностима је боља од сваког МБХМ-а.



Слика 5.53. Упоредни хидрограми симулираних протицаја са шест метода вишемоделског осредњавања на трансферу Р4/Р1.

Табела 5.33. Поређење ефикасности метода вишемоделских осредњавања и ефикасности добијене са појединачним МБХМ-а на сливу Вимера у трансферу Р4/Р1.

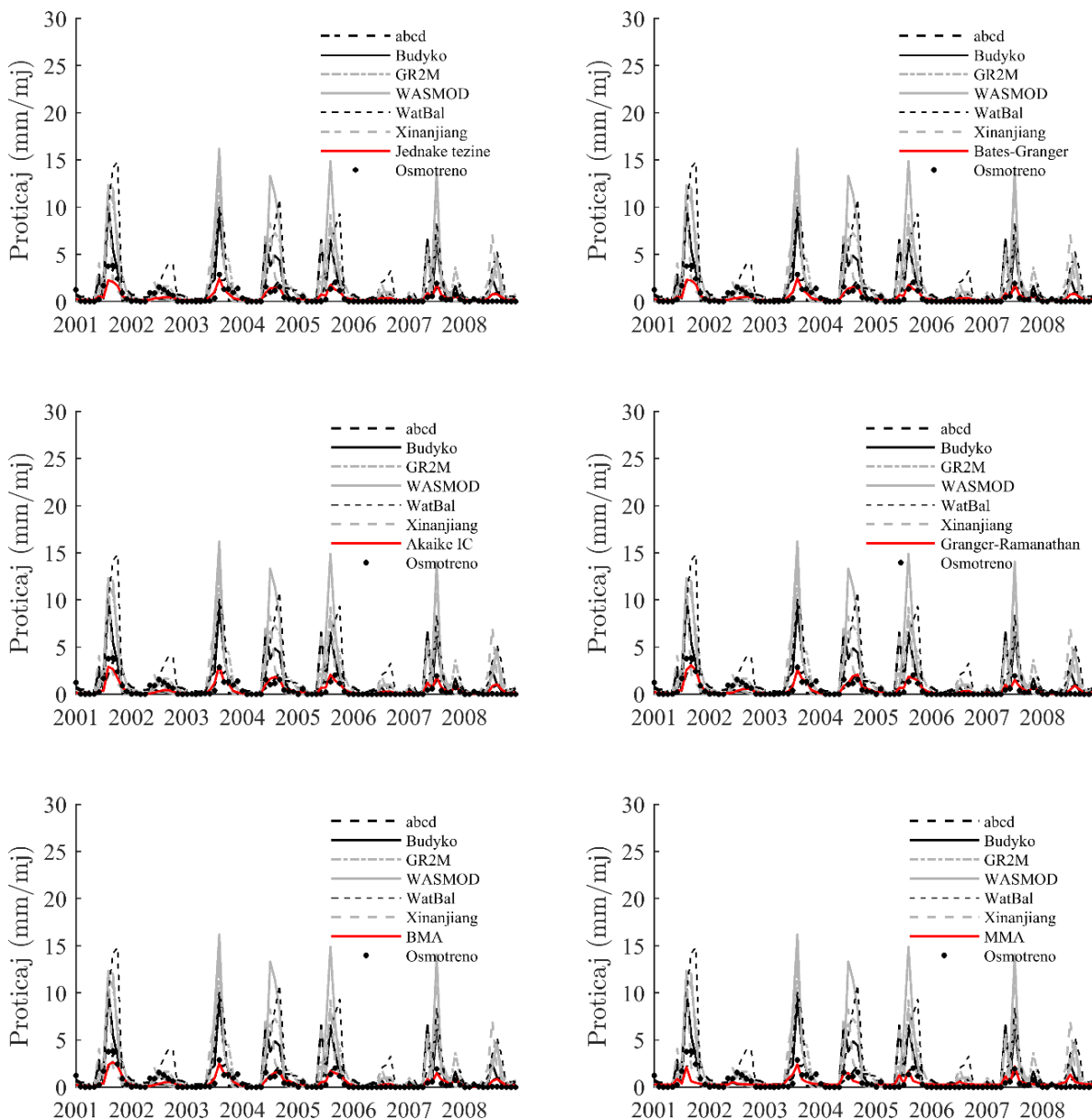
Ефикасност	KGE	VE	RSR	ϵ IAFD	ϵ STD	Q _{med}	ϵ D ₂₀	ϵ Q ₉₅
Једнаке тежине	0.79	1	0.37	0.24	0.2	0.95	0.06	0.15
Бејтс- Гренџер	0.84	1	0.33	0.21	0.15	0.67	0	0.09
AIC	0.91	1	0.34	0.16	0.06	0.68	0.21	0.17
Гренџер-Раманатан	0.94	0.97	0.29	0.17	0.03	0.06	0.26	0.01
БМА	0.87	1	0.33	0.19	0.12	0.68	0.01	0.10
ММА	0.51	1	0.76	0.37	0.35	1.45	0.06	0.32
<i>abcd</i>	0.68	0.74	1.25	0.44	0.15	0.99	0.06	0.24
Budyko	0.71	0.86	0.67	0.36	0.25	0.34	0.03	0.18
GR2M	0.75	0.93	0.34	0.17	0.24	0.97	0.02	0.31
WASMOD	0.56	0.81	0.94	0.31	0.38	0.07	0.15	0.19
WatBal	0.52	0.83	0.83	0.32	0.28	0.25	0.03	0.29
Xinanjiang	0.64	0.80	0.97	0.29	0.28	0.01	0.05	0.10
Средња вр. за моделе	0.64	0.83	0.83	0.32	0.29	0.33	0.06	0.22

5.4.2 Вишемоделско осредњавање при трансферу Р1/Р5

У циљу додатног тестирања ове хипотезе, претходни прорачун је поновљен са захтијевнијим улазним подацима односно са симулираним вриједностима најлошијег трансфера у ПМ1, Р1/Р5 (водни/сушни). Слика 5.54 приказује осмотрене хидрограме, симулиране са МБХМ-а и хидрограме добијене са методама више-моделског осредњавања. Вриједности ефикасности су упоредо дате у табели 5.34.

Табела 5.34. Поређење ефикасности метода вишемоделских осредњавања и ефикасности добијене са појединачним МБХМ-а на сливу Вимера и трансферу Р1/Р5.

Ефикасност	KGE	VE	RSR	ϵ IAFD	ϵ STD	Q _{med}	ϵ D ₂₀	ϵ Q ₉₅
Једнаке тежине	0.61	1	0.58	0.18	0.35	4.79	0.53	0.24
Бејтс- Гренџер	0.64	1	0.56	0.14	0.33	4.63	0.53	0.24
AIC	0.76	1	0.55	0.14	0.17	3.19	0.33	0.14
Гренџер-Раманатан	0.79	0.96	0.51	0.11	0.16	4.06	0.35	0.05
БМА	0.72	1	0.53	0.12	0.24	4.65	0.30	0.07
ММА	0.38	1	0.82	0.50	0.44	5.78	0.53	0.31
<i>abcd</i>	0.17	0.21	4.75	0.79	0.10	14	0.53	0.02
Budyko	-1.3	-0.4	8.55	1.52	1.76	3.04	0.15	1.71
GR2M	-2.6	-1.8	16.6	2.8	2.37	12.6	0.43	2.45
WASMOD	-3.5	-1.5	15.2	2.9	3.73	0.91	0.06	4.51
WatBal	-3.3	-2.1	18.3	3.2	3.08	7.59	0.20	3.21
Xinanjiang	-2.4	-1.1	12.5	2.14	2.65	4.33	0.21	2.79
Средња вр. за моделе	-2.16	-1.12	12.7	2.23	2.28	7.08	0.26	2.45



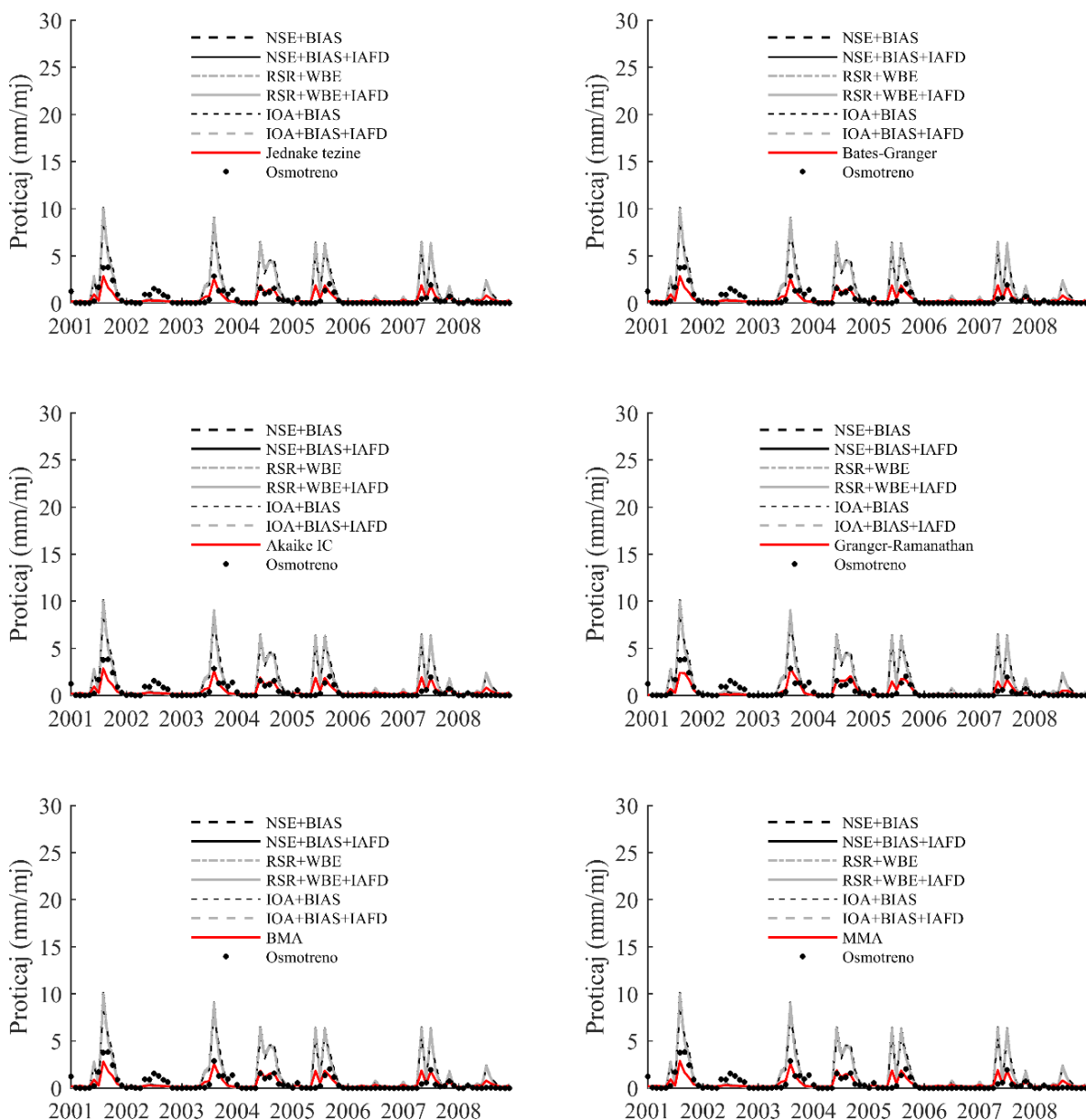
Слика 5.54. Упоредни хидрограми осмотреног протицаја, добијеног симулацијама са МБХМ-а и са методама вишемоделског осредњавања.

Хидрограми добијени са вишемоделским осредњавањем се значајно боље слажу са осмотреним, што потврђује претходна слика као и ефикасности приказане у табели 5.34. Хидрограми симулирани са МБХМ-а су значајно прецијењени при трансферу параметара из периода Р1 на сушни период Р5 те је раније закључено да модели нису трансферабилни. Са више-моделским осредњавањем, нарочито са Гренџер-Раманатан методом, постиже се задовољавајућа трансферабилност према свим анализираним показатељима, осим ПОТПИСА ϵ_{Qmed} И ϵ_{D20} .

5.4.3 Вишемоделско осредњавање симулација добијених са вишекритеријумском оптимизацијом

Слично као у претходном поглављу, прогноза отицаја у сушном периоду Р5 са параметрима оптимизованим у водном периоду Р1 је задовољавајућа према већини

метода вишемоделског (ВМ) осредњавања, што није био случај са Vудуко моделом оптимизованим са неком од комбинација вишекритеријумске (ВК) калибрације. На слици 5.55 су приказани хидрограми добијени са ВК оптимизацијом и вишемоделским осредњавањем (односно осредњавање симулација добијених са више различитих комбинација циљних функција примијењених у калибрацији Vудуко модела).



Слика 5.55. Упоредни хидрограми осмотреног протицаја, симулираног Vудуко моделом оптимизованим са шест вишекритеријумскиџ комбинација и добијеним осредњавањем при трансферу водни/сушни, P1/P5.

И овај пут, метода Гренџер-Раманатан се показала најбоља са највећом ефикасношћу према свим показатељима. Примјећује се да су вриједности ϵ_{Qmed} сличне према методама осредњавања као и за Vудуко модел оптимизован са шест комбинација за ВК оптимизацију. Такође, ϵ_{D20} су боље при ВК оптимизацији него што су добијене са ВМ осредњавањем. Поређење ефикасности је дато у табели 5.35.

Табела 5.35. Поређење ефикасности метода вишемоделских осредњавања и ефикасности добијене са Вудуко моделом у вишекритеријумској оптимизацији при трансферу P1/P5.

Ефикасност	KGE	VE	RSR	ϵ IAFD	ϵ STD	Q_{med}	ϵ_{D20}	ϵ_{Q95}
Једнаке тежине	0.61	1	0.69	0.37	0.28	4.30	0.53	0.22
Bates-Granger	0.61	1	0.69	0.36	0.28	4.29	0.53	0.22
AIC	0.60	1	0.69	0.37	0.28	4.36	0.53	0.21
Granger-Ramanathan	0.71	0.91	0.62	0.23	0.18	1.39	0.46	0.15
BMA	0.63	1	0.67	0.34	0.26	4.00	0.53	0.24
MMA	0.61	1	0.69	0.37	0.28	4.29	0.53	0.22
NSE+BIAS	-1.2	-0.4	8.45	1.49	1.61	4.75	0.08	1.61
NSE+BIAS+ ϵ IAFD	-1.2	-0.4	8.11	1.44	1.66	3.91	0.07	1.67
RSR+WBE	-1.2	-0.4	8.43	1.48	1.6	4.72	0.08	1.61
RSR+WBE+ ϵ IAFD	-1.1	-0.3	8.06	1.43	1.65	3.82	0.07	1.64
IoA+BIAS	-0.9	-0.3	7.7	1.37	1.35	4.24	0.08	1.23
IoA+BIAS+ ϵ IAFD	-0.9	-0.2	7.45	1.33	1.43	3.55	0.07	1.35
Средња вр. за комбинације	-1.08	-0.33	8.03	1.42	1.55	4.17	0.08	1.52

6 СУМАРНИ ПРЕГЛЕД РЕЗУЛТАТА И ДИСКУСИЈА

6.1 Утицај приступа моделирању на ефикасност модела

Код оба приступа моделирању, Тиреловим и DSST протоколом, ефикасност мјерена статистичким показатељима зависи од трансфера. Другим ријечима, сви показатељи су осјетљиви на трансфер и углавном одговарају субјективној оцјени ефикасности модела.

Међутим, добра ефикасност модела према статистичким показатељима не обезбјеђује добру репродукцију потписа. За сваки слив, различити потписи су осјетљиви на трансфер. На сушном сливу Вимера то су ϵ_{P0} , ϵ_{IAFD} , ϵ_{STD} и ϵ_{Q95} . Посљедња три су у складу са статистичким показатељима и субјективном оцјеном ефикасности. На сливу ријеке Камп сви су потписи осјетљиви на трансфер изузев ϵ_{BFI} , ϵ_{Q5} и ϵ_{SEL} . Аутокорелације, ϵ_{IAFD} , ϵ_{Q95} , ϵ_{Q80} , ϵ_{Qmed} и ϵ_{STD} су информативни потписи на сливу Топлице. Наведени потписи су осјетљиви на трансфер и у складу са статистичким показатељима и субјективном оцјеном ефикасности. На свим сливовима само три потписа су увијек информативни, ϵ_{IAFD} , ϵ_{STD} и ϵ_{Q95} , док су потписи ϵ_{BFI} , ϵ_{Q5} и ϵ_{SEL} неинформативни.

Информативност потписа се не мијења са приступом моделирању. Према Тиреловом и DSST протоколу исти потписи су осјетљиви на трансфер и конзистентни са статистичким показатељима са разликом што при DSST протоколу модели репродукују поједине потписе са значајно мањим грешкама.

Укупна успјешност модела у калибрацији Тиреловим протоколом и при трансферима зависи од показатеља, слива и саме структуре модела. Модели су ефикасни у периоду калибрације у више од 90% случајева на свим сливовима, мјерено статистичким показатељима. Успјешност репродукције потписа у калибрационом периоду је доста мања, око 65%. Најбољи резултати по питању трансферабилности модела се добијају за водни слив ријеке Камп, гдје су модели, по оба типа мјера (статистичке и потписи), ефикасни преко 70%. Најлошији резултати су на сушном сливу Вимера гдје има мање од пола успјешних трансфера.

Калибрацијом DSST протоколом на Вимера сливу не остварује се побољшање вриједности мјера ефикасности ни грешака потписа. На сливу Камп у калибрационом периоду повећава се успјешност репродукције потписа на 91% и то углавном због бољих резултата Xinanjiang модела. При трансферима грешке потписа су такође мање за 16% јер се сви потписи значајно боље репродукују, нарочито медијана, ϵ_{Q20} и ϵ_{Q80} . На сливу Топлице у трансферима су побољшане и статистичке мјере и потписи за око 15 и 20%, респективно. Побољшање резултата се десило код свих модела, а нарочито код Xinanjiang.

Границе трансферабилности модела зависе од слива, показатеља ефикасности и од приступа моделирању. Трансферабилност модела је већа на водним сливовима и у DSST протоколу. На сливу Вимера, модели су трансферабилни на периоде са $\pm 15\%$ разликом падавина у односу на калибрациони период односно $\pm 2\%$ разлике у PET. Само abcd и Viduko су трансферабилни на водније периоде. На водним сливовима, модели су углавном трансферабилни према већини показатеља или нису трансферабилни уопште. Ово посљедње је углавном према потписима који се лоше репродукују у свим калибрационим и валидационим периодима.

Конзистентност параметара је већа при калибрацији DSST протоколом. Ово може бити само посљедица мањег узорка за који се рачуна IC статистика, односно, дупло мањег

броја калибрационих периода. Међутим, то не мијења ранг модела по овом критеријуму који остаје исти без обзира на приступ моделирању.

Конзистентност компоненти водног биланса према различитим протоколима на сливу Вимере није значајно различита. Према DSST протоколу, све компоненте имају веће вриједности RMAD у трансферима, нарочито G и S . Код сливова Камп и Топлица нема разлика, осим што код слива Топлице у DSST протоколу компоненте симулиране $abcd$ и Vudyko моделом у потпуности пролазе тест конзистентности ($RMAD < 1$) што није случај у Тиреловом протоколу.

На крају, рангирање модела према оба протокола је веома слично, те осредњено по сливовима и протоколима упућују да су напоузданије структуре GR2M, Vudyko и $abcd$ модели.

6.2 Утицај броја и избора циљних функција на ефикасност модела

Поређењем резултата једнокритеријумске и вишекритеријумске оптимизације на сливу Вимера и Vudyko моделом примјећује се мало побољшање ефикасности. Свака од анализираних комбинација циљних функција коришћених у калибрацији је једнако добра или боља од једнокритеријумске по броју успјешних трансфера. Нешто лошије резултате по питању грешака потписа дају комбинације IoA+BIAS и IoA+BIAS+IAFD иако су управо ове комбинације мало боље за ефикасност према статистичким показатељима. Комбинација са којом је успјешност модела према грешкама хидролошких потписа у трансферима боља од осталих је RSR+WBE+IAFD. Међутим, ова побољшања су врло мала, реда величине 5-10%.

Претходно вриједи ако се посматрају медијане ефикасности. Ако се узму у обзир најбоља рјешења са Парето фронта побољшање ефикасности односно трансферабилност модела према хидролошким потписима је већа за око 20%. Овдје исто вриједи да је најповољнија комбинација за добру репродукцију хидролошких потписа RSR+WBE+IAFD. Потписи према којима се успјешност Vudyko модела при трансферима значајно повећала су ϵ_{IAFD} , медијана, ϵ_{D20} , ϵ_{Q20} (осим за комбинацију IoA+BIAS) и ϵ_{Q80} . Побољшања вриједности статистичких показатеља или нема или је много мање у односу на потписе.

Вишекритеријумском калибрацијом Vudyko постаје потпуно трансферабилан према статистичким показатељима у трансферима водни/мјешовити период и обратно, као и сушни/мјешовити. Ипак, трансфери на сушни период су и даље потпуно неуспјешни.

Према хидролошким потписима, Vudyko није у потпуности трансферабилан ни са једном комбинацијом ЦФ-ја. Трансфери у којима је успјешност највећа су на водни период и сушни/мјешовити и то углавном са комбинацијом RSR+WBE+IAFD.

Границе трансферабилности се нису промијениле код Vudyko модела са вишекритеријумском оптимизацијом као ни конзистентност параметара. Код обје оптимизације параметри који су осјетљиви на калибрациони период су S_{max} и d , односно максимални капацитет влажности тла и параметар пропорције базног отицаја из подземног резервоара.

Конзистентност компоненти водног биланса Vudyko модела је била доста добра при једнокритеријумској оптимизацији. Вишекритеријумском оптимизацијом нема много промјена у том смислу. Боља конзистентност запремине подземне воде се добија са IoA+BIAS комбинацијом а укупног отицаја са комбинацијом RSR+WBE. Остале компоненте су једнако конзистентне.

Претходно потврђује да вишекритеријумска оптимизација даје боље резултате модела по питању трансфера на периоде са различитим хидроклиматским показатељима. Ово побољшање резултата је много уочљивије за грешке хидролошких потписа него за статистичке показатеље што упућује да је за њихову добру репродукцију неопходно укључити више критеријума а нарочито неки из реда потписа. Ипак, ниједном анализираном комбинацијом циљних функција у вишекритеријумској комбинацији нису пронађени параметри са којима је модел трансферабилан на сушни период.

6.3 Веза ефикасности и структуре модела

Ефикасност модела зависи од његове структуре али та веза није у потпуности конзистентна на свим сливовима. Појединим структурама модела више одговарају одређени хидроклиматски услови. Примјера ради, Xinanjiang моделу више одговарају сушнији сливови попут Вимере док WASMOD и WatBal имају много боље симулације у водним сливовима са снијегом. Генерално, сви модели имају бољу ефикасност при симулацијама на водним сливовима.

Ипак, ефикасност појединих структура модела је боља у односу на остале. За симулацију мјесечних отицаја погодније су структуре са два резервоара, запремином влажности тла и подземне воде, од структура са само једним резервоаром или три. Број слободних параметара модела не утиче директно на ефикасност модела. Нпр. у појединим случајевима модели са 2 и 8 параметара показују сличну ефикасност или је модел са 8 параметара бољи. Међутим, велики број параметара утиче на њихову идентификабилност односно конзистентност у различитим калибрационим периодима.

На основу прегледа једначина за прорачун појединих компоненти у структури анализираних модела у поглављу 3.2, добијене ефикасности модела као и ранијих истраживања датих у поглављу 2, дају се општи закључци о утицају концептуализације модела на његову ефикасност за сваку компоненту.

Компонента ET је конзистентна на свим сливовима, калибрационим периодима и моделима. С друге стране, ефикасност модела варира према структури и сливу што упућује да ова компонента има веома ограничен утицај на ефикасност модела што је и раније потврђено у литератури (Vandewiele и остали 1992, Bai и остали 2015). Једначине за прорачун ET у 6 анализираних модела су емпиријске и нелинеарне, осим код Xinanjiang модела гдје важи линеарна зависност.

Компонента влажности тла S се у појединим моделима рачуна директно преко нелинеарне функције у зависности од расположиве воде (модели *abcd*, GR2M и Xinanjiang) или из једначине водног биланса (модели WASMOD и WatBal). У WatBal-у је ова једначина дата у облику парцијалне диференцијалне једначине гдје су све компоненте у функционалној зависности од S_{max} , што се показало да нема предности по питању ефикасности у односу на друге концепте прорачуна. Само код Budyko модела ова компонента се рачуна из биланса могућности за евапотранспирацију и вриједности стварне ET. Истовремено, ово је једини модел који има конзистентне вриједности симулиране влажности тла на свим сливовима и при оба приступа моделирању.

Допуну (прихрањивање) подземних вода R рачунају само *abcd*, Budyko и Xinanjiang модели. Код Budyko модела то је разлика расположиве воде (збир претходне влажности тла и количине воде коју слив задржава за ET, влажност тла и допуну подземља) у горњем резервоару и могућности за ET. Код *abcd* модела, из ове расположиве воде не резервишу се количине за допуну подземља овако директно, већ се расподјела врши уз помоћ параметра *c*, који се показао осјетљив на калибрациони период. То може бити разлог за

малу конзистентност ове компоненте код *abcd* модела, иако очито не утиче на укупну ефикасност модела која је генерално добра. Ову разлику је било могуће примијетити само анализом конзистентности компоненти водног биланса. Xinanjiang допуну подземља рачуна као пропорционални дио расположиве воде, гдје је параметар пропорционалности K_g , параметар осјетљив на калибрациони период. Конзистентност ове компоненте код Xinanjiang модела је боља него код *abcd* модела док је укупна ефикасност лошија што значи да стабилност симулација допуне подземних вода или не утиче на ефикасност или ова компонента самостално, попут ET, има ограничен утицај на ефикасност модела.

Запремина подземне воде G се рачуна из биланса подземних вода у моделима *abcd*, Budyko и GR2M. У *abcd* и Budyko моделу ова величина представља количину подземне воде из претходног мјесеца увећану за количину допуне подземља и умањена за вриједност базног отицаја. Иако ови модели имају сличну ефикасност, конзистентност ове компонентне је знатно већа код Budyko модела као и за везане компоненте допуне подземља и базног отицаја. Могући разлог су управо ове везане компоненте односно њихова концептуализација а не сам начин прорачуна *G*. GR2M дефинише ову компоненту на сличан начин као Budyko модел, у смислу резервисања воде за влажност, ET и допуну подземља. Овдје је коефицијент линеарности, односно фактор размјене воде параметар X_2 , стабилан параметар те је конзистентност ове компоненте велика.

Базни отицај Q_b се у моделима увијек рачуна као пропорционални дио (линеарна зависност без слободног члана) запремине подземних вода (*abcd*, Budyko, Xinanjiang) или влажности тла (WASMOD). Код WatBal модела је зависност дефинисана степеном функцијом од релативне влажности тла гдје фигуришу два параметра веома осјетљива на калибрациони период (*alfa* и *gama*). Већа комплексност не даје бољу ефикасност модела, док једноставније формулације у другим моделима пружају сасвим довољну сложеност да адекватно репродукују ову компоненту. GR2M не рачуна директно базни отицај већ укупни из квадратне једначине подземног резервоара што очито не умањује ефикасност модела при симулацијама.

Директни отицај Q_d је углавном стабилна компонента код свих модела и чини већи дио укупног отицаја са којим се директно рачуна ефикасност модела. Директни отицај је у структурама модела у спречи са осталим компонентама. Овдје се првенствено мисли на допуну подземља код *abcd* модела код којег параметар *c* дефинише удио који одлази на допуну подземља а остатак је директни отицај, влажност тла код WASMOD-а са којом је Q_d директно пропорционалан а коефицијент пропорционалности параметар a_4 , запремина слободне воде (трећи резервоар којег немају остали модели) са којом је Q_d у вези преко степене функције и параметра E_x . Сви наведени параметри су нестабилни параметри односно осјетљиви на калибрациони период.

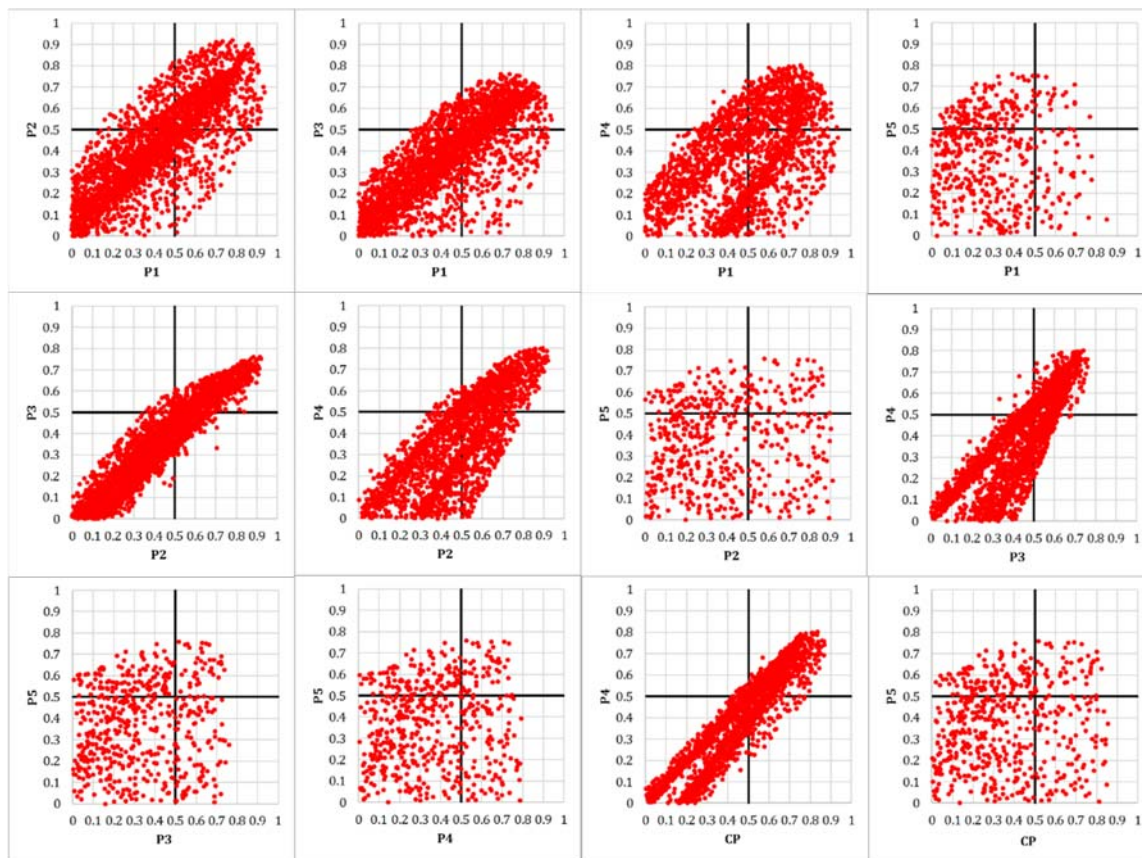
Јединствен приступ дефинисања компоненти водног биланса модела у виду „понуде“ и „потражње“, коју има Budyko модел, очито обезбјеђује истовремено добру ефикасност модела као и конзистентност симулација компоненти водног биланса. Остали модели, GR2M и *abcd*, у појединим дијеловима анализе којим се бави ова дисертација, показују једнаку или бољу ефикасност. Међутим, иста није толико конзистентна, нарочито према хидролошким потписима и симулацијама компоненти, као у случају овог модела.

Претходно изложено ипак треба узети са резервом. У овом истраживању није анализиран утицај промјене начина прорачуна појединих компоненти (једначина у концепту модела) да би се измјерио његов утицај на укупну ефикасност модела, те претходни закључци могу да се схвате само као претпоставка коју треба накнадно истражити и потврдити.

6.4 Неуспјешност трансфера модела и алтернативне стратегије

Већ је закључено да ефикасност модела зависи од избора показатеља ефикасности, избора модела (структуре) и слива као и од избора калибрационе стратегије (приступа моделирању и броја и врсте циљних функција). Међутим, у свим овим случајевима заједнички је закључак да чак и овдје оцијењен најбољи модел нема успјешан трансфер на сушни период, без обзира на калибрациону стратегију. У свим осталим трансферима модел има одређени проценат успјешности.

При једнокритеријумској и вишекритеријумским оптимизацијама са различитим циљним функцијама примијењеним у овом докторату није пронађена комбинација којом се добијају параметри који обезбјеђују трансферабилност модела у свим потпериодима. Стога је извршен увид у површину одговора модела формирану од 20,000 одабраних скупова параметара методом Latin Hypercube Sampling – LHS. Доказује се да постоји барем један скуп параметара такав да је ефикасност (овдје мјерена са KGE) задовољавајућа (изнад 0.5) у свим потпериодима, за оба приступа моделирању. Ово важи за све сликове осим Вимере гдје само *abcd* и *Vudyko* (Слика 6.1) имају такве скупове параметара док остали модели немају. Такође, на сливу Топлице и у Тиреловом протоколу *Xinanjiang* модел нема овакав скуп параметара.



Слика 6.1. Вриједности KGE (на апсиси и ординати) за симулације *Vudyko* модела на Вимера сливу у различитим потпериодима назначеним на осама

У одговору *Vudyko* модела, дакле постоји такав скуп параметара са којима је модел трансферабилан на све потпериоде. Тачније, према LHS узорковању пронађено је 20 скупова параметара који испуњавају услов $KGE > 0.5$ у свим потпериодима истовремено.

Обзиром да је коришћен само један показатељ ефикасности као услов филтрирања ових скупова параметара, може да се очекује да неће сви показатељи и потписи бити у прихватљивим границама (заправо се показало да је веома мали број мјера ефикасности у недозвољеним границама).

Комбиновањем ових сазнања, закључује се да у случају овог модела и сливова коришћених у истраживању ограничена трансферабилност није толико узрокована његовом структуром, колико недовољно робусним калибрационим стратегијама. Да ли је проблем у самом оптимизационом алгоритму, у избору циљних функција, или процес калибрације треба оријентисати тако да паралелно тражи оптималне скупове параметара у више потпериода са различитим хидроклиматским карактеристикама, остаје да се истражи.

Остали анализирани модели, осим *abcd*, би могли бити унапријеђени да би се промијенила површина одговора модела у циљу укључивања нових скупова параметара који дају задовољавајућу ефикасност у свим потпериодима. У процесу испитивања алтернативних структура, компоненте од којих треба почети су „лабилне“ компоненте (веома осјетљиве на трансфер) уочене у евалуацији модела предложеној у овој дисертацији. Првенствено се мисли на компоненте које су дио подземних резервоара (G , R , Q_b), уз приједлог да се дода тај резервоар у структурама које га немају (нпр. WASMOD и WatBal). Ипак, ове компоненте се не могу посматрати као посебне цјелине, већ у спрези са свим осталим компонентама које заједно доприносе задовољавајућој ефикасности модела.

При моделирању у аридним подручјима, као што је слив Вимера, посебну пажњу треба обратити на задани максимални капацитет влажности тла, S_{max} . Ово је уобичајени параметар у структури модела којим се задаје горња граница капацитета влажности тла као фиксна. Међутим, према ранијим истраживањима (Hughes и остали 2012, Westra и остали 2014, Hughes and Vaze 2015) ова величина није фиксна већ се мијења са условима на сливу, попут количине падавина, температура које условљавају количине ЕТ и запремине подземних вода које варирају у зависности од ових услова. Максимални капацитет влажности тла би требао да буде промјенљива која зависи управо од ових наведених услова, и варира не само по сезонама (водни и сушни периоди године) већ и у зависности од биланса у претходној години односно годинама.

Код воднијих сливова са израженом компонентом снијега, поједини модели који немају овај модул би могли повећати ефикасност увођењем истог. Ова ефикасност се посебно одражава на ефикасност симулирања унутаргодишње расподјеле, али не нужно на остале аспекте ефикасности. Овај аспект, као и сам концепт прорачуна накупљања и отапања снијега остаје отворено питање за даља истраживања.

7 ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕПОРУКЕ

У овој докторској дисертацији анализирани су мјесечни билансни хидролошки модели и њихова примјена у условима промјенљиве климе. Ови модели имају широку практичну примјену, али су ријетко анализирани у овом контексту. Мотивација за бављење МБХМ-а су проблеми који се јављају у анализама утицаја климатских промјена на водне ресурсе гдје се до хидролошких пројекција долази примјеном хидролошких модела са климатским пројекцијама које могу значајно да одступају од осматраних са којима се модели калибришу. Да би се добиле поуздане симулације промјенљивим климатским условима, неопходно је да коришћени хидролошки модели буду робусни.

Робусни модели би требали да дају вјеродостојне симулације без обзира на карактеристике периода симулације. Досадашња истраживања показују да тренутне генерације хидролошких модела не могу ефикасно симулирати отицаје у периодима са различитим хидроклиматским карактеристикама. Ту је посебно изражен проблем симулација модела у сушном периоду ако је модел калибрисан у водном, али већина модела не даје вјеродостојне симулације ни у обратном случају.

У потрази за робусним моделима исте је неопходно прво истражити у овом контексту. У том циљу дефинисана је методологија за ригорозно тестирање МБХМ-а у условима промјене климе. Евалуациони оквир, предложен у овој дисертацији, тестира моделе при трансферима на различите периоде на:

- (а) Конзистентност у ефикасности квантификованом уобичајеним статистичким показатељима и показатељима који су формирано као грешке у репродуковању хидролошких потписа,
- (б) Конзистентност оцјене параметара модела у различитим калибрационим периодима,
- (с) Конзистентност симулираних компоненти водног биланса односно осјетљивост појединих симулираних компоненти на различите калибрационе периоде.

При калибрацији и валидацији модела које су саставни дио евалуационог оквира, разматрана су два приступа моделирању у погледу избора периода који се сматрају адекватним за примјену модела у климатски промјенљивим условима. У првом приступу укупан период осматрања се дијели на пет једнаких дијелова, а у другом на два, подјелом на сушни и водни.

Ови приступи моделирању су комбиновани са избором броја и врсте показатеља ефикасности модела, односно циљних функција, да би се добиле различите калибрационе стратегије. У оба приступа, шест МБХМ-а (*abcd*, *Budyko*, *GR2M*, *WASMOD*, *WatBal* и *Xinanjiang*) су калибрисани једнокритеријумском оптимизацијом и валидовани у предложеном евалуационом оквиру. Испитивање утицаја калибрације са једном или више циљних функција извршено је на првом приступу који се показао ригорознијим, са једним моделом који се показао као најпоузданији из претходне анализе утицаја калибрационе стратегије, и на једном сливу на коме је уочена екстремна промјена хидроклиматских услова.

Након спроведених прорачуна, испитан је утицај примјене метода вишемоделског осредњавања на трансферабилност модела. Ове анализе су урађене у циљу добијања одговора на питање да ли вишемоделско осредњавање даје поузданије резултате од појединачних модела. Осредњени су протицаји симулирани са свих шест модела у трансферу мјешовитог на водни период, гдје је ефикасност појединачних модела

прихватљива, и трансферу водни/сушни, гдје је ефикасност свих модела незадовољавајућа. Такође су осредњени резултати симулација добијених једним моделом али калибрисаним са више различитих комбинација циљних функција у вишекритеријумској оптимизацији.

Резултати упућују на сљедеће закључке.

Мјесечни билансни хидролошки модели могу репродуковати осмотрени водни биланс у промјенљивим климатским условима уз одређена ограничења. Ова ограничења зависе од модела, слива, показатеља ефикасности који се разматра и коришћеног приступа моделирању. У општем случају, модели могу репродуковати водни биланс на воднијим периодима у односу на калибрациони, али не сви и не на свим сливовима. На сушном сливу само модели *abcd* и *Budyko* су успјешни у овом смислу док остали модели могу да се користе на периодима са максимално 15% више падавина односно 2% мање потенцијалне евапотранспирације. Слично се закључује и за трансфер на сувљи период, с тим што ниједан модел не може да репродукује осмотрени водни биланс у периоду са 15% мање падавина односно 2% више РЕТ у односу на калибрациони.

На воднијим сливовима успјешност модела је већа, па су модели углавном трансферабилни (према већини показатеља) или нису (према хидролошким потписима који се лоше репродукују у свим периодима калибрације и валидације). Овдје су изузетак показатељи NSE_{sqrt} RSR према којима поједини модели (углавном *WatBal* и *Xinanjiang*) нису уопште трансферабилни или су границе трансферабилности веома мале.

У приступу моделирању са *DSST* протоколом трансферабилност модела се повећава у смислу да према појединим показатељима ефикасности (углавном хидролошким потписима) постају потпуно трансферабилни, иако то није био случај по Тиреловом протоколу. Међутим, ово се најмање одражава на сушни слив Вимера на коме има најмање побољшања.

Модели који су најуспјешнији у репродуковању осмотреног водног биланса су *Budyko* на сливовима Вимера и Камп и *abcd* и *WatBal* на сливу Топлица.

Ефикасност модела зависи од структуре модела, али и од слива и нумеричког показатеља ефикасности, те није у потпуности конзистентна. Сви анализирани МБХМ-и имају бољу ефикасност на водним сливовима према свим коришћеним мјерама ефикасности. Ефикасност истог модела према појединим потписима се такође мијења у зависности од слива, јер репродукција потписа зависи и од хидроклиматских услова на сливу. Детаљна евалуација урађена у овој дисертацији показала је да три модела, *Budyko*, *abcd* и *GR2M*, конзистентно дају најбоље резултате на сва три слива и према свим показатељима ефикасности из евалуационог оквира. То значи да за мјесечне отицаје предност имају структуре са два резервоара (залихе влажности тла и подземних вода) и 2-4 параметра, у односу на структуре са једним или три резервоара и већим бројем параметара (5-8).

Ефикасност модела квантификована грешкама хидролошких потписа зависи од слива. Нису сви потписи једнако информативни на сваком сливу. Највећи број потписа модели лоше репродукују на сушном сливу, док су на водним сливовима потписи много боље репродуковани. На свим сливовима само три потписа су увијек информативни, ϵ_{IAFD} , ϵ_{STD} и ϵ_{Q95} , док су потписи ϵ_{BFI} , ϵ_{Q5} и ϵ_{SEL} неинформативни и углавном или врло лоше репродуковани (нпр. ϵ_{BFI} и ϵ_{SEL} на сливу Камп и ϵ_{Q5} на сливовима Вимера и Топлица) или

веома добро (ϵ_{BF1} и ϵ_{SEL} на сливовима Вимера и Топлица и ϵ_{Q5} на сливу Камп), без обзира на период симулације.

Заједничко за све моделе и сливове је да су компоненте запремине подземних вода и базног отицаја проблематичан дио структуре модела. Наведене симулиране компоненте (као и параметри директно укључени у њихов прорачун) су неконзистентне односно осјетљиве на калибрациони период услјед чега показују велику варијабилност симулираних вриједности у зависности од оптималних сетова параметара са којима су симулиране. Ова варијабилност је углавном најизраженија у симулацијама са оптималним скупом параметара добијеним у сушном периоду.

Јединствен приступ дефинисања компоненти водног биланса модела у виду „понуде“ и „потражње“ коју има Вудуко модел очито обезбјеђује истовремено добру ефикасност модела као и конзистентност симулација компоненти водног биланса. Модел *abcd* нема овако конзистентне компоненте иако понегдје има већу ефикасност. GR2M има конзистентне компонентне али површина одговора овог модела није одговарајућа.

Ефикасност МБХМ-а зависи од примјене калибрационе стратегије, али не једнако на свим сливовима и према свим показатељима. На сушном сливу ефикасност је слична према оба приступа. На водним сливовима, приступом моделирању са два дужа периода за калибрацију и валидацију, ефикасност мјерена хидролошким потписима се побољшава за 15-20%. Ефикасност мјерена статистичким показатељима је код овог приступа већа за 15% само на умјерено водном сливу Топлице. У осталим случајевима повећање ефикасности је занемарљиво мало (1-2%).

Промјеном калибрације са једне на више циљних функција, повећава се ефикасност модела, нарочито у виду смањених грешака хидролошких потписа. Са најбољим резултатима са Парето-фронта, ефикасност мјерена грешкама потписа се повећава за 20%, док се према статистичким показатељима незнатно повећава. Ово упућује да је за добру репродукцију хидролошких потписа неопходно укључити више различитих циљних функција, нарочито из реда потписа. Посебно у овом смислу се издваја комбинација циљних функција RSR+WBE+IAFD према којој је значајно побољшана репродукција унутаргодишњих расподјела протицаја, средњих, малих и великих вода.

У овој дисертацији није пронађена калибрациона стратегија којом модели испуњавају постављене критеријуме о робусности у климатски промјенљивим условима. Проблем је критичан трансфер модела на сушни период који може успјешно да се превазиђе коришћењем методама вишемоделског осредњавања.

Увидом у површину одговора модела, закључује се да само два модела, *abcd* и Вудуко, имају такве скупове параметара са којима су модели трансферабилни на све потпериоде, укључујући и екстремно сушни период на Вимера сливу. Овим се показује да ограничења у трансферабилности ових модела нису посљедица (лоше) структуре, већ недовољно робусне калибрационе стратегије која не омогућава идентификацију таквих скупова параметара.

Вишемоделско осредњавање даје значајно боље резултате од сваког појединачног модела. Примјеном вишемоделског осредњавања добијају се симулације којима се обезбјеђује трансферабилност на сушни период те се препоручује овакав приступ. Од неколико коришћених метода у овој анализи, као најбоља се показала метода Гренџер-Раманатан (Granger-Ramanathan). Овом методом се добија најбоље слагање са осмотреним протицајима, а при томе није захтјевна у прорачунском смислу.

Важан закључак ове анализе је да методе вишемоделског осредњавања дају боље резултате осредњавањем симулација више различитих модела него осредњавањем симулација једног модела добијених из неколико различитих вишекритеријумских оптимизација. Без обзира што је свака симулација добијена из вишекритеријумске оптимизације ефикаснија у репродуковању осмотрених протицаја од симулација сваког појединачног модела, очигледно је више корисних информација за успјешан прорачун методе осредњавања садржано у симулацијама са различитим моделима.

Из претходних закључака могу да се дају сљедеће **препоруче** о МБХМ-а и њиховој примјени у условима промјенљиве климе:

- Евалуација МБХМ-а који ће се примјењивати у условима промјенљиве климе поред класичне провјере ефикасности треба да садржи провјеру конзистентности компоненти водног биланса. У квантификацију ефикасности модела морају бити укључени хидролошки потписи.
- Усвојени приступ моделирању мора бити такав да обезбиједи периоде за калибрацију и валидацију са контрастним хидроклиматским условима. Било који од два приступа коришћена у овом истраживању ће послужити, али за ригорознији тест треба користити приступ са више од два периода (нпр. Тирелов протокол). Ако се цијели период подијели на само два периода (што је стандард у хидролошком моделирању), симулациони периоди су дугачки, па долази до упросјечавања хидроклиматских карактеристика, односно, ти периоди не могу бити довољно водни или сушни да би обезбиједили робусну евалуацију трансферабилности модела. У овој дисертацији је показано да задовољавајућа ефикасност модела током дугачког цијелог периода не значи да модел добро репродукује понашање слива и током краћих, екстремнијих потпериода.
- При калибрацији модела треба користити вишекритеријумску оптимизацију гдје је бар једна циљна функција из реда хидролошких потписа. Предлаже се комбинација RSR+WBE+IAFD, са којом се значајно побољшава ефикасност модела квантификована грешкама хидролошких потписа, или NSE+BIAS+IAFD као сљедећа најбоља са којом су најконзистентније симулације компоненти водног биланса. Утицај хидролошког потписа у комбинацији циљних функција се огледава у значајном смањењу зависности параметара модела и хидроклиматских показатеља калибрационог периода. Ово упућује да са хидролошким потписом у комбинацији циљних функција, оптималне вриједности параметара осликавају стварне (хидролошке) процесе на сливу а не понашање модела условљено одређеним хидроклиматским карактеристикама калибрационог периода.
- За симулације отицаја препоручљиво је користити методе вишемоделског осредњавања добијене примјеном више модела. Вишемоделско осредњавање симулација различито калибрисаног истог модела такође резултује побољшањем ефикасности, али у мањој мјери него примјеном више модела. Као најпогоднија метода вишемоделског осредњавања, препоручује се метода Гренџер-Раманатан.
- Од свих анализираних модела, предност се даје Budyko моделу. Резултати добијени примјеном овог модела указују да је његова структура робуснија у односу на остале анализираних моделе, па би даљи развој МБХМ требало заснивати на структури Budyko модела. Нпр. ефикасност модела на сушним сливовима може да буде побољшана дефинисањем максималног капацитета влажности тла као функције сезонских, годишњих и вишегодишњих промјена. Ова вриједност не би

требало да буде константна из разлога што се континуалним сушама повећава капацитет влажности тла. Ово директно утиче на смањење залихе воде у подземним резервоарима, па се може очекивати мања осјетљивост ове компоненте на калибрациони период и поузданије симулације модела. На водним сливовима гдје су велике воде посљедица топљења снијега, унапријеђење модела може да се састоји од додавања компоненте за симулацију снијега, што би требало да резултује побољшаним репродуковањем унутаргодишње расподеле отицаја.

У даљим истраживањима било би корисно проширити анализе на више сливова да би се учврстили претходно донесени закључци. Из резултата је очито да је неопходно дефинисати робусну калибрациону стратегију за издвајање скупова параметара којима се добија задовољавајућа ефикасност у свим анализираним периодима. У трансферима на екстремно сушне периоде, мало је вјероватно да ће нека нова комбинација циљних функција у класичној калибрацији и валидацији ријешити проблем трансферабилности. У том смислу, потребно је тестирати приступ са симултаном оптимизацијом на свим потпериодима односно филтрирање Парето фронта тако да циљне функције испуњавају задане границе на свим потпериодима истовремено (слично као што су предложили Fowler и остали 2016 на два периода). Калибрација модела неким другим оптимизациони алгоритмом би учврстила закључке донесене овдје.

За даљу евалуацију везе између структуре модела и његове трансферабилности, било би корисно креирање алтернативних структура модела, примјењујући принципе усвојене у FUSE методологији која је развијена за моделе са дневним рачунским кораком (Clark и остали, 2008), те евалуација нових структура МБХМ-а. Са таквим резултатима моћи ће се дати одговор која компонента највише утиче на ефикасност модела и да ли су поједине компоненте подједнако битне за ефикасност модела на више сливова. Овакве анализе омогућиле би и квантификацију структуралне неизвјесности МБХМ.

У будућим истраживањима, предложени евалуациони оквир се може модификовати за примјену на дневним билансним моделима те провјерити да ли овдје изведени закључци и препоруке вриједе и за њих.

8 ЛИТЕРАТУРА

- Addor, N., Nearing, G., Prieto, C., Newman, A.J., Vine, N. Le, and Clark, M.P., 2018. Selection of hydrological signatures for large- sample hydrology. *Water Resources Research*, 54 (11), 8792–8812.
- Ajami, N.K., Duan, Q., Gao, X., and Sorooshian, S., 2006. Multimodel Combination Techniques for Analysis of Hydrological Simulations : Application to Distributed Model Intercomparison Project Results. *Journal of Hydrometeorology*, 7 (4), 755–768.
- Akaike, H., 1970. Statistical predictor identification. *Annals of the Institute of Statistical Mathematics*, 22 (1), 203–217.
- Akaike, H., 1974. A New Look at the Statistical Model Identification. *IEEE Transactions on automatic control*, 19 (6), 716–723.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrigation and Drainage Paper No. 56, FAO*, (56), 300.
- Allen, R.G., Pruitt, W.O., Wright, J.L., Howell, T.A., Ventura, F., Snyder, R., Itenfisu, D., Steduto, P., Berengena, J., and Yrisarry, J.B., 2006. A recommendation on standardized surface resistance for hourly calculation of reference ETo by the FAO56 Penman-Monteith method. *Agricultural Water Management*, 81 (1–2), 1–22.
- Allen, R.G., Walter, I.A., Elliott, R., Howell, T., Itenfisu, D., and Jensen, M., 2005. *The ASCE standardized reference evapotranspiration equation*.
- Alley, W.M., 1984. On the Treatment of Evapotranspiration, Soil Moisture Accounting, and Aquifer Recharge in Monthly Water Balance Models. *Water Resources Research*, 20 (8), 1137–1149.
- Andréassian, V., Le Moine, N., Perrin, C., Ramos, M.-H., Oudin, L., Mathevet, T., Lerat, J., and Berthet, L., 2012. All that glitters is not gold: the case of calibrating hydrological models. *Hydrological Processes*, 26 (14), 2206–2210.
- Andréassian, V., Perrin, C., Berthet, L., Le Moine, N., Lerat, J., Loumagne, C., Oudin, L., Mathevet, T., Ramos, M.-H., and Valéry, A., 2009. Crash tests for a standardized evaluation of hydrological models. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6 (3), 3669–3685.
- Arnell, N.W., 1992. Factors controlling the effects of climate change on river flow regimes in a humid temperate environment. *Journal of Hydrology*, 132 (1–4), 321–342.
- Arsenault, R., Gatién, P., Renaud, B., Brissette, F.P., and Martel, J.L., 2015. A comparative analysis of 9 multi-model averaging approaches in hydrological continuous streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 529 (P3), 754–767.
- Arsenault, R., Poulin, A., Côté, P., and Brissette, F.P., 2013. A comparison of Stochastic Optimization Algorithms in Hydrological Model Calibration. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19 (7), 1374–1384.
- Bai, P., Liu, X., Liang, K., and Liu, C., 2015. Comparison of performance of twelve monthly water balance models in different climatic catchments of China. *Journal of Hydrology*, 529 (3), 1030–1040.
- Di Baldassarre, G. and Montanari, A., 2009. Uncertainty in river discharge observations: A quantitative analysis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13 (6), 913–921.
- Banimahd, S.A., Khalili, D., Kamgar-Haghighi, A.A., and Zand-Parsa, S., 2015. Evapotranspiration

- model selection for estimation of actual evaporation from bare soil, as required in annual potential groundwater recharge studies of a semi-arid foothill region. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 61 (10), 1455–1472.
- Bastola, S., Murphy, C., and Sweeney, J., 2011. The role of hydrological modelling uncertainties in climate change impact assessments of Irish River catchments. *Advances in Water Resources*, 34 (5), 562–576.
- Bates, J.M. and Granger, C., 1969. Combination of Forecasts. *Operational Research Quarterly*, 20 (4), 451–468.
- Bayes, T. and Price, R., 1763. An essay towards solving a problem in the doctrine of chances. By the late Rev. Mr. Bayes, F.R.S. communicated by Mr. Price, in a letter to John Canton, A.M.F.R.S. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 53, 370–418.
- Beekman, H.E. and Xu, Y., 2003. Review of groundwater recharge estimation in arid and semi-arid Southern Africa. In: Y. Xu and H.E. Beekman, eds. *Groundwater Recharge Estimation in Southern Africa*. Cape Town: UNESCO Paris, 207.
- van der Beken, A. and Byloos, J., 1977. A monthly water balance model including deep infiltration and canal losses. *Hydrological Sciences Journal*, 22 (3), 341–351.
- Bennett, N.D., Croke, B.F.W., Guariso, G., Guillaume, J.H.A., Hamilton, S.H., Jakeman, A.J., Marsili-Libelli, S., Newham, L.T.H., Norton, J.P., Perrin, C., Pierce, S.A., Robson, B., Seppelt, R., Voinov, A.A., Fath, B.D., and Andréassian, V., 2013. Characterising performance of environmental models. *Environmental Modelling and Software*, 40 (February 2013), 1–20.
- Bennett, N.D., Croke, B.F.W., Jakeman, A.J., and Newham, L.T.H., 2010. Performance Evaluation of Environmental Models, (July 2010).
- Besbes, M. and de Marsily, G., 1984. From infiltration to recharge: use of a parametric transfer function. *Journal of Hydrology*, 74, 271–293.
- Beven, K., 1993. Prophecy, reality and uncertainty in distributed hydrological modelling. *Advances in Water Resources*, 16 (1), 41–51.
- Beven, K., 2004. Robert E. Horton's perceptual model of infiltration processes. *Hydrological Processes*, 18 (17), 3447–3460.
- Beven, K., 2006a. *Streamflow generation processes*. Benchmark papers in hydrology, 1. IAHS/AISH.
- Beven, K., 2006b. A manifesto for the equifinality thesis. *Journal of Hydrology*, 320 (1), 18–36.
- Beven, K., 2009. *Environmental Modelling : An Uncertain Future ?*
- Beven, K., 2012. *Rainfall-runoff modelling: the primer*. Rainfall-Runoff Modelling: The Primer: Second Edition.
- Beven, K., 2015. Facets of uncertainty: epistemic uncertainty, non-stationarity, likelihood, hypothesis testing, and communication. *Hydrological Sciences Journal*.
- Beven, K. and Binley, A., 1992. The future of distributed models: model calibration and uncertainty prediction. *Hydrological Processes*, 6 (December 2015), 279–298.
- Beven, K. and Freer, J., 2001. Equifinality, data assimilation, and uncertainty estimation in mechanistic modelling of complex environmental systems using the GLUE methodology. *Journal of Hydrology*, 249 (1), 11–29.
- Beven, K., Smith, P.J., and Wood, A., 2011. On the colour and spin of epistemic error (and what we might do about it). *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 8 (3), 5355–5386.

- Beven, K. and Westerberg, I., 2011. On red herrings and real herrings: disinformation and information in hydrological inference. *Hydrological Processes*, 25 (10), 1676–1680.
- Biondi, D., Freni, G., Iacobellis, V., Mascaro, G., and Montanari, A., 2012. Validation of hydrological models: Conceptual basis, methodological approaches and a proposal for a code of practice. *Physics and Chemistry of the Earth*, 42–44, 70–76.
- Blasone, R.-S., Madsen, H., and Rosbjerg, D., 2006. Comparison of parameter estimation algorithm in hydrological modelling. *Proceedings of ModelCARE'2005*, (June 2005), 67–72.
- Booij, M.J. and Krol, M.S., 2010. Balance between calibration objectives in a conceptual hydrological model. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (6), 1017–1032.
- Bouchet, R.J., 1963. Évapotranspiration Réelle Et Potentielle Signification Climatique. *International Association of Science and Hydrology*, 62, 134–162.
- Boyle, D.P., Gupta, H. V., and Sorooshian, S., 2000. Toward improved calibration of hydrologic models: Combining the strengths of manual and automatic methods. *Water Resources Research*, 36 (12), 3663–3674.
- Brigode, P., Oudin, L., and Perrin, C., 2013. Hydrological model parameter instability: A source of additional uncertainty in estimating the hydrological impacts of climate change? *Journal of Hydrology*, 476, 410–425.
- Buckland, S.T., Burnham, K.P., and Augustin, N.H., 1997. Model Selection: An Integral Part of Inference. *Biometrics*, 53 (2), 603.
- Budyko, M.I., 1958. The heat balance of the Earth's surface.
- Burnash, R.J.C., 1995. The NWS River Forecast System - catchment modeling. In: V.P. Singh, ed. *Computer Models of Watershed Hydrology*. Water Resources Publications, 311–366.
- Burnham, K.P. and Anderson, D.R., 2001. *Model Selection and Inference: A Practical Information-Theoretic Approach*. 2nd ed. New York: Springer.
- Butts, M.B., Payne, J.T., Kristensen, M., and Madsen, H., 2004. An evaluation of the impact of model structure on hydrological modelling uncertainty for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 298 (1–4), 242–266.
- Cappus, P., 1960. Etude des lois de l'écoulement. Application au calcul et à la prévision des débits. *La Houille Blanche*, 493–518.
- Cavadias, G. and Morin, G., 1986. The Combination of Simulated Discharges of Hydrological Models. *Hydrology Research*, 17 (1), 21–32.
- Ceola, S., Montanari, A., and Koutsoyiannis, D., 2014. Toward a theoretical framework for integrated modeling of hydrological change. *WIREs Water*, 1–12.
- Chen, X., Chen, Y.D., and Xu, C., 2007. A distributed monthly hydrological model for integrating spatial variations of basin topography and rainfall. *Hydrological Processes*, 21, 242–252.
- Chiew, F.H.S. and McMahon, T.A., 1993. Assessing the adequacy of catchment streamflow yield estimates. *Soil Research*, 31 (5), 665–680.
- Chiew, F.H.S., Teng, J., Vaze, J., Post, D.A., Perraud, J.M., Kirono, D.G.C., and Viney, N.R., 2009. Estimating climate change impact on runoff across southeast Australia: Method, results, and implications of the modeling method. *Water Resources Research*, 45 (10), 1–17.
- Chiew, F.H.S. and Vaze, J., 2015. Hydrologic nonstationarity and extrapolating models to predict the future: Overview of session and proceeding. *IAHS-AISH Proceedings and Reports*, 371, 17–21.

- Clark, M.P., Kavetski, D., and Fenicia, F., 2011. Pursuing the method of multiple working hypotheses for hydrological modeling. *Water Resources Research*, 47 (9), 1–16.
- Clark, M.P., Nijssen, B., Lundquist, J.D., Kavetski, D., Rupp, D.E., Woods, R.A., Freer, J.E., Gutmann, E.D., Wood, A.W., Brekke, L.D., Arnold, J.R., Gochis, D.J., and Rasmussen, R.M., 2015. A unified approach for process-based hydrologic modeling: 1. Modeling concept. *Water Resources Research*, 51, 2498–2514.
- Clark, M.P., Slater, A.G., Rupp, D.E., Woods, R., Vrugt, J. a., Gupta, H. V., Wagener, T., and Hay, L.E., 2008. Framework for Understanding Structural Errors (FUSE): A modular framework to diagnose differences between hydrological models. *Water Resources Research*, 44, 1–14.
- Clemen, R.T., 1989. Combining forecasts: A review and annotated bibliography. *International Journal of Forecasting*, 5 (4), 559–583.
- Conway, D., 1997. A water balance model of the Upper Blue Nile in Ethiopia. *Hydrological Sciences Journal*, 42 (2), 265–286.
- Coron, L., Andréassian, V., Perrin, C., Bourqui, M., and Hendrickx, F., 2014. On the lack of robustness of hydrologic models regarding water balance simulation: a diagnostic approach applied to three models of increasing complexity on 20 mountainous catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18 (2), 727–746.
- Coron, L., Andréassian, V., Perrin, C., Lerat, J., Vaze, J., Bourqui, M., and Hendrickx, F., 2012. Crash testing hydrological models in contrasted climate conditions: An experiment on 216 Australian catchments. *Water Resources Research*, 48 (5), 1–17.
- Crochemore, L., Perrin, C., Andréassian, V., Ehret, U., Seibert, S.P., Grimaldi, S., Gupta, H., and Paturel, J.E., 2015. Comparing expert judgement and numerical criteria for hydrograph evaluation. *Hydrological Sciences Journal*, 60 (3), 402–423.
- CSIRO, 2015. Climate variability and climate change [online]. Available from: <https://www.climatechangeinaustralia.gov.au/en/climate-campus/climate-system/variability-vs-change/> [Accessed 28 Nov 2019].
- Daniel, E.B., Camp, J. V., LeBoeuf, E.J., Penrod, J.R., Dobbins, J.P., and Abkowitz, M.D., 2011. Watershed Modeling and its Applications: A State-of-the-Art Review. *The Open Hydrology Journal*, 5 (1), 26–50.
- Deb, K., 2002. A Fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6 (2), 182–197.
- Dekking, M., 2005. A modern introduction to probability and statistics : understanding why and how.
- Deng, C., Liu, P., Guo, S., Li, Z., and Wang, D., 2016. *Identification of hydrological model parameters variation using ensemble Kalman filter*. Hydrology and Earth System Sciences Discussions.
- Deng, C., Liu, P., Wang, D., and Wang, W., 2018. Temporal variation and scaling of parameters for a monthly hydrologic model. *Journal of Hydrology*, 558, 290–300.
- Deng, C., Liu, P., Wang, W., Shao, Q., and Wang, D., 2019. Modelling time-variant parameters of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 573, 918–936.
- Diks, C.G.H. and Vrugt, J.A., 2010. Comparison of point forecast accuracy of model averaging methods in hydrologic applications. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24 (6), 809–820.
- Doherty, J., 2018. PEST: Model-Independent Parameter Estimation User’s Manual.

- Donnelly-Makowecki, L.M. and Moore, R.D., 1999. Hierarchical testing of three rainfall–runoff models in small forested catchments. *Journal of Hydrology*, 219 (3), 136–152.
- Donnelly, C., Andersson, J.C.M., and Arheimer, B., 2015. Using flow signatures and catchment similarities to evaluate the E-HYPE multi-basin model across Europe. *Hydrological Sciences Journal*.
- Du, J., Rui, H., Zuo, T., Li, Q., Zheng, D., Chen, A., Xu, Y., and Xu, C.-Y., 2013. Hydrological Simulation by SWAT Model with Fixed and Varied Parameterization Approaches Under Land Use Change. *Water Resources Management*, 27 (8), 2823–2838.
- Duan, Q., Schaake, J., Andréassian, V., Franks, S., Goteti, G., Gupta, H. V., Gusev, Y.M., Habets, F., Hall, A., Hay, L., Hogue, T., Huang, M., Leavesley, G., Liang, X., Nasonova, O.N., Noilhan, J., Oudin, L., Sorooshian, S., Wagener, T., and Wood, E.F., 2006. Model Parameter Estimation Experiment (MOPEX): An overview of science strategy and major results from the second and third workshops. *Journal of Hydrology*, 320 (1–2), 3–17.
- Duan, Q., Sorooshian, S., and Gupta, H. V., 1992. Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models. *Water Resources Research*, 28 (4), 1015–1031.
- Duan, Q.Y., Gupta, V.K., and Sorooshian, S., 1993. Shuffled complex evolution approach for effective and efficient global minimization. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 76 (3), 501–521.
- Dunn, S.M., 1999. Imposing constraints on parameter values of a conceptual hydrological model using baseflow response. *Hydrology and Earth System Sciences*, 3 (2), 271–284.
- Dunne, T., 1978. Field studies of hillslope flow processes. *Hillslope Hydrology*, (January 1978), 227–293.
- Eckhardt, K., 2005. How to construct recursive digital filters for baseflow separation. *Hydrological Processes*, 19 (2), 507–515.
- Eckhardt, K., 2012. Technical note: Analytical sensitivity analysis of a two parameter recursive digital baseflow separation filter. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16 (2), 451–455.
- Edijatno, C. and Michel, C., 1989. Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche*, (2), 113–122.
- Efstratiadis, A. and Koutsoyiannis, D., 2008. Fitting Hydrological Models on Multiple Responses Using the Multiobjective Evolutionary Annealing-Simplex Approach. In: R.J. Abrahart, L.M. See, and D.P. Solomatine, eds. *Practical Hydroinformatics: Computational Intelligence and Technological Developments in Water Applications*. Berlin, Germany: Springer Water Science and Technology Library, vol. 68, Springer-Verlag, 259–273.
- Efstratiadis, A. and Koutsoyiannis, D., 2010. One decade of multi-objective calibration approaches in hydrological modelling: a review. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (1), 58–78.
- Ehret, U. and Zehe, E., 2011. Series distance - An intuitive metric to quantify hydrograph similarity in terms of occurrence, amplitude and timing of hydrological events. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (3), 877–896.
- van Esse, W.R., Perrin, C., Booij, M.J., Augustijn, D.C.M., Fenicia, F., Kavetski, D., and Lobligeois, F., 2013. The influence of conceptual model structure on model performance: A comparative study for 237 French catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (10), 4227–4239.
- Euser, T., Winsemius, H.C., Hrachowitz, M., Fenicia, F., Uhlenbrook, S., and Savenije, H.H.G., 2013.

- A framework to assess the realism of model structures using hydrological signatures. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (5), 1893–1912.
- Fenicia, F., Kavetski, D., and Savenije, H.H.G., 2011. Elements of a flexible approach for conceptual hydrological modeling: 1. Motivation and theoretical development. *Water Resources Research*, 47 (11), 1–13.
- Fenicia, F., Savenije, H.H.G., Matgen, P., and Pfister, L., 2007. A comparison of alternative multiobjective calibration strategies for hydrological modeling. *Water Resources Research*, 43 (3).
- Fenicia, F., Savenije, H.H.G., Matgen, P., and Pfister, L., 2008. Understanding catchment behavior through stepwise model concept improvement. *Water Resources Research*, 44 (1), 1–13.
- Fleming, S.W., Marsh Lavenue, A., Aly, A.H., and Adams, A., 2002. Practical applications of spectral analysis of hydrologic time series. *Hydrological Processes*, 16 (2), 565–574.
- Fowler, J.K.A., 2017. Towards improved rainfall-runoff modelling in changing climatic conditions. The University of Melbourne.
- Fowler, K., Coxon, G., Freer, J., Peel, M., Wagener, T., Western, A., Woods, R., and Zhang, L., 2018. Simulating runoff under changing climatic conditions: a framework for model improvement. *Water Resources Research*, 54, 1–21.
- Fowler, K.J.A., Peel, M.C., Western, A.W., Zhang, L., and Peterson, T.J., 2016. Simulating runoff under changing climatic conditions: Revisiting an apparent deficiency of conceptual rainfall-runoff models. *Water Resources Research*, 52, 1820–1846.
- Freeze, R.A., 1974. Streamflow generation. *Reviews of Geophysics*, 12 (4), 627–647.
- Fu, B.P., 1981. On the Calculation of the Evaporation from Land Surface. *Scientia Atmospherica Sinica*, 5, 23–31.
- Georgakakos, K.P., Seo, D.-J., Gupta, H., Schaake, J., and Butts, M.B., 2004. Towards the characterization of streamflow simulation uncertainty through multimodel ensembles. *Journal of Hydrology*, 298 (1), 222–241.
- Gibbs, M.S., McInerney, D., Humphrey, G., Thyer, M.A., Maier, H.R., Dandy, G.C., and Kavetski, D., 2018. State updating and calibration period selection to improve dynamic monthly streamflow forecasts for an environmental flow management application. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (1), 871–887.
- Görgens, A.H.M., 1983. Reliability of calibration of a monthly rainfall-runoff model: The semiarid case. *Hydrological Sciences Journal*, 28 (4), 485–498.
- Granger, C.W.J. and Ramanathan, R., 1984. Improved methods of combining forecasts. *Journal of Forecasting*, 3 (2), 197–204.
- Green, W.H. and Ampt, G., 1911. Studies of soil physics, part I – the flow of air and water through soils. *Journal of Agrucultural Science*, 4, 1–24.
- Griffen, J., 2014. A continuous hydrologic model structure for applications at multiple time scales. University of Central Florida.
- Guo, S.L., 1995. Impact of climatic change on hydrological balance and water resource systems in the Dongjiang Basin, China. In: *Proceedings of a Boulder Symposium*. IAHS Publication no. 231, 141–150.
- Guo, S.L., Wang, J., and Yang, J., 2001. A semi-distributed hydrological model and its application in a macroscale basin in China. In: *Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-*

Scale Hydrological models. 167–174.

- Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K.K., and Martinez, G.F., 2009. Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling. *Journal of Hydrology*, 377 (1–2), 80–91.
- Gupta, H. V., Perrin, C., Blöschl, G., Montanari, A., Kumar, R., Clark, M.P., and Andréassian, V., 2014. Large-sample hydrology: a need to balance depth with breadth. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18 (2), 463–477.
- Gupta, H. V., Sorooshian, S., and Yapo, P.O., 1998. Toward improved calibration of hydrologic models: Multiple and noncommensurable measures of information. *Water Resources Research*, 34 (4), 751–763.
- Gupta, H. V., Wagener, T., and Liu, Y., 2008. Reconciling theory with observations: elements of a diagnostic approach to model evaluation. *Hydrological processes*, 22, 3802–3813.
- Hagedorn, R., Doblas-Reyes, F.J., and Palmer, T.N., 2005. The rationale behind the success of multi-model ensembles in seasonal forecasting - I. Basic concept. *Tellus, Series A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 57 (3), 219–233.
- Hannachi, A., Jolliffe, I.T., and Stephenson, D.B., 2007. Empirical orthogonal functions and related techniques in atmospheric science: A review. *International Journal of Climatology*, 27 (May), 1119–1152.
- Harrell, F.E., Lee, K.L., and Mark, D.B., 1996. Tutorial in biostatistics: multivariable prognostic models. *Statistics in Medicine*, 15, 361–387.
- Hartmann, G. and Bardossy, A., 2005. Investigation of the transferability of hydrological models and a method to improve model calibration. *Advances in Geosciences*, 5, 83–87.
- Hay, L.E. and McCabe, G.J., 2002. Spatial Variability in Water-Balance Model Performance in the Conterminous United States¹. *Journal of the American Water Resources Association*, 38 (3), 847–860.
- Hendrickx, J.M.H., 1997. Groundwater Recharge. A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge (Volume 8, International Contributions to Hydrogeology). In: I. Simmers, ed. *Recharge of Phreatic Aquifers in (Semi-) Arid Areas*. Rotterdam, The Netherlands: Balkema, 19–111.
- Henriksen, H.J., Troldborg, L., Nyegaard, P., Sonnenborg, T.O., Refsgaard, J.C., and Madsen, B., 2003. Methodology for construction, calibration and validation of a national hydrological model for Denmark. *Journal of Hydrology*, 280 (1), 52–71.
- Herman, J.D., Reed, P.M., and Wagener, T., 2013. Time-varying sensitivity analysis clarifies the effects of watershed model formulation on model behavior. *Water Resources Research*, 49 (February), 1400–1414.
- Heuvelmans, G., Muys, B., and Feyen, J., 2004. Evaluation of hydrological model parameter transferability for simulating the impact of land use on catchment hydrology. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 29 (11), 739–747.
- Hewlett, J.D. and Hibbert, A.R., 1967. Factors affecting the response of small watersheds to precipitation in humid areas. In: W.E. Sopper and H.W. Lull, eds. *Forest hydrology*. New York: Pergamon Press, 275–291.
- Heydari, M.M., Aghamajidi, R., Beygipoor, G., and Heydari, M., 2014. Comparison and evaluation of 38 equations for estimating reference evapotranspiration in an arid region. *Fresenius Environmental Bulletin*, 23 (8a), 1985–1996.

- Hingray, B., Schaefli, B., Mezghani, A., and Hamdi, Y., 2010. Signature-based model calibration for hydrological prediction in mesoscale Alpine catchments. *Hydrological Sciences Journal*, 55 (6), 1002–1016.
- Holland, J.H., 1975. Genetic Algorithms. *Scinetif.Am.*, (44).
- Hornberger, G.M. and Spear, R.C., 1981. An approach to the preliminary analysis of environmental systems. *Journal of Environmental Management*, 12 (1), 7–18.
- Horton, R.E., 1933. The Rôle of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions American Geophysical Union*, 14 (1), 446–460.
- Houghton-Carr, H.A., 1999. Assessment criteria for simple conceptual daily rainfall-runoff models. *Hydrological Sciences Journal*, 44 (2), 237–261.
- Hrachowitz, M., Fovet, O., Ruiz, L., Euser, T., Gharari, S., Nijzink, R., Freer, J., Savenije, H.H.G., and Gascuel-Oudou, C., 2014. Process consistency in models: The importance of system signatures, expert knowledge, and process complexity. *Water Resources Research*, 50 (9), 7445–7469.
- Hughes, D.A., 1989. Estimation of the parameters of an isolated event conceptual model from physical catchment characteristics. *Hydrological Sciences Journal*, 34 (5), 539–557.
- Hughes, D.A., 2004. Incorporating groundwater recharge and discharge functions into an existing monthly rainfall-runoff model. *Hydrological Sciences Journal*, 49 (2), 297–312.
- Hughes, D.A., 2015. Simulating temporal variability in catchment response using a monthly rainfall-runoff model. *Hydrological Sciences Journal*, 60 (7–8), 1286–1298.
- Hughes, J.D., Petrone, K.C., and Silberstein, R.P., 2012. Drought, groundwater storage and stream flow decline in southwestern Australia. *Geophysical Research Letters*, 39 (3), 1–6.
- Hughes, J.D., Silberstein, R., and Grigg, A., 2013. Extending rainfall-runoff models for use in environments with long - term catchment storage and forest cover changes. In: *MODSIM2013, 20th International Congress on Modelling and Simulation*. Adelaide: Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand, 1–6.
- Hughes, J.D. and Vaze, J., 2015. Non-stationarity driven by long-term change in catchment storage: possibilities and implications. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 371, 7–12.
- Jain, L., Haldar, R., and Khosa, R., 2013. Hillslope Runoff Processes and Modelling. *International Journal of Earth Sciences and Engineering*, 7 (1), 9.
- Jakeman, A.J. and Hornberger, G.M., 1993. How Much Complexity Is Warranted in a Rainfall-Runoff Model? *Water Resources Research*, 29 (8), 2637–2649.
- Jarihani, B., Sidle, R.C., Bartley, R., Roth, C.H., and Wilkinson, S.N., 2017. Characterisation of hydrological response to rainfall at multi spatio-temporal scales in savannas of semi-arid Australia. *Water (Switzerland)*, 9 (7), 7–9.
- Jiang, T., Chen, Y.D., Xu, C., Chen, X., Chen, X., and Singh, V.P., 2007. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *Journal of Hydrology*, 336 (3–4), 316–333.
- Jin, X., Xu, C., Zhang, Q., and Chen, Y.D., 2009. Regionalization study of a conceptual hydrological model in Dongjiang basin, south China. *Quaternary International*, 208 (1), 129–137.
- Johansson, B., 1994. The relationship between catchment characteristics and the parameters of a conceptual runoff model: a study in the south of Sweden. *IAHS Publications-Series of*

- Proceedings and Reports- ...*, (221), 475–482.
- Kaczmarek, Z., 1993. Water balance model for climate impact analysis. *ACTA Geophysica Polonica*, 41, 423–437.
- Kaczmarek, Z. and Krasuski, D., 1991. *Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability*. No. WP-91-047.
- Kavetski, D. and Clark, M.P., 2010. Ancient numerical daemons of conceptual hydrological modeling: 2. Impact of time stepping schemes on model analysis and prediction. *Water Resources Research*, 46 (10), 1–27.
- Kavetski, D. and Fenicia, F., 2011. Elements of a flexible approach for conceptual hydrological modeling: 2. Application and experimental insights. *Water Resources Research*, 47 (11), 1–19.
- Kavetski, D., Kuczera, G., and Franks, S.W., 2006a. Bayesian analysis of input uncertainty in hydrological modeling: 1. Theory. *Water Resources Research*, 42 (3), 1–9.
- Kavetski, D., Kuczera, G., and Franks, S.W., 2006b. Bayesian analysis of input uncertainty in hydrological modeling: 2. Application. *Water Resources Research*, 42 (3), 1–10.
- Kelleher, C., McGlynn, B., and Wagener, T., 2016. Characterizing and reducing equifinality by constraining a distributed catchment model with regional signatures, local observations, and process understanding. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (December), 1–46.
- Kennedy, J. and Eberhart, R.C., 2001. *Swarm intelligence*. The Morgan Kaufmann Series in Evolutionary Computation. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- Kirchner, J.W., 2003. A double paradox in catchment hydrology and geochemistry. *Hydrological Processes*, 17 (4), 871–874.
- Kirchner, J.W., 2006. Getting the right answers for the right reasons: Linking measurements, analyses, and models to advance the science of hydrology. *Water Resources Research*, 42 (3), 1–5.
- Kirchner, J.W., Hooper, R.P., Kendall, C., Neal, C., and Leavesley, G., 1996. Testing and validating environmental models. *Science of the Total Environment*.
- Kizza, M., Guerrero, J.L., Rodhe, A., Xu, C.Y., and Ntale, H.K., 2013. Modelling catchment inflows into Lake Victoria: Regionalisation of the parameters of a conceptual water balance model. *Hydrology Research*, 44 (5), 789–808.
- Kjeldsen, T.R. and Jones, D.A., 2009. An exploratory analysis of error components in hydrological regression modeling. *Water Resources Research*, 45 (2), 1–13.
- Klemeš, V., 1986. Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrological Sciences Journal*, 31 (1), 13–24.
- Kouchi, D.H., Esmaili, K., Faridhosseini, A., Sanaeinejad, S.H., Khalili, D., and Abbaspour, K.C., 2017. Sensitivity of calibrated parameters and water resource estimates on different objective functions and optimization algorithms. *Water (Switzerland)*, 9 (6), 1–16.
- Koutsoyiannis, D., 2013. Hydrology and change. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (6), 1177–1197.
- Koutsoyiannis, D. and Montanari, A., 2015. Negligent killing of scientific concepts: the stationarity case. *Hydrological Sciences Journal*, 60 (7–8), 1174–1183.
- Krause, P., Boyle, D.P., and Bäse, F., 2005. Comparison of different efficiency criteria for

- hydrological model assessment. *Advances in Geosciences*, 5 (January), 89–97.
- Kuczera, G., 1996. Correlated Rating Curve Error in Flood Frequency Inference. *Water Resources Research*, 32 (7), 2119–2127.
- Le Lay, M., Galle, S., Saulnier, G.M., and Braud, I., 2007. Exploring the relationship between hydroclimatic stationarity and rainfall-runoff model parameter stability: A case study in West Africa. *Water Resources Research*, 43 (7), 1–10.
- Leaf, C.F. and Brink, G.E., 1973. Computer simulation of snowmelt within a Colorado subalpine watershed.
- Legates, D.R. and McCabe, G.J., 1999. Evaluating the use of ‘goodness-of-fit’ measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resources Research*, 35 (1), 233–241.
- Li, C.Z., Zhang, L., Wang, H., Zhang, Y.Q., Yu, F.L., and Yan, D.H., 2012. The transferability of hydrological models under nonstationary climatic conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16 (4), 1239–1254.
- Li, W. and Sankarasubramanian, A., 2012. Reducing hydrologic model uncertainty in monthly streamflow predictions using multimodel combination. *Water Resources Research*, 48 (12), 1–17.
- Li, X., 2014. Automatic Calibration of Parameters in the Xinanjiang Model. Nagaoka University of Technology.
- Lin, Z. and Beck, M.B., 2007. On the identification of model structure in hydrological and environmental systems. *Water Resources Research*, 43 (2), 1–19.
- Liu, S., Mo, X., Leslie, L.M., Speer, M.S., Bunker, R., and Zhao, W., 2001. Another look at the Xinanjiang Model: from theory to practice. *Proceedings of MODSIM 2013 - 20th International Congress on Modelling and Simulation, 1-6 December 2013*.
- Lu, M. and Li, X., 2014. Time scale dependent sensitivities of the XinAnJiang model parameters. *Hydrological Research Letters*, 8 (1), 51–56.
- Madsen, H., 2000. Automatic calibration of a conceptual rainfall-runoff model using multiple objectives. *Journal of Hydrology*, 235 (3), 276–288.
- Makhlouf, Z. and Michel, C., 1994. A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *Journal of Hydrology*, 162 (3), 299–318.
- Markonis, Y. and Koutsoyiannis, D., 2013. Climatic Variability Over Time Scales Spanning Nine Orders of Magnitude: Connecting Milankovitch Cycles with Hurst-Kolmogorov Dynamics. *Surveys in Geophysics*, 34 (2), 181–207.
- Marshall, L., Nott, D., and Sharma, A., 2007. Towards dynamic catchment modelling: a Bayesian hierarchical mixtures of experts framework. *Hydrological Processes*, 21 (7), 847–861.
- Martinez, G.F. and Gupta, H. V., 2010. Toward improved identification of hydrological models: A diagnostic evaluation of the ‘abcd’ monthly water balance model for the conterminous United States. *Water Resources Research*, 46 (8), 1–21.
- Martinez, G.F. and Gupta, H. V., 2011. Hydrologic consistency as a basis for assessing complexity of monthly water balance models for the continental United States. *Water Resources Research*, 47 (12), W12540.
- McDonnell, J.J., 2003. Where does water go when it rains? Moving beyond the variable source area concept of rainfall-runoff response. *Hydrological Processes*, 17 (9), 1869–1875.

- McKay, M.D., Beckman, R.J., and Conover, W.J., 1979. A Comparison of Three Methods for Selecting Values of Input Variables in the Analysis of Output from a Computer Code. *Technometrics*, 21 (2), 239–245.
- McLeod, A.I. and Hipel, K.W., 1995. Exploratory spectral analysis of hydrological times series. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 9 (3), 171–205.
- McMahon, T.A., Peel, M.C., Lowe, L., Srikanthan, R., and McVicar, T.R., 2013. Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: A pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17 (4), 1331–1363.
- McMillan, H., Jackson, B., Clark, M.P., Kavetski, D., and Woods, R., 2011. Rainfall uncertainty in hydrological modelling: An evaluation of multiplicative error models. *Journal of Hydrology*, 400 (1), 83–94.
- McMillan, H.K., Westerberg, I.K., and Branger, F., 2017. Five Guidelines for Selecting Hydrological Signatures. *Hydrological Processes*, (July), 4757–4761.
- Merz, R. and Blöschl, G., 2005. Flood frequency regionalisation—spatial proximity vs. catchment attributes. *Journal of Hydrology*, 302 (1–4), 283–306.
- Merz, R., Parajka, J., and Blöschl, G., 2011. Time stability of catchment model parameters: Implications for climate impact analyses. *Water Resources Research*, 47 (2), n/a-n/a.
- Meyer, Y., 1993. Wavelets-algorithms and applications. *Society for Industrial and Applied Mathematics*.
- Michel, C., Perrin, C., and Andréassian, V., 2006. Has basin-scale modelling advanced beyond empiricism? In: N.C.& J.S. Vazken Andreassian, Alan Hall, ed. *Large sample basin experiments for hydrological model parameterization. results of the Model Parameter Experiment - MOPEX*. Wallingford: IAHS, 108–116.
- Milly, P.C.D., 1993. An analytic solution of the stochastic storage problem applicable to soil water. *Water Resources Research*, 29 (11), 3755–3758.
- Milly, P.C.D., 1994. Climate, soil water storage, and the average annual water balance. *Water Resources Research*, 30 (7), 2143–2156.
- Mohan, C., Western, A.W., Wei, Y., and Saft, M., 2018. Predicting groundwater recharge for varying land cover and climate conditions-a global meta-study. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22 (5), 2689–2703.
- Montanari, A. and Di Baldassarre, G., 2013. Data errors and hydrological modelling: The role of model structure to propagate observation uncertainty. *Advances in Water Resources*, 51, 498–504.
- Montanari, A. and Toth, E., 2007. Calibration of hydrological models in the spectral domain: An opportunity for scarcely gauged basins? *Water Resources Research*, 43 (5).
- Montanari, A., Young, G., Savenije, H.H.G.H.H.G., Hughes, D.A., Wagener, T., Ren, L.L., Koutsoyiannis, D., Cudennec, C., Toth, E., Grimaldi, S., Blöschl, G., Sivapalan, M., Beven, K., Gupta, H. V., Hipsey, M., Schaefli, B., Arheimer, B., Boegh, E., Schymanski, S.J.J., Di Baldassarre, G., Yu, B., Hubert, P., Huang, Y., Schumann, A., Post, D.A., Srinivasan, V., Harman, C.J., Thompson, S., Rogger, M., Viglione, A., McMillan, H.K., Characklis, G., Pang, Z., and Belyaev, V., 2013. “Panta Rhei—Everything Flows”: Change in hydrology and society—The IAHS Scientific Decade 2013–2022. *Hydrological Sciences Journal*, 58 (6), 1256–1275.
- Monteith, J.L., 1964. Evaporation and environment. In: *The State and Movement of Water in Living Organisms*,. Symp. Soc. Exp. Biol., 205–234.

- Montgomery, D.C. and Runger, G.C., 2011. *Applied Statistics and Probability for Engineers*. Fifth ed. John Wiley & Sons.
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Liew, M.W. Van, Bingner, R.L., Harmel, R.D., and Veith, T.L., 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Trans. Asabe*, 50 (3), 885–900.
- Morton, F.I., 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *Journal of Hydrology*, 66 (1), 1–76.
- Mouelhi, S., 2003. Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. ENGREF.
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C., and Andréassian, V., 2006. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *Journal of Hydrology*, 318 (1–4), 200–214.
- Moussa, R. and Chahinian, N., 2009. Comparison of different multi-objective calibration criteria of a conceptual rainfall-runoff model of flood events. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13, 519–535.
- Moussavi, M., Feyen, J., and Wyseure, G., 1990. Comparison of different structures for a monthly water yield model in seasonally snow-covered mountainous watersheds of Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 35 (5), 535–546.
- Musy, A. and Higy, C., 2011. *Hydrology: A Science of Nature*. CRC Press and Science Publishers.
- Nash, J.E. and Sutcliffe, J. V., 1970. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10 (3), 282–290.
- Nijzink, R., Hutton, C., Pechlivanidis, I., Capell, R., Arheimer, B., Freer, J., Han, D., Wagener, T., Mcguire, K., Savenije, H., and Hrachowitz, M., 2016. The evolution of root -zone moisture capacities after deforestation : a step towards hydrological predictions under change? *Hydrol . Earth Syst . Sci*, 20, 4775–4799.
- Olsson, J., Dahné, J., Arheimer, B., Amaguchi, H., and Kawamura, A., 2011. Man vs. Machine, a Swedish experiment on hydrological model performance assessment (invited talk). *In: Proceedings of the XXV IUGG General Assembly, 28 June - 7 July, Melbourne, Australia*.
- Oreskes, N., 1998. Evaluation (not validation) of quantitative models. *Environmental Health Perspectives*, 106 (SUPPL. 6), 1453–1460.
- Osuch, M., Romanowicz, R.J., and Booij, M.J., 2015. The influence of parametric uncertainty on the relationships between HBV model parameters and climatic characteristics. *Hydrological Sciences Journal*, 60 (7–8), 1299–1316.
- Otis, D.L., Burnham, K.P., White, G.C., and Anderson, D.R., 1978. Statistical inference from capture data on closed animal populations. *Wildlife Monographs*, 62, 1–135.
- Oudin, L., Andréassian, V., Mathevet, T., Perrin, C., and Michel, C., 2006. Dynamic averaging of rainfall-runoff model simulations from complementary model parameterizations. *Water Resources Research*, 42 (7), W07410.
- Paik, K., Kim, J.H., Kim, H.S., and Lee, D.R., 2005. A conceptual rainfall-runoff model considering seasonal variation. *Hydrological Processes*, 19 (19), 3837–3850.
- Pareto, V., 1906. *Manuale di economia politica*. Milano, Italy: Societa Editrice Libreria.
- Pathiraja, S., Anghileri, D., Burlando, P., Sharma, A., Marshall, L., and Moradkhani, H., 2017. Time varying parameter models for catchments with land use change: the importance of model structure. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1–35.

- Pathiraja, S., Marshall, L., Sharma, A., and Moradkhani, H., 2016. Hydrologic modeling in dynamic catchments: A data assimilation approach. *Water Resources Research*, 52, 3350–3372.
- Pearson, K., 1895. Notes on regression and inheritance in the case of two parents. *Proceedings of the Royal Society of London*, 58, 240–242.
- Pechlivanidis, I., Jackson, B.M., McIntyre, N., and Wheeler, H., 2011. Catchment Scale Hydrological Modelling: a Review of Model Types , Calibration Approaches and Uncertainty Analysis Methods in the Context of Recent Developments in Technology and applications. *Global NEST*, 13 (3), 193–214.
- Pechlivanidis, I., Jackson, B.M., McMillan, H.K., and Gupta, H. V., 2012. Using an Informational Entropy-Based Metric As a Diagnostic of flow duration to drive model parameter identification. *Global NEST Journal*, 14 (3), 325–334.
- Perrin, C., Michel, C., and Andréassian, V., 2003. Improvement of a parsimonious model for streamflow simulation. *Journal of Hydrology*, 279 (1–4), 275–289.
- Petheram, C., Potter, N.J., Vaze, J., Chiew, F.H.S., and Zhang, L., 2011. Towards better understanding of changes in rainfall- runoff relationships during the recent drought in south- eastern Australia. *Proc. 19th International Congress on Modelling and Simulation*, (December), 12–16.
- Petrone, K.C., Hughes, J.D., Van Niel, T.G., and Silberstein, R.P., 2010. Streamflow decline in southwestern Australia, 1950-2008. *Geophysical Research Letters*, 37 (11), 1–7.
- Pfannerstill, M., Guse, B., and Fohrer, N., 2014. Smart low flow signature metrics for an improved overall performance evaluation of hydrological models. *Journal of Hydrology*, 510, 447–458.
- Pfister, L. and Kirchner, J.W., 2017. Debates - Hypothesis testing in hydrology: Theory and practice. *Water Resources Research*, 53 (Feb.), 1792–1798.
- Pokhrel, P., Yilmaz, K.K., and Gupta, H. V., 2012. Multiple-criteria calibration of a distributed watershed model using spatial regularisation and response signatures. *Journal of hydrology*, 418–419, 49–60.
- Pontes, L.M., Viola, M.R., Naves Silva, M.L., Bispo, D.F.A., and Curi, N., 2016. Hydrological modeling of tributaries of cantareira system, southeast brazil, with the swat model. *Engenharia Agrícola*, 36 (6), 1037–1049.
- Pool, S., Vis, M., and Seibert, J., 2018. Evaluating model performance: a non-parametric variant of the Kling-Gupta efficiency. *Hydrological Sciences Journal*, 63 (13–14), 1941–1953.
- Pool, S., Vis, M.J.P., Knight, R.R., and Seibert, J., 2016. Streamflow characteristics from modelled runoff time series - importance of calibration criteria selection. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (October), 1–27.
- Price, K., 2011. Effects of watershed topography, soils, land use, and climate on baseflow hydrology in humid regions: A review. *Progress in Physical Geography*, 35 (4), 465–492.
- Priestley, C.H.B. and Taylor, R.J., 1972. On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters. *Monthly Weather Review*, 100 (2), 81–92.
- dos R. Pereira, D., Martinez, M.A., Pruski, F.F., and da Silva, D.D., 2016. Hydrological simulation in a basin of typical tropical climate and soil using the SWAT model part I: Calibration and validation tests. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 7, 14–37.
- Raftery, A., 1993. *Change point and change curve modeling in stochastic processes and spatial*

- statistics*. Technical Report No. 253. Seattle.
- Raftery, A.E., Gneiting, T., Balabdaoui, F., and Polakowski, M., 2005. Using Bayesian model averaging to calibrate forecast ensembles. *Monthly Weather Review*, 133 (5), 1155–1174.
- Razavi, S. and Gupta, H. V., 2015. What do we mean by sensitivity analysis? The need for comprehensive characterization of “global” sensitivity in Earth and Environmental systems models. *Water Resources Research*, 51 (5), 3070–3092.
- Razavi, S., Tolson, B.A., Matott, L.S., Thomson, N.R., MacLean, A., and Seglenieks, F.R., 2010. Reducing the computational cost of automatic calibration through model preemption. *Water Resources Research*, 46 (11), 1–17.
- Reed, P., Minsker, B.S., and Goldberg, D.E., 2003. Simplifying multiobjective optimization: An automated design methodology for the nondominated sorted genetic algorithm-II. *Water Resources Research*, 39 (7), 1–6.
- Refsgaard, J.C. and Knudsen, J., 1996. Operational Validation and Intercomparison of Different Types of Hydrological Models. *Water Resources Research*, 32 (7), 2189–2202.
- Refsgaard, J.C., Storm, B., and Refsgaard, A., 1995. Validation and applicability of distributed hydrological models. *IAHS-AISH Publication*, (231), 387–397.
- Renard, B., Kavetski, D., Kuczera, G., Thyer, M., and Franks, S.W., 2010. Understanding predictive uncertainty in hydrologic modeling: The challenge of identifying input and structural errors. *Water Resources Research*, 46 (5), 1–22.
- Reusser, D.E. and Zehe, E., 2011. Inferring model structural deficits by analyzing temporal dynamics of model performance and parameter sensitivity. *Water Resources Research*, 47 (7), 1–15.
- Roger, S.E. and Goodrich, D.C., 2005. Rainfall excess overland flow. In: M.G. Anderson and J.J. McDonnell, eds. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 1707–1718.
- Rwasoka, D.T., Madamombe, C.E., Gumindoga, W., and Kabobah, A.T., 2014. Calibration, validation, parameter indentifiability and uncertainty analysis of a 2 – parameter parsimonious monthly rainfall-runoff model in two catchments in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 67–69, 36–46.
- Sadegh, M., AghaKouchak, A., Flores, A., Mallakpour, I., and Nikoo, M.R., 2019. A Multi-Model Nonstationary Rainfall-Runoff Modeling Framework: Analysis and Toolbox. *Water Resources Management*, 33 (9), 3011–3024.
- Salazar, L.F. and Poveda, G., 2006. Validation of diverse evapotranspiration estimation methods using the long-term water balance in the Amazon River basin. *Proceedings of 8th ICSHMO. Foz do Iguazu, Brazil*, 815–820.
- Sankarasubramanian, A. and Vogel, R.M., 2002. Hydroclimatology of the continental United States. *Water Resources Research*, 38 (6), 1083–1095.
- Scanlon, B.R., Healy, R.W., and Cook, P.G., 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. *Hydrogeology Journal*, 10, 18–39.
- Schaake, J.C. and Koren, V.I., 1996. Simple water balance model for estimating runoff at different spatial and temporal scales. *Journal of Geophysical Research*, 101 (D3), 7461–7475.
- Schaake, J.C. and Liu, C., 1989. Development and application of a simple water balance models to understand the relationship between climate and water resources. In: *New directions for surface water modeling, Proceedings of the Baltimore Symposium*. 343–352.

- Schoups, G., Van De Giesen, N.C., and Savenije, H.H.G., 2008. Model complexity control for hydrologic prediction. *Water Resources Research*, 44 (1).
- Schwarz, G., 1978. Estimating the dimension of a model. *Annals of Statistics*, 6 (2), 461–464.
- Seibert, J., 2003. Reliability of Model Predictions Outside Calibration Conditions. *Nordic Hydrology*, 34 (5), 477–492.
- Seibert, J., Bishop, K., Rodhe, A., and McDonnell, J.J., 2003. Groundwater dynamics along a hillslope: A test of the steady state hypothesis. *Water Resources Research*, 39 (1), 1–9.
- Seibert, J. and McDonnell, J.J., 2002. On the dialog between experimentalist and modeler in catchment hydrology: Use of soft data for multicriteria model calibration. *Water Resources Research*, 38 (11), 23, 1–14.
- Seibert, J., Rodhe, A., and Bishop, K., 2003. Simulating interactions between saturated and unsaturated storage in a conceptual runoff model. *Hydrological Processes*, 17 (2), 379–390.
- Seiller, G., Anctil, F., and Perrin, C., 2012. Multimodel evaluation of twenty lumped hydrological models under contrasted climate conditions. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 1171–1189.
- Sentelhas, P.C., Gillespie, T.J., and Santos, E.A., 2010. Evaluation of FAO Penman-Monteith and alternative methods for estimating reference evapotranspiration with missing data in Southern Ontario, Canada. *Agricultural Water Management*, 97 (5), 635–644.
- Servat, E. and Dezetter, A., 1993. Rainfall-runoff modelling and water resources assessment in northwestern Ivory Coast. Tentative extension to ungauged catchments. *Journal of Hydrology*, 148 (1–4), 231–248.
- Shamir, E., Imam, B., Gupta, H. V., and Sorooshian, S., 2005. Application of temporal streamflow descriptors in hydrologic model parameter estimation. *Water Resources Research*, 41 (6), 1–16.
- Shamir, E., Imam, B., Morin, E., Gupta, H. V., and Sorooshian, S., 2004. The role of hydrograph indices in parameter estimation of rainfall–runoff models. *Hydrological Processes*, 19 (11), 2187–2207.
- Shamseldin, A.Y., O'Connor, K.M., and Liang, G.C., 1997. Methods for combining the outputs of different rainfall–runoff models. *Journal of Hydrology*, 197 (1), 203–229.
- Shamseldin, A.Y., O'Connor, K.M., and Nasr, A.E., 2007. A comparative study of three neural network forecast combination methods for simulated river flows of different rainfall–runoff models. *Hydrological Sciences Journal*, 52 (5), 896–916.
- Simmers, I., 1997. *Recharge of phreatic aquifers in (semi-)arid areas*. A.A. Balkema.
- Singh, S. and Bárdossy, A., 2015. Hydrological Model Calibration by Sequential Replacement of Weak Parameter Sets Using Depth Function. *Hydrology*, 2 (2), 69–92.
- Singh, S.K. and Dutta, S., 2017. Observational uncertainty in hydrological modelling using data depth. *Global Nest Journal*, 19 (3), 489–497.
- Smakhtin, V.U., 2001. Estimating continuous monthly baseflow time series and their possible applications in the context of the ecological reserve. *Water SA*, 27 (2), 213–217.
- Son, K.-H. and Kim, J.-K., 2008. Application of Proxy-basin Differential Split-Sampling and Blind-Validation Tests for Evaluating Hydrological Impact of Climate Change Using SWAT. *Journal of Korea Water Resources Association*, 41 (10), 969–982.
- Sorooshian, S., Hsu, K.-L., Coppola, E., Tomassetti, B., Verdecchia, M., and Visconti, G., 2008.

- Hydrological Modelling and the Water Cycle*. Water Science and Technology Library.
- Spearman, C., 1904. The proof and measurement of association between two things. *The American Journal of Psychology*, 15 (1), 72–101.
- Staudinger, M., Stahl, K., Seibert, J., Clark, M.P., and Tallaksen, L.M., 2011. Comparison of hydrological model structures based on recession and low flow simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (11), 3447–3459.
- Stoica, P. and Moses, R., 2005. *Spectral analysis of signals*. New Jersey: Prentice Hall.
- Storn, R. and Price, K., 1997. Differential Evolution - A simple evolution strategy for fast optimization. *Journal of Global Optimization*, 11, 341–359.
- Susanto, S., 1991. Calibrating a water yield model for development of hydrologic parameters of ungauged small watersheds in the mountainous terrain of the tropical monsoon region. *In: International Conference on Ecohydrology of High Mountain Areas*. 219–226.
- Tang, Y., Reed, P.M., and Wagener, T., 2006. How effective and efficient are multiobjective evolutionary algorithms at hydrologic model calibration? *Hydrology and Earth System Sciences*, 10, 289–307.
- Tarboton, D.G., 2003. Rainfall-Runoff Processes.
- Tekleab, S., Uhlenbrook, S., Mohamed, Y., Savenije, H.H.G., Temesgen, M., and Wenninger, J., 2011. Water balance modeling of Upper Blue Nile catchments using a top-down approach. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (7), 2179–2193.
- Teutschbein, C., 2013. Hydrological Modeling for Climate Change Impact Assessment. Stockholm University.
- Thiemann, M., Trosset, M., Gupta, H., and Sorooshian, S., 2001. Bayesian recursive parameter estimation. *Water Resources Research*, 37 (10), 2521–2536.
- Thirel, G., Andréassian, V., Perrin, C., Audouy, J.-N., Berthet, L., Edwards, P., Folton, N., Furusho, C., Kuentz, A., Lerat, J., Lindstrom, G., Martin, E., Mathevet, T., Merz, R., Parajka, J., Ruelland, D., and Vaze, J., 2015. Hydrology under change: an evaluation protocol to investigate how hydrological models deal with changing catchments. *Hydrological Sciences Journal*, 60 (7–8), 1184–1199.
- Thomas, H.A.J., 1981. *Improved Methods for National Water Assessment*. *Water Resources Contract: WR15249270*.
- Thorntwaite, C.W., 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38 (1), 55–94.
- Thorntwaite, C.W. and Mather, J.R., 1955. The water balance. *Publications in Climatology*, 8 (1), 5–86.
- Thorntwaite, C.W. and Mather, J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balances. *Publications in Climatology*, 10 (3), 185–311.
- Todorović, A., 2015. Impact of Calibration Period on Parameter Estimates in the Conceptual Hydrologic Models of Various Structures. Univerzitet u Beogradu.
- Todorovic, A. and Plavsic, J., 2016. The role of conceptual hydrologic model calibration in climate change impact on water resources assessment. *Journal of Water and Climate Change*, 7 (1), 16–28.
- Tsukamoto, Y., 1963. Storm Discharge from an Experimental Watershed. *the Journal of the Japanese Forestry Society*, 45 (6), 186–190.

- Tukimat, N.N.A., Harun, S., and Shahid, S., 2012. Comparison of different methods in estimating potential evapotranspiration at Muda Irrigation Scheme of Malaysia. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 113 (1), 77–85.
- UNESCO, 1974. *Methods for water balance computations: An international guide for research and practice*. Paris: The UNESCO Press.
- Vandewiele, G.L., Xu, C.-Y., and Ni-Lar-Win, 1992. Methodology and comparative study of monthly water balance models in Belgium, China and Burma. *Journal of Hydrology*, 134 (1–4), 315–347.
- Vaze, J., Post, D.A., Chiew, F.H.S., Perraud, J.-M., Viney, N.R., and Teng, J., 2010. Climate non-stationarity – Validity of calibrated rainfall–runoff models for use in climate change studies. *Journal of Hydrology*, 394 (3–4), 447–457.
- Vörösmarty, C.J., Federer, C.A., and Schloss, A., 1998. Potential evapotranspiration functions compared on US watersheds: implications for global-scale water balance and terrestrial ecosystem modeling. *Journal of Hydrology*, 207, 147–169.
- Vrugt, J.A., 2016a. Multi-criteria Optimization Using the AMALGAM Software Package: Theory, Concepts, and MATLAB Implementation.
- Vrugt, J.A., 2016b. Modelavg: A MATLAB Toolbox for Postprocessing of Model Ensembles. *Manual*.
- Vrugt, J.A., ter Braak, C.J.F., Clark, M.P., Hyman, J.M., and Robinson, B.A., 2008. Treatment of input uncertainty in hydrologic modeling: Doing hydrology backward with Markov chain Monte Carlo simulation. *Water Resources Research*, 44 (12), 1–16.
- Vrugt, J.A., ter Braak, C.J.F., Diks, C.G.H., Robinson, B.A., Hyman, J.M., and Higdon, D., 2009. Accelerating Markov chain Monte Carlo simulation by differential evolution with self-adaptive randomized subspace sampling. *International Journal of Nonlinear Sciences and Numerical Simulation*, 10 (3), 271–288.
- Vrugt, J.A., Gupta, H. V., Bastidas, L.A., Bouten, W., and Sorooshian, S., 2003. Effective and efficient algorithm for multiobjective optimization of hydrologic models. *Water Resources Research*, 39 (8), 1–19.
- Vrugt, J.A. and Robinson, B.A., 2007. Improved evolutionary optimization from genetically adaptive multimethod search. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104 (3), 708–711.
- Vrugt, J.A. and Sadegh, M., 2013. Toward diagnostic model calibration and evaluation: Approximate Bayesian computation. *Water Resources Research*, 49 (7), 4335–4345.
- Wagner, T., 2003. Evaluation of catchment models. *Hydrological Processes*, 17 (16), 3375–3378.
- Wagner, T., McIntyre, N., Lees, M.J., Wheater, H., and Gupta, H. V., 2003. Towards reduced uncertainty in conceptual rainfall-runoff modelling: dynamic identifiability analysis. *Hydrological Processes*, 17 (2), 455–476.
- Wallner, M. and Haberlandt, U., 2015. Non-stationary hydrological model parameters: A framework based on SOM-B. *Hydrological Processes*, 29 (14), 3145–3161.
- Wang, G., Xia, J., and Chen, J., 2009. Quantification of effects of climate variations and human activities on runoff by a monthly water balance model: A case study of the Chaobai River basin in northern China. *Water Resources Research*, 45 (7), 1–12.
- Wang, G.Q., Zhang, J.Y., Jin, J.L., Liu, Y.L., He, R.M., Bao, Z.X., Liu, C.S., and Li, Y., 2014. Regional

- calibration of a water balance model for estimating stream flow in ungauged areas of the Yellow River Basin. *Quaternary International*, 336, 65–72.
- Wang, Q.J., 1991. The Genetic Algorithm and Its Application to Calibrating Conceptual Rainfall-Runoff Models. *Water Resources Research*, 27 (9), 2467–2471.
- Wang, Q.J., Pagano, T.C., Zhou, S.L., Hapuarachchi, H. a P., Zhang, L., and Robertson, D.E., 2011. Monthly versus daily water balance models in simulating monthly runoff. *Journal of Hydrology*, 404 (3–4), 166–175.
- Wang, X.-S. and Zhou, Y., 2016. Shift of annual water balance in the Budyko space for a catchment with groundwater dependent evapotranspiration. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (20), 3673–3690.
- Weiler, M., McDonnell, J.J., van Meerveld, I.T., and Uchida, T., 2005. Subsurface stormflow. In: M.G. Anderson and J.J. McDonnell, eds. *Encyclopedia of Hydrological Sciences*. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd., 1719–1732.
- van Werkhoven, K., Wagener, T., Reed, P.M., and Tang, Y., 2009. Sensitivity-guided reduction of parametric dimensionality for multi-objective calibration of watershed models. *Advances in Water Resources*, 32 (8), 1154–1169.
- Westerberg, I.K., Gong, L., Beven, K., Seibert, J., Semedo, A., Xu, C.-Y., and Halldin, S., 2014. Regional water-balance modelling using flow-duration curves with observational uncertainties. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18 (1), 2993–3013.
- Westerberg, I.K., Guerrero, J.L., Younger, P.M., Beven, K., Seibert, J., Halldin, S., Freer, J.E., and Xu, C.-Y., 2011. Calibration of hydrological models using flow-duration curves. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15 (7), 2205–2227.
- Westerberg, I.K. and McMillan, H.K., 2015. Uncertainty in hydrological signatures. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19 (9), 3951–3968.
- Westerberg, I.K., Wagener, T., Coxon, G., McMillan, H.K., Castellarin, A., Montanari, A., and Freer, J., 2016. Uncertainty in hydrological signatures for gauged and ungauged catchments. *Water Resources Research*, 52 (3), 1847–1865.
- Westra, S., Thyer, M., Leonard, M., Kavetski, D., and Lambert, M., 2014. A strategy for diagnosing and interpreting hydrological model nonstationarity. *Water Resources Research*, 50, 5090–5113.
- Wilby, R.L., 2005. Uncertainty in water resource model parameters used for climate change impact assessment. *Hydrological Processes*, 19 (16), 3201–3219.
- Willmott, C.J., Ackleson, S.G., Davis, R.E., Feddema, J.J., Klink, K.M., Legates, D.R., O'Donnell, J., and Rowe, C.M., 1985. Statistics for the evaluation and comparison of models. *Journal of Geophysical Research*, 90 (C5), 8995–9005.
- Wrede, S., Seibert, J., and Uhlenbrook, S., 2013. Distributed conceptual modelling in a Swedish lowland catchment: A multi-criteria model assessment. *Hydrology Research*, 44 (2), 318–333.
- Xia, J., O'Connor, K.M., Kachroo, R.K., and Liang, G.C., 1997. A non-linear perturbation model considering catchment wetness and its application in river flow forecasting. *Journal of Hydrology*, 200 (1–4), 164–178.
- Xiong, L. and Guo, S., 1999. A two-parameter monthly water balance model and its application. *Journal of Hydrology*, 216, 111–123.
- Xiong, M., Liu, P., Cheng, L., Deng, C., Gui, Z., Zhang, X., and Liu, Y., 2019. Identifying time-varying

- hydrological model parameters to improve simulation efficiency by the ensemble Kalman filter: A joint assimilation of streamflow and actual evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, 568, 758–768.
- Xu, C.-Y., 1999a. Estimation of Parameters of a Conceptual Water Balance Model for Ungauged Catchment. *Water Resources Management*, 13 (5), 353–368.
- Xu, C.-Y. and Halldin, S., 1997. The effect of climate change on river flow and snow cover in the NOPEX area simulated by a simple water balance model. *Nordic Hydrology*, 28 (4/5), 273–282.
- Xu, C.-Y., Seibert, J., and Halldin, S., 1996. Regional water balance modelling in the NOPEX area: development and application of monthly water balance models. *Journal of Hydrology*, 180, 211–236.
- Xu, C.-Y. and Singh, V.P., 1998. A Review on Monthly Water Balance Models for Water Resources Investigations. *Water Resources Management*, 12 (1), 31–50.
- Xu, C.-Y. and Singh, V.P., 2001. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. *Hydrological Processes*, 15 (2), 305–319.
- Xu, C.-Y. and Singh, V.P., 2005. Evaluation of three complementary relationship evapotranspiration models by water balance approach to estimate actual regional evapotranspiration in different climatic regions. *Journal of Hydrology*, (308), 105–121.
- Xu, C., 1999b. Operational testing of a water balance model for predicting climate change impacts. *Agricultural and Forest Meteorology*, 98–99, 295–304.
- Xu, C., 2002a. WASMOD – The water and snow balance modeling system. In: V.P. Singh and D.K. Frevert, eds. *Mathematical models of small watershed hydrology and applications*. Water Resources Publications, 555–590.
- Xu, C., 2002b. *Textbook of hydrologic models*. Uppsala University, Department of Earth Sciences.
- Xu, C.Y. and Vandewiele, G.L., 1994. Sensitivity of monthly rainfall-runoff models to input errors and data length. *Hydrological Sciences Journal*, 39 (2), 157–176.
- Yadav, M., Wagener, T., and Gupta, H. V., 2007. Regionalization of constraints on expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins. *Advances in water resources*, 30, 1756–1774.
- Yapo, P.O., Gupta, H. V., and Sorooshian, S., 1998. Multi-objective global optimization for hydrologic models. *Journal of Hydrology*, 204, 83–97.
- Yates, D.N., 1996. WatBal: An Integrated Water Balance Model for Climate Impact Assessment of River Basin Runoff. *International Journal of Water Resources Development*, 12 (1993), 121–140.
- Yilmaz, K.K., Gupta, H. V., and Wagener, T., 2008. A process-based diagnostic approach to model evaluation: Application to the NWS distributed hydrologic model. *Water Resources Research*, 44 (9), 1–18.
- Zeng, L., Xiong, L., Liu, D., Chen, J., and Kim, J.S., 2019. Improving parameter transferability of GR4J model under changing environments considering nonstationarity. *Water (Switzerland)*, 11 (10).
- Zhang, H., Huang, G.H., Wang, D., and Zhang, X., 2011. Multi-period calibration of a semi-distributed hydrological model based on hydroclimatic clustering. *Advances in Water Resources*, 34 (10), 1292–1303.

- Zhang, L., Dawes, W.R., and Walker, G.R., 2001. Response of mean annual evapotranspiration to vegetation changes at catchment scale. *Water Resources Research*, 37 (3), 701–708.
- Zhang, L., Potter, N.J., Hickel, K., Zhang, Y., and Shao, Q., 2008. Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework - Model development and testing. *Journal of Hydrology*, 360 (1–4), 117–131.
- Zhang, L., Walker, G.R., and Dawes, W.R., 2002. Water Balance Modelling: Concepts and Applications. In: T.R. McVicar, L. Rui, J. Walker, R.W. Fitzpatrick, and L. Changming, eds. *Regional Water and Soil Assessment for Managing Sustainable Agriculture in China and Australia*. Canberra, Australia: ACIAR, 31–47.
- Zhang, Q. and Li, H., 2007. MOEA/D: A multiobjective evolutionary algorithm based on decomposition. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 11 (6), 712–731.
- Zhang, X., Srinivasan, R., and Liew, M. Van, 2009. On the use of multi-algorithm, genetically adaptive multi-objective method for multi-site calibration of the SWAT model. *Hydrological Processes*, 24 (8), 955–969.
- Zhang, Z., Wagener, T., Reed, P.M., and Bhushan, R., 2008. Reducing uncertainty in predictions in ungauged basins by combining hydrologic indices regionalization and multiobjective optimization. *Water Resources Research*, 44.
- Zhao, R.-J., 1992. The Xinanjiang model applied in China. *Journal of Hydrology*, 135 (1–4), 371–381.
- Zhao, R., Zuang, Y., Fang, L., Liu, X., and Zhang, Q., 1980. The Xinanjiang model. In: *Hydrological forecasting — Prévisions hydrologiques*. IAHS-AISH Publication no. 129, 351–356.
- Zitzler, E., Laumanns, M., and Thiele, L., 2001. SPEA2: Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm. *TIK-Report 103*.
- Zitzler, E. and Thiele, L., 1999. Multiobjective evolutionary algorithms — A comparative case study and the strength Pareto approach. *IEEE Transactions Evol. Comput.*, 3 (4), 257–271.
- Zomlot, Z., Verbeiren, B., Huysmans, M., and Batelaan, O., 2015. Spatial distribution of groundwater recharge and base flow: Assessment of controlling factors. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 4, 349–368.

ПРИЛОЗИ

ПРИЛОГ I. Преглед метода за прорачун компоненти водног биланса у мјесечним билансним хидролошким моделима

ПРИЛОГ II. Ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

ПРИЛОГ III. Ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

ПРИЛОГ IV. Границе трансферабилности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

ПРИЛОГ V. Границе трансферабилности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

ПРИЛОГ VI. Анализа осјетљивости параметара модела по Собољу

ПРИЛОГ VII. Конзистентност оцјена параметара модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

ПРИЛОГ VIII. Конзистентност оцјена параметара модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

ПРИЛОГ IX. Конзистентности компоненти водног биланса у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

ПРИЛОГ X. Конзистентности компоненти водног биланса у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

ПРИЛОГ XI. Субјективна оцјена ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

ПРИЛОГ XII. Субјективна оцјена ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

ПРИЛОГ XIII. Ефикасност модела у вишекритеријумској оптимизацији

ПРИЛОГ XIV. Конзистентност оцјена параметара модела у вишекритеријумској оптимизацији

ПРИЛОГ XV. Конзистентности компоненти водног биланса у вишекритеријумској оптимизацији

ПРИЛОГ XVI. Субјективна оцјена ефикасности модела у вишекритеријумској оптимизацији

ПРИЛОГ I. Преглед метода за прорачун компоненти водног биланса у мјесечним билансним хидролошким моделима

Табела I-1. Преглед метода за прорачун стварне ET.

Једначина	Легенда	Референца
	Модели базирани на трансферу масе и билансу енергије – комбиновани модели	
$ET = \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} H + \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} E_a$	$\Delta \approx \frac{e_a - e_d}{T_a - T_d}$ – градијент криве засићеног притиска	Penman (1948)
$H = 0.95R_a \left(0.18 + 0.55 \frac{n}{N} \right) - \sigma T_a^4 \left(0.56 - 0.09 \sqrt{e_d} \right) \left(0.10 + 0.90 \frac{n}{N} \right)$	паре и температуре γ – хигрометријска константа H – расположива топлота E_a – флуks латентне топлоте R_a – теоријска радијација која зависи од географске ширине и сезоне n – осунчаност N – максимална осунчаност σT_a^4 – теоријска радијација црног тијела при температури T_a	
$E_a = 0.35 \left(0.5 + \frac{u_2}{100} \right) (e_a - e_d)$	e_d – притисак засићене паре при тачки росе T_d u_2 – брзина вјетра на висини од 2m e_a – притисак засићене паре при температури T_a	(Monteith, 1964)
$ET = \frac{(R_n - G) \Delta + \frac{\rho c_p (e_s - e_a)}{r_a}}{\lambda \left[\Delta + \gamma \left(1 + \frac{r_s}{r_a} \right) \right]}$	R_n – нето радијација G – флуks топлоте тла ρ – густина ваздуха c_p – специфична топлота ваздуха при константном притиску e_s – притисак засићене водене паре у ваздуху λ – латентна топлота водене паре r_a – аеродинамичка отпорност транспорту водене паре	

Једначина	Легенда	Референца
	Γ_s – површинска (покривач) отпорност транспорту водене паре	
$ET = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0.34u_2)}$	Исто као претходно	(Allen et al, 1998)
Аеродинамични модели		
$ET = \rho_a K^2 \frac{(q_2 - q_1)(u_2 - u_1)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)^2}$	ρ_a – густина влажног ваздуха K – фон Карманова константа q_1, q_2 – граничне вриједности специфичне влажности ваздуха u_1, u_2 – брзине вјетра на висинама	(Thorntwaite and Holzman, 1942)
Модели са комплекситарном везом између ET и PET		
$ET = (2\alpha - 1) \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} - \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} f(u_2)(e_s - e_a)$	α – коефицијент	(Brutsaert and Stricker, 1979)
$ET = \frac{\Delta G}{\Delta G + \gamma} \frac{R_n}{\lambda} + \frac{\gamma G}{\Delta G + \gamma} f(u_2)(e_s - e_a)$	G – бездимензионални релативни параметер евапотранспирације	(Gangner and Gray, 1989)
$ET = b_1 + b_2 \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} [R_n - 4\epsilon\sigma T_p^3 (T_p - T_a)]$	b_1, b_2 – параметри модела (0.49 mm/dan и 1.2, респективно) ϵ – емисивност површине σ – Stefan-Voltzmann константа T_p – температура еквилибријума за коју енергетски биланс и трансфер масе дају исте вриједности као PET	(Morton, 1983)
Емпиријски модели у функцији PET		
$ET_i = K \cdot PET_i$	D_i – Дефицит влажности тла у мјесцу i	(Solway, 1997)
$K = \begin{cases} 1, & D_{i-1} > -25 \\ 0.5 + 0.5 \frac{\chi \cdot S_{\max} + D_{i-1}}{\chi \cdot S_{\max} - 25}, & -0.5S_{\max} < D_{i-1} < -25 \\ 0.1, & D_{i-1} < -0.5S_{\max} \end{cases}$	S_{\max} – максимални капацитет влажности тла K – коефицијент који зависи од D_i и S_{\max} χ – параметар модела	

Једначина	Легенда	Референца
$ET_i = PET_i (1 - e^{-a_1 S_i})$	a_1 – параметар модела ($a_1 \geq 0$) S_i – влажност тла у мјесецу i	(van der Beken and Buijloos, 1977)
$ET_i = Y_i \left(1 - e^{-\frac{PET_i}{b}} \right)$	Y_i – могућност (потенцијал) за ЕТ PET_i – референтна ЕТ b – параметар модела	(Thomas, 1981)
$ET_i = W_i \left\{ 1 + \frac{PET_i}{W_i} - \left[1 + \left(\frac{PET_i}{W_i} \right)^{\frac{1}{1-\alpha_2}} \right]^{1-\alpha_2} \right\}$	W_i – расположива вода α_2 – параметар модела	(Zhang et al., 2008)
$ET_i = S_1 - \frac{S_1 \left(1 - tg \left(\frac{PET_i}{X_1} \right) \right)}{1 + tg \left(\frac{PET_i}{X_1} \right)} \cdot \left(1 - \frac{S_1}{X_1} \right)$	S_1 – влажност тла услијед падавина X_1 – параметар модела	(Edijatno and Michel, 1989; Makhoul and Michel, 1994; Mouelhi, 2003; Mouelhi et al., 2006)
$ET_i = \min \left\{ W_i \left[1 - e^{-\alpha_4 \cdot PET_i} \right], PET_i \right\}$	α_4 – параметар модела	(Xu et al., 1996; Xu, 2002)
$ET_i = \min \left\{ PET_i \cdot \left(1 - \alpha_4^{\frac{W_i}{\max(PET_i, 1)}} \right), W_i \right\}$		
$ET_i = \eta \cdot PET_i \left[1 - \left(1 - \frac{W_i}{WM} \right)^{1/B_e} \right]$	η – коефицијент конверзије између испаравања из посуде и PET W_i – средња влажност тла WM – средњи максимални капацитет влажности тла на сливу B_e – параметар модела (≈ 0.6)	(Chen et al., 2007; Ripplé et al., 1972)
$ET_i = \begin{cases} PET_i, & P_i > PET_i \\ P_i, & P_i < PET_i \end{cases}$	P_i – падавине у мјесецу i	(Alley, 1984; Thornthwaite and Mather, 1957, 1955)

Једначина	Легенда	Референца
$ET_i = PET_i \left(\frac{5z - 2z^2}{3} \right)$	$z = \frac{S_i}{S_{\max}}$ – релативна влажност	(Kaszmalek and Krasuski, 1991; Yates, 1996)
	S_i – влажност тла у мјесецу i	
	S_{\max} – максимални капацитет влажности тла	
$ET_i = C \cdot PET_i \cdot \tanh \left(\frac{P_i}{PET_i} \right)$	C – параметар модела	(Guo et al., 2001; Xiong and Guo, 1999)
$ET_i = \begin{cases} PET_i = PET_i, & D_i = 0 \\ ET_i = 0, & D_i = D_{\max} \\ ET_i = PET_i \frac{D_{\max} - D_i}{D_{\max}}, & 0 < D_i < D_{\max} \end{cases}$	D_i – дефицит влажности тла у мјесецу i D_{\max} – максимални капацитет влажности тла	(Jiang et al., 2007; Schaake and Liu, 1989)
$d \left(\frac{ET_i}{PET_i} \right) = \left[1 - \left(\frac{ET_i}{PET_i} \right)^N \right] \cdot d \left(\frac{K_w (W_i + P_i)}{PET_i} \right) *$	N – параметар који зависи од покривача (шуме=3, трава=1.39, ораница=1.63) K_w – параметар модела	(Wang et al., 2009; Xia et al., 1997)
$ET_i = \frac{S_{i-1}}{S_{\max}} PET_i$	S_{i-1} – влажност тла у претходном мјесецу S_{\max} – максимални капацитет влажности тла	(Дуск, 1983; Wang et al., 2014; израз Будика и Зубенока)
$ET_i = IS_i \left(1 - e^{-\frac{PET_i}{S_{\max}}} \right)$	IS_i – почетни садржај влажности тла IAW_i – вода инфилтрирана у тло	(Moussavi et al., 1990)
$IS_i = \min \left\{ (S_{i-1} + IAW_i), S_{\max} \right\}$		
$ET_i = PET_i \left(1 - e^{-\frac{S_i}{X}} \right)$	X – параметар модела	(Sergat and Dezetter, 1993)

* диференцијална једначина која се рјешава нумерички предиктор-коректор методом

Табела 1-2. Преглед једначина за прорачун влажности тла.

Једначина	Легенда	Референца
$S_i = Y_i \cdot e^{-\frac{PET_i}{b}}$	Y_i – могућност за евапотранспирацију PET_i – потенцијална евапотранспирација	(Thomas, 1981)
$S_i = Y_i - ET_i$	ET – стварна евапотранспирација	(Zhang et al., 2008)
$S_i = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{1/3}}$	S_2 – компонента влажности тла у функцији PET X_1 – параметар модела	(Edijatno and Michel, 1989; Makhlouf and Michel, 1994; Mouelhi, 2003; Mouelhi et al., 2006)
$S_i = \bar{S}_{\max} \left[1 - \left(1 - \left(\frac{S_{\max}^*}{S_{\max}} \right)^{1+b} \right) \right]$	\bar{S}_{\max} – средња вриједност влажности тла на сливу S_{\max}^* – критична вриједност влажности тла на сливу S_{\max} – максимална влажност тла на сливу b – параметар модела	(Chen et al., 2007; Zhao, 1992; Zhao et al., 1980)
$S_i = S_{i-1} \cdot e^{-\frac{(PET_i - P_i)}{S_{\max}}}$	S_{i-1} – влажност тла у претходном мјесецу P_i – падавине у мјесецу i	(Thornthwaite and Mather, 1955, 1957; Alley, 1984; Guo, 1995)
$S_i = S_{i-1} + \frac{P_i}{X_1 \cdot e^{X_2 \cdot S_{i-1}} + 1}$	X_1, X_2 – параметри модела	(Servat and Dezetter, 1993)
$S_i = S0_i \cdot e^{-\frac{PET_i}{S_{\max}}}$	$S0_i$ – иницијална влажност тла дефинисама као најмања од двије вриједности: збир претходне влажности тла и инфилтриране воде у тло или S_{\max}	(Moussavi et al., 1990)
$S_i = \frac{W_i + S_{\max}}{2\gamma} - \left[\left(\frac{W_i + S_{\max}}{2\gamma} \right)^2 - \frac{W_i S_{\max}}{\gamma} \right]^{-0.5}$	W_i – расположива вода $W_i = S_{i-1} + P_i - ET_i$ γ – параметар модела	(Alley, 1984)

Табела 1-3. Једначине за прорачун допуне подземња R_i и запремине воде у подземним резервоарима G_i .

Једначина за допуну подземња	Једначина за запремину воде у подземним резервоарима	Легенда	Референца
$R_i = c(W_i - Y_i)$	$G_i = \frac{1}{1+d} [R_i + G_{i-1}]$	c, d – параметри модела W_i – расположива вода Y_i – потенцијал за евапотранспирацију	(Thomas, 1981)
$R_i = W_i - Y_i$	$G_i = (1-d)G_{i-1} + R_i$	Исто као претходно	(Zhang et al., 2008)
н/а	$G_i = X \cdot (G_{i-1} + P_i - ET_i)$	X – параметар модела P – падавине ET – стварна евапотранспирација	(Edijatno and Michel, 1989; Makhlouf and Michel, 1994; Mouelhi, 2003; Mouelhi et al., 2006)
$R_i = (1 - k_1)W_i$	$G_i = G_{i-1} + R_i - k_2G_{i-1}, \quad W_i \geq 0$ $G_i = G_{i-1} - k_2G_{i-1}, \quad W_i < 0$	k_1, k_2 – коефицијент кашњења аслива и коефицијент подземног резервоара	(Guo, 1995)
$R_i = a_4W_i - a_5$	н/а	a_4, a_5 – параметри модела	(van der Beeken and Vuiloes, 1977)
$R_i = \frac{H_i - X_1}{X_2}$	$G_i = G_{i-1} + R_i$	H – запремина воде у површинском резервоару X_1, X_2 – параметри модела	(Servat and Dezetter, 1993)
Потенцијалне једначине за прорачун R које би се могле користити у МБХМа			
$R_i = 0.5(P_i - ET_i) + 0.04$	Исто као претходно	Исто као претходно	(Gemtzi et al., 2017)
$R_i = BFI \cdot Q_i$	BFI – индекс базног отицаја Q – укупан отицај		(Reschke, 1997)
$R_i = \min(R_{\max}, f \cdot Q_i)$	R_{\max} – f – фактор допуне подземња		(Döll and Fiedler, 2008)

Једначина за допуну подземља	Једначина за запемину воде у подземним резервоарима	Легенда	Референца
$R_i = r \left[\sum_{i=m}^n P_i - \left(2 - \frac{1}{P_{av} (n-m)} \sum_{i=m}^n P_i \right) \sum_{i=m}^n P_t \right]$ $i = 1, 2, 3, \dots, I$ $n = i, i-1, i-2, \dots, N$ $m = i, i-1, i-2, \dots, M$ $M < N < I$		<p>r – удио кумулативног дијела кише који одлази као допуна подземља</p> <p>P_t – гранична вриједност падавина (гранични услов аквифера), $0 < P_t < P_{av}$</p>	(Xu and Beekman, 2003)
$R_i = GW \left(\frac{S - SL}{ST - SL} \right)^{GROW}$		<p>GW – максимална допуна подземља при максималној влажности тла</p> <p>S – актуелна влажност тла</p> <p>SL – минимална влажност тла испод које нема допуне</p> <p>ST – максимална влажност тла</p> <p>$GROW$ – степен једначине влажност тла-допуна подземља</p>	(Hughes, 2004)

*индекс i означава вриједности за i -ти мјесец

Табела 1-4. Једначине за прорачун директног и базног отицаја.

Једначина	Легенда	Референца
$Q_{d,i} = (1-c)(\bar{X}_i - Y_i)$	c – параметар модела	(Thomas, 1981)
$Q_{b,i} = d \cdot G_i$	\bar{X}_i - почетна влажност тла у i -том мјесецу Y_i – могућност за евапотранспирацију d – параметар (средње вријеме задржавања воде у подземном резервоару) G_i – запремина подземних вода у i -том мјесецу	
$Q_{d,i} = R_i - X_i$	R_i - падавине	(Zhang <i>et al.</i> , 2008)
$Q_{b,i} = d \cdot G_{i-1}$	X_i - способност слива да задржи падавине d – параметар (кофицијент линеарног резервоара) G_{i-1} – запремина подземних вода у претходном мјесецу	
$Q_{d,i} = a_6 \cdot SM_{i-1}^{b_6} (M_i + N_i)$	S_2 – компонента влажности тла у функцији РЕТ	(Xu, 2002)
$Q_{b,i} = a_5 \cdot SM_{i-1}^{b_5}$	X_1 – параметар модела	
$Q_{d,i} = c \cdot (S_i - S_{\max})$	c – параметар	(Guo, 1995)
$Q_{b,i} = K_2 \cdot G_{i-1}$	S_i – влажност тла S_{\max} – максимална влажност тла K_2 – параметар (линеарног резервоара) G_{i-1} – запремина подземне воде у претходном мјесецу	
$Q_{d,i} = R_{eff,i} \frac{R_{eff,i}}{R_{eff,i} + D_{\max}}$	$R_{eff,i}$ – ефективне падавине D_{\max} – максимални дефицит влажности тла	(Jiang <i>et al.</i> , 2007; Schaake and Liu, 1989)
$Q_{b,i} = k(G_{\max} - D_i)$	k – параметар (кофицијент линеарног резервоара) G_{\max} – максимална запремина подземне воде	

	D_i – дефицит влажности тла у i -том мјесецу	
$Q_{d,i} = g_1 \left(\frac{W_i}{SSM} \right)^{g_2} \cdot P_i$	g_1, g_2 – параметри W_i – влажност тла у i -том мјесецу SSM – садржај влаге тла у потпуно засићеном стању	(Wang et al., 2009; Xia et al., 1997)
$Q_{b,i} = k \frac{(W_i + W_{i+1})}{2}$	k – параметар (коэффицијент линеарног резервоара)	
$Q_{d,i} = k_s \frac{S_{i-1} \cdot P_{R,i}}{S_{\max}}$	k_s, k_g – параметри (линеарног резервоара)	(Wang et al., 2014)
$Q_{b,i} = k_g \cdot S_{i-1}$	$P_{R,i}$ – киша у i -том мјесецу (падавине – снијег)	
$Q_{d,i} = (X_1 \cdot S_i)^2$	X_1, X_2 – параметри модела	(Servat and Dezetter, 1993)
$Q_{b,i} = X_2 \cdot Q_{b,i-1} + (1 - X_2) \cdot R_i$	R_i – допуна подземља	

ПРИЛОГ II. Ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

Табела II-1. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (1 дио). Сиве ћелије су вриједности при калибрацији. Црвене означавају трансфере у којима је ефикасност незадовољавајућа.

Ефикас.	Калиб. период	Валидација abcd					Валидација Vuduko					Валидација GR2M								
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
KGE	P1	0.89	0.49	0.51	0.40	0.17	0.65	0.95	0.68	0.56	0.47	-1.28	0.69	0.83	0.78	0.69	0.69	0.69	-2.65	0.75
KGE	P2	0.54	0.93	0.88	0.65	-0.42	0.80	0.79	0.93	0.75	0.76	-0.70	0.86	0.81	0.82	0.73	0.64	0.64	-2.72	0.74
KGE	P3	0.49	0.93	0.89	0.64	-0.79	0.77	0.73	0.91	0.77	0.75	-0.11	0.86	0.78	0.81	0.74	0.63	0.63	-2.54	0.72
KGE	P4	0.68	0.86	0.80	0.75	0.54	0.83	0.71	0.88	0.71	0.81	-0.15	0.81	0.75	0.71	0.63	0.79	0.79	-1.71	0.74
KGE	P5	0.23	0.53	0.61	0.46	0.80	0.48	0.64	0.87	0.73	0.67	0.78	0.81	0.12	0.10	0.06	0.14	0.85	0.11	0.77
KGE	CP	0.71	0.87	0.79	0.65	0.36	0.87	0.77	0.91	0.76	0.73	-0.30	0.87	0.81	0.79	0.70	0.75	0.75	-2.19	0.77
NSEsqr	P1	0.72	0.68	0.70	0.55	-0.01	0.69	0.84	0.71	0.51	0.45	-0.51	0.65	0.79	0.81	0.72	0.60	0.60	-1.37	0.71
NSEsqr	P2	0.73	0.78	0.78	0.61	-0.23	0.74	0.84	0.79	0.67	0.56	-0.25	0.73	0.79	0.80	0.75	0.61	0.61	-1.42	0.71
NSEsqr	P3	0.72	0.78	0.79	0.61	-0.43	0.73	0.81	0.73	0.65	0.57	0.11	0.72	0.75	0.77	0.75	0.59	0.59	-1.40	0.70
NSEsqr	P4	0.53	0.62	0.53	0.49	0.47	0.59	0.76	0.74	0.68	0.61	0.10	0.72	0.83	0.82	0.77	0.68	0.68	-0.63	0.77
NSEsqr	P5	0.67	0.72	0.62	0.53	0.60	0.69	0.71	0.73	0.65	0.50	0.52	0.70	0.61	0.58	0.48	0.51	0.65	0.65	0.60
NSEsqr	CP	0.70	0.74	0.73	0.57	0.17	0.71	0.83	0.76	0.66	0.56	0.02	0.73	0.81	0.81	0.76	0.65	0.65	-0.99	0.74
RSR	P1	0.46	1.39	1.83	0.94	4.75	0.56	0.32	1.00	1.63	0.89	8.55	0.63	0.40	0.03	0.13	1.18	16.65	0.51	0.51
RSR	P2	1.26	0.37	0.15	0.32	7.87	0.54	0.63	0.38	0.34	0.04	6.67	0.50	0.66	0.36	0.54	1.55	17.18	0.48	0.48
RSR	P3	1.41	0.04	0.47	0.39	9.59	0.56	0.88	0.13	0.64	0.31	4.37	0.50	0.82	0.54	0.54	1.63	16.85	0.46	0.46
RSR	P4	1.25	0.44	0.02	0.71	0.83	0.54	0.67	0.07	0.39	0.62	5.34	0.50	0.34	0.50	0.64	0.57	12.19	0.48	0.48
RSR	P5	1.04	0.28	0.00	0.37	0.62	0.81	1.32	0.26	0.02	0.73	0.66	0.55	3.00	3.05	3.92	2.97	0.55	0.75	0.75
RSR	CP	0.79	0.25	0.64	0.00	3.66	0.51	0.73	0.04	0.39	0.11	5.03	0.50	0.15	0.05	0.06	0.91	14.54	0.47	0.47
VE	P1	0.99	0.71	0.70	0.81	0.21	0.83	1.00	0.80	0.74	0.82	-0.43	0.80	0.92	0.99	0.98	0.77	-1.78	0.86	0.86
VE	P2	0.74	1.00	0.98	0.94	-0.31	0.90	0.87	1.00	0.95	0.99	-0.11	0.98	0.86	0.91	0.91	0.69	-1.87	0.79	0.79
VE	P3	0.71	0.99	1.00	0.92	-0.60	0.87	0.82	0.97	0.97	0.94	0.27	0.97	0.83	0.89	0.90	0.68	-1.81	0.77	0.77
VE	P4	0.74	0.91	1.00	0.96	0.86	0.91	0.86	0.99	0.94	1.00	0.11	0.99	0.93	0.90	0.90	0.94	-1.03	0.99	0.99
VE	P5	0.79	0.94	1.00	0.93	0.99	0.94	0.73	0.95	1.00	0.86	0.99	0.89	0.38	0.37	0.36	0.41	0.98	0.40	0.40
VE	CP	0.84	0.95	0.90	1.00	0.39	0.99	0.85	0.99	0.94	0.98	0.16	1.00	0.97	0.99	0.99	0.82	-1.42	0.90	0.90

Табела II-2. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (II дио).

Ефикас.	Калиб. период	Валидација WASMOD					Валидација WatBal					Валидација Xinanjiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
KGE	P1	0.88	0.56	0.43	0.25	-3.5	0.55	0.76	0.86	0.65	0.69	-3.3	0.75	0.91	0.65	0.63	0.52	-2.4	0.67
KGE	P2	0.70	0.94	0.79	0.68	-2.4	0.84	0.42	0.91	0.36	0.68	-1.8	0.64	0.69	0.93	0.75	0.78	-1.0	0.84
KGE	P3	0.66	0.92	0.80	0.72	-2.2	0.84	0.75	0.83	0.84	0.69	-3.5	0.76	0.57	0.42	0.83	0.28	-2.7	0.46
KGE	P4	0.56	0.77	0.75	0.80	-2.4	0.74	0.52	0.84	0.43	0.74	-2.7	0.70	0.64	0.81	0.72	0.81	-1.0	0.78
KGE	P5	-0.1	0.0	0.0	0.02	0.76	0.0	0.03	0.12	0.11	-0.1	0.74	0.08	0.04	0.33	0.12	-0.7	0.71	0.0
KGE	CP	0.69	0.93	0.79	0.68	-2.2	0.85	0.75	0.85	0.78	0.68	-3.1	0.78	0.85	0.84	0.74	0.80	-0.5	0.87
NSEsqrт	P1	0.60	0.55	0.28	0.20	-1.7	0.43	0.51	0.66	0.30	0.38	-2.1	0.45	0.76	0.65	0.54	0.37	-1.4	0.58
NSEsqrт	P2	0.73	0.76	0.62	0.50	-1.2	0.65	0.46	0.72	0.31	0.58	-0.9	0.52	0.71	0.74	0.63	0.48	-0.5	0.66
NSEsqrт	P3	0.74	0.77	0.65	0.53	-1.1	0.67	0.50	0.62	0.58	0.37	-2.3	0.50	0.56	0.57	0.71	0.35	-1.6	0.52
NSEsqrт	P4	0.69	0.71	0.64	0.60	-1.4	0.64	0.44	0.70	0.32	0.56	-1.5	0.50	0.76	0.73	0.66	0.55	-0.4	0.69
NSEsqrт	P5	0.42	0.49	0.38	0.39	0.5	0.49	0.39	0.49	0.38	0.25	0.49	0.46	0.17	0.39	0.21	-0.4	0.49	0.18
NSEsqrт	CP	0.71	0.74	0.58	0.46	-1.0	0.63	0.52	0.66	0.50	0.39	-1.9	0.51	0.71	0.74	0.69	0.58	-0.2	0.70
RSR	P1	0.49	1.22	1.75	1.11	15.2	0.77	0.60	0.19	0.77	0.22	18.3	0.63	0.43	1.49	1.47	1.53	12.5	0.63
RSR	P2	0.76	0.35	0.14	0.21	13.2	0.55	1.44	0.43	1.88	0.70	11.5	0.72	1.14	0.37	0.34	0.09	6.2	0.53
RSR	P3	0.87	0.15	0.63	0.08	12.9	0.53	0.46	0.47	0.55	0.37	19.3	0.58	0.60	2.21	0.57	2.90	15.0	0.77
RSR	P4	0.94	0.29	0.13	0.63	14.6	0.55	0.83	0.56	1.29	0.72	15.5	0.73	0.97	0.06	0.19	0.60	6.63	0.52
RSR	P5	3.51	3.40	4.28	3.36	0.68	0.84	3.19	2.98	4.00	3.63	0.71	0.80	4.42	3.10	4.94	7.11	0.72	0.95
RSR	CP	0.90	0.13	0.02	0.06	11.8	0.55	0.12	0.00	0.60	0.04	16.9	0.57	0.43	0.54	0.41	0.18	4.90	0.51
VE	P1	1.00	0.75	0.72	0.78	-1.5	0.74	0.93	0.96	0.88	0.96	-2.0	0.92	1.00	0.70	0.76	0.70	-1.1	0.74
VE	P2	0.84	1.00	0.98	0.96	-1.2	0.96	0.70	0.99	0.69	0.86	-0.9	0.87	0.77	1.00	0.95	0.98	0.0	0.96
VE	P3	0.82	0.97	0.99	0.98	-1.1	0.99	0.90	0.90	0.99	0.93	-2.2	0.85	0.88	0.55	0.99	0.43	-1.5	0.59
VE	P4	0.81	0.94	0.98	0.99	-1.4	1.00	0.83	0.88	0.79	0.99	-1.6	1.00	0.80	0.99	0.97	0.98	-0.1	0.98
VE	P5	0.28	0.30	0.31	0.33	0.98	0.32	0.34	0.39	0.35	0.28	0.98	0.37	0.09	0.37	0.20	-0.4	0.94	0.05
VE	CP	0.81	0.97	1.00	0.99	-1.0	1.00	0.98	1.00	0.90	0.99	-1.8	0.95	0.91	0.89	0.93	0.96	0.18	1.00

Табела П-3. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (I дио).

Потпис	Калиб. Период	Валидација abcd					Валидација Вудуко					Валидација GR2M							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
Q95	P1	0.09	0.34	0.30	0.64	0.02	0.44	0.10	0.24	0.26	0.10	1.71	0.30	0.26	0.16	0.24	0.19	2.45	0.10
	P2	0.34	0.28	0.11	0.38	0.59	0.06	0.10	0.04	0.05	0.19	1.45	0.06	0.18	0.12	0.18	0.25	2.43	0.03
	P3	0.33	0.24	0.12	0.37	0.82	0.08	0.13	0.14	0.00	0.29	0.73	0.03	0.15	0.02	0.15	0.30	2.48	0.05
	P4	0.24	0.22	0.16	0.28	0.42	0.00	0.18	0.20	0.16	0.36	0.60	0.13	0.31	0.25	0.31	0.36	1.78	0.18
	P5	0.75	0.60	0.68	0.04	0.07	0.25	0.15	0.09	0.04	0.16	0.02	0.12	0.68	0.61	0.67	0.74	0.15	0.65
Q80	CP	0.28	0.23	0.05	0.44	0.01	0.20	0.08	0.06	0.01	0.24	0.91	0.01	0.24	0.18	0.25	0.31	2.11	0.10
	P1	0.11	0.18	0.30	0.15	0.24	0.16	0.24	0.71	0.83	0.29	0.36	0.25	0.97	0.71	0.91	0.48	1.64	0.68
	P2	0.40	0.00	0.03	0.13	0.56	0.09	0.05	0.37	0.67	0.20	0.09	0.09	1.12	0.93	0.95	0.66	1.52	0.93
	P3	0.61	0.12	0.05	0.31	0.83	0.23	0.06	0.26	0.61	0.34	0.04	0.00	1.15	1.06	1.10	0.82	1.55	0.96
	P4	0.77	0.30	0.04	0.01	0.45	0.16	0.44	0.52	0.71	0.18	0.47	0.28	0.71	0.55	0.59	0.29	0.90	0.54
Q50	P5	0.35	0.53	0.45	0.52	0.40	0.57	0.06	0.26	0.54	0.61	0.44	0.19	0.37	0.41	0.34	0.52	0.41	0.49
	CP	0.15	0.17	0.27	0.08	0.01	0.09	0.06	0.43	0.66	0.36	0.05	0.00	0.91	0.76	0.78	0.48	1.20	0.74
	P1	1.12	0.18	0.18	0.29	12.33	0.61	0.27	0.45	0.47	0.69	2.99	0.49	1.11	0.27	0.05	0.12	11.00	0.54
	P2	1.00	0.03	0.10	0.10	13.29	0.43	0.02	0.17	0.02	0.54	4.31	0.28	1.53	0.15	0.16	0.22	13.78	0.61
	P3	0.90	0.01	0.03	0.03	15.02	0.38	0.43	0.52	0.58	0.64	2.33	0.59	1.59	0.20	0.38	0.25	16.52	0.75
Q20	P4	0.95	0.46	0.09	0.05	4.52	0.41	0.35	0.45	0.11	0.19	4.41	0.11	0.93	0.10	0.15	0.15	9.34	0.18
	P5	0.22	0.60	0.66	0.55	3.30	0.43	0.48	0.44	0.23	0.80	0.38	0.56	0.45	0.79	0.74	0.76	1.02	0.71
	CP	1.58	0.45	0.15	0.45	10.15	0.74	0.30	0.46	0.37	0.70	2.77	0.52	1.21	0.00	0.01	0.05	11.45	0.39
	P1	3.33	3.25	1.59	3.73	2208	4.6	0.47	0.87	0.86	0.77	94.70	0.74	1.23	0.20	0.18	0.54	889	0.97
	P2	2.76	2.39	1.10	2.83	2012	3.9	0.02	0.64	0.47	0.49	203	0.29	1.45	0.12	0.08	0.77	1109	1.42
Q5	P3	1.48	0.82	0.42	1.78	1727	2.2	0.59	0.92	0.88	0.82	106	0.78	1.77	0.69	0.58	1.33	1416	1.92
	P4	2.04	2.53	1.80	1.76	901.3	1.8	0.34	0.12	0.02	0.10	513	0.49	0.67	0.36	0.30	0.27	631	0.49
	P5	0.50	0.51	0.13	0.58	557.8	1.0	0.70	0.48	0.49	0.56	89.6	0.60	0.65	0.90	0.89	0.80	75.53	0.76
	CP	2.77	4.66	2.44	4.41	1903	5.3	0.34	0.84	0.86	0.76	106.3	0.68	1.04	0.14	0.11	0.43	856	0.93
	P1	10.97	77.72	13.14	34.96	100	100	0.94	1.00	0.96	1.00	100	100	0.52	2.08	0.01	2.26	100	100
Q5	P2	9.25	57.13	9.38	26.63	100	100	0.68	0.41	0.71	0.58	100	100	1.70	6.37	0.80	4.87	100	100
	P3	3.41	19.77	3.53	11.42	100	100	0.92	1.00	0.97	1.00	100	100	2.23	11.91	2.22	7.61	100	100
	P4	5.26	30.11	6.73	11.45	100	100	0.47	0.56	1.32	0.87	100	100	0.42	2.75	0.14	1.94	100	100
	P5	1.88	23.70	3.23	8.90	100	100	0.71	0.86	0.17	0.42	100	100	0.81	0.69	0.95	0.77	100	100
	CP	9.82	112	18.36	38.44	100	100	0.87	1.00	0.91	0.91	100	100	1.03	4.34	0.29	3.31	100	100

Табела II-4. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (II дио).

Потпис	Калиб. Период	Валидација WASMOD					Валидација WatBal					Валидација Xinanjiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
Q95	P1	0.17	0.42	0.33	0.52	4.51	0.47	0.23	0.04	0.02	0.39	3.21	0.09	0.17	0.23	0.12	0.08	2.79	0.26
	P2	0.10	0.01	0.01	0.13	2.88	0.13	0.39	0.08	0.05	0.37	2.09	0.24	0.13	0.11	0.02	0.25	1.85	0.06
	P3	0.13	0.04	0.03	0.06	2.72	0.10	0.23	0.03	0.03	0.38	3.34	0.04	0.75	0.23	0.09	0.05	3.19	0.13
	P4	0.19	0.10	0.14	0.16	2.62	0.13	0.29	0.11	0.02	0.27	2.65	0.19	0.10	0.03	0.07	0.24	1.98	0.02
	P5	0.75	0.72	0.70	0.75	0.01	0.71	0.69	0.53	0.56	0.81	0.06	0.65	0.55	0.31	0.39	0.41	0.02	0.58
Q80	CP	0.09	0.02	0.02	0.15	2.83	0.14	0.26	0.08	0.01	0.42	2.98	0.10	0.09	0.15	0.03	0.30	1.37	0.09
	P1	0.21	0.37	0.89	0.20	0.21	0.01	0.87	0.74	0.48	0.35	1.82	0.51	0.31	0.81	0.85	0.25	0.53	0.48
	P2	0.45	0.52	0.80	0.03	1.20	0.16	0.03	0.22	0.18	0.50	0.56	0.23	0.01	0.37	0.53	0.02	0.07	0.03
	P3	0.45	0.51	0.76	0.01	1.23	0.18	0.95	0.87	0.67	0.44	1.91	0.76	0.29	1.29	0.33	1.00	1.51	0.72
	P4	0.76	0.80	0.87	0.34	1.65	0.53	0.42	0.59	0.11	0.32	1.01	0.07	0.19	0.56	0.64	0.01	0.07	0.17
Q50	P5	0.47	0.44	0.45	0.60	0.23	0.58	0.58	0.59	0.63	0.79	0.45	0.68	2.61	2.53	2.12	1.86	0.16	2.12
	CP	0.37	0.21	0.78	0.22	0.78	0.00	0.78	0.63	0.54	0.25	1.65	0.47	0.05	0.67	0.43	0.10	0.09	0.05
	P1	0.90	0.97	0.98	0.99	0.91	0.98	0.52	0.39	0.68	0.35	6.52	0.17	0.41	0.20	0.07	0.24	4.38	0.04
	P2	0.42	0.79	0.71	0.77	1.35	0.66	0.08	0.47	0.64	0.49	9.42	0.25	0.47	0.57	0.44	0.65	0.68	0.56
	P3	0.30	0.76	0.68	0.75	1.67	0.63	0.70	0.34	0.59	0.27	7.25	0.07	0.03	0.18	0.08	0.06	5.20	0.19
Q20	P4	0.06	0.63	0.68	0.79	3.94	0.55	0.23	0.40	0.67	0.44	9.24	0.20	0.01	0.12	0.09	0.43	2.06	0.26
	P5	0.66	0.83	0.81	0.83	1.25	0.74	0.55	0.77	0.83	0.77	3.49	0.67	3.31	1.24	1.34	1.29	3.06	1.88
	CP	0.67	0.87	0.86	0.88	0.18	0.81	0.40	0.44	0.68	0.41	6.15	0.25	0.07	0.17	0.20	0.46	2.29	0.25
	P1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.69	0.93	0.98	0.95	74.17	0.91	0.04	0.44	0.05	0.07	2.25	0.12
	P2	0.84	0.94	0.90	0.90	1.13	0.85	0.25	0.18	0.19	0.58	1362	0.96	0.73	0.91	0.67	0.70	38.07	0.74
Q5	P3	0.76	0.90	0.88	0.84	1.47	0.79	0.62	0.91	0.97	0.94	95.11	0.86	0.28	0.48	0.22	0.41	25.2	0.11
	P4	0.56	0.84	0.79	0.72	2.25	0.65	0.53	0.26	0.18	0.73	1390	0.95	0.33	0.59	0.24	0.21	1.21	0.29
	P5	0.71	0.88	0.92	0.81	1.36	0.77	0.34	0.45	0.61	0.24	613	0.09	3.72	0.82	2.92	3.59	25.1	3.34
	CP	0.90	0.98	0.95	0.96	4.2.35	0.94	0.73	0.94	0.98	0.95	62.88	0.91	0.36	0.37	0.19	0.16	19.1	0.13
	P1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	100	1.00	0.17	1.00	0.10	0.80	100	100
Q5	P2	0.91	0.63	0.95	0.74	1.00	0.68	10.73	0.78	3.19	1.00	0.89	1.00	0.89	1.00	0.81	0.74	100	100
	P3	0.88	0.43	0.92	0.55	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.61	1.00	0.11	0.82	100	100	
	P4	1.00	0.36	0.86	0.18	1.00	0.68	9.92	0.76	3.51	1.00	1.00	0.52	1.00	0.19	0.23	100	100	
	P5	0.87	0.47	0.93	0.72	1.00	1.00	0.21	3.28	0.41	0.98	1.00	1.00	1.81	0.32	6.54	14.85	100	100
	CP	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.43	1.00	0.04	0.39	100	100

Табела П-5. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (III дио).

Потпис	Калиб. Период	Валидација abcd										Валидација Вудуко										Валидација GR2M									
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP						
BFI	P1	0.19	0.17	0.15	0.23	0.27	0.19	0.01	0.03	0.02	0.07	0.02	0.03	0.03	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02						
	P2	0.09	0.08	0.07	0.10	0.17	0.09	0.02	0.01	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.06	0.02	0.02	0.01	0.00	0.06	0.02	0.02	0.01	0.05	0.03						
	P3	0.05	0.03	0.03	0.02	0.11	0.04	0.02	0.03	0.02	0.08	0.02	0.03	0.03	0.08	0.03	0.03	0.03	0.03	0.08	0.03	0.03	0.01	0.07	0.04						
	P4	0.20	0.15	0.15	0.21	0.28	0.18	0.07	0.02	0.03	0.00	0.00	0.04	0.03	0.05	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02						
	P5	0.01	0.01	0.00	0.00	0.12	0.01	0.04	0.01	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.04	0.02	0.01						
IAFD	CP	0.19	0.18	0.16	0.25	0.28	0.21	0.00	0.02	0.01	0.07	0.01	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	0.04	0.02						
	P1	0.31	0.42	0.39	0.45	0.79	0.34	0.15	0.31	0.59	0.51	0.31	0.08	0.34	0.21	0.15	0.34	0.34	0.21	0.15	0.34	0.33	2.78	0.19							
	P2	0.48	0.30	0.29	0.37	1.31	0.33	0.23	0.08	0.35	0.31	1.15	0.17	0.22	0.22	0.16	0.30	0.36	0.28	0.22	0.16	0.30	0.36	2.87	0.24						
	P3	0.52	0.32	0.30	0.36	1.60	0.37	0.28	0.11	0.31	0.25	0.83	0.13	0.27	0.21	0.21	0.31	0.37	0.21	0.27	0.21	0.31	0.37	2.81	0.28						
	P4	0.44	0.44	0.45	0.47	0.46	0.36	0.36	0.17	0.27	0.21	0.89	0.14	0.17	0.17	0.15	0.26	0.20	0.20	0.17	0.15	0.26	0.20	2.03	0.11						
SEL	P5	0.60	0.45	0.41	0.38	0.35	0.42	0.38	0.13	0.33	0.27	0.18	0.17	0.62	0.63	0.64	0.59	0.24	0.62	0.63	0.64	0.59	0.24	0.60							
	CP	0.39	0.30	0.30	0.41	0.64	0.26	0.24	0.09	0.35	0.29	0.93	0.15	0.19	0.13	0.27	0.27	2.42	0.19	0.13	0.27	0.27	2.42	0.14							
	P1	1.11	0.30	0.02	0.70	0.39	0.90	0.44	1.15	0.27	0.96	0.80	0.30	0.29	1.78	0.01	0.09	0.23	0.29	1.78	0.01	0.09	0.23	0.30							
	P2	1.60	1.08	0.57	0.12	0.39	0.94	0.36	1.04	0.08	0.92	0.60	0.33	0.75	2.13	0.05	0.12	0.18	0.75	2.13	0.05	0.12	0.18	0.44							
	P3	1.27	1.25	0.68	0.00	0.26	0.13	0.12	0.94	0.37	0.94	0.79	0.39	0.92	2.29	0.20	0.11	0.11	0.92	2.29	0.20	0.11	0.11	0.45							
AC1	P4	1.61	0.58	0.92	0.45	0.81	0.74	0.01	1.11	0.14	0.79	0.72	0.03	0.58	1.95	0.11	0.08	0.72	0.58	1.95	0.11	0.08	0.23	0.25							
	P5	1.08	2.37	2.16	0.04	0.32	0.02	0.47	0.55	0.02	0.87	1.00	0.61	0.71	1.25	0.55	0.05	0.30	0.71	1.25	0.55	0.05	0.30	0.04							
	CP	1.97	0.53	0.30	0.30	0.68	1.41	0.15	0.96	0.29	0.96	0.76	0.37	0.69	2.05	0.03	0.10	0.20	0.69	2.05	0.03	0.10	0.20	0.38							
	P1	0.01	0.06	0.20	0.09	0.13	0.04	0.08	0.13	0.12	0.29	0.30	0.13	0.02	0.16	0.14	0.22	0.04	0.02	0.16	0.14	0.22	0.04	0.10							
	P2	0.04	0.00	0.16	0.14	0.10	0.01	0.00	0.09	0.07	0.29	0.44	0.09	0.08	0.19	0.23	0.25	0.02	0.08	0.19	0.23	0.25	0.02	0.17							
AC12	P3	0.02	0.04	0.19	0.15	0.11	0.04	0.16	0.15	0.22	0.34	0.19	0.19	0.15	0.21	0.28	0.06	0.19	0.15	0.21	0.28	0.27	0.06	0.21							
	P4	0.08	0.01	0.15	0.16	0.07	0.08	0.13	0.15	0.19	0.36	0.20	0.18	0.07	0.18	0.22	0.25	0.01	0.07	0.18	0.22	0.25	0.01	0.15							
	P5	0.11	0.15	0.04	0.04	0.02	0.09	0.12	0.11	0.18	0.27	0.09	0.15	0.05	0.14	0.23	0.23	0.00	0.05	0.14	0.23	0.23	0.00	0.13							
	CP	0.07	0.08	0.09	0.11	0.09	0.03	0.11	0.13	0.18	0.33	0.27	0.16	0.08	0.19	0.23	0.25	0.02	0.16	0.08	0.19	0.23	0.25	0.16							
	P1	0.15	0.03	0.02	0.05	0.11	0.04	0.02	0.05	0.16	0.11	0.01	0.02	0.00	0.04	0.17	0.12	0.05	0.02	0.00	0.04	0.17	0.12	0.07	0.05						
AC12	P2	0.12	0.01	0.03	0.03	0.09	0.02	0.03	0.10	0.09	0.10	0.02	0.02	0.07	0.06	0.21	0.11	0.09	0.07	0.06	0.21	0.11	0.10	0.09							
	P3	0.13	0.00	0.05	0.01	0.11	0.04	0.09	0.08	0.17	0.09	0.02	0.02	0.13	0.06	0.21	0.10	0.11	0.13	0.06	0.21	0.10	0.09	0.11							
	P4	0.10	0.03	0.03	0.11	0.13	0.01	0.08	0.13	0.11	0.10	0.04	0.01	0.07	0.05	0.21	0.11	0.09	0.07	0.05	0.21	0.11	0.09	0.09							
	P5	0.05	0.00	0.00	0.13	0.04	0.04	0.06	0.14	0.15	0.07	0.02	0.03	0.08	0.03	0.18	0.08	0.05	0.03	0.08	0.03	0.18	0.08	0.05	0.06						
	CP	0.10	0.04	0.00	0.08	0.05	0.01	0.07	0.09	0.15	0.10	0.10	0.00	0.07	0.05	0.21	0.11	0.10	0.07	0.05	0.21	0.11	0.10	0.09							

Табела II-6. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (IV дио).

Потпис	Калиб. Период	Валидација WASMOD					Валидација Waftal					Валидација Xinanjiang								
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
BFI	P1	0.03	0.04	0.04	0.10	0.05	0.05	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.05	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02
	P2	0.02	0.03	0.03	0.08	0.03	0.03	0.01	0.03	0.01	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.06	0.00	0.01	0.01
	P3	0.02	0.03	0.02	0.08	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.08	0.06	0.06	0.04	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02
	P4	0.01	0.03	0.02	0.07	0.03	0.03	0.00	0.03	0.02	0.07	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02
	P5	0.00	0.01	0.02	0.06	0.00	0.02	0.00	0.03	0.02	0.03	0.07	0.02	0.10	0.05	0.07	0.01	0.07	0.01	0.06
IAFD	CP	0.03	0.03	0.03	0.09	0.04	0.04	0.05	0.06	0.06	0.08	0.06	0.06	0.05	0.02	0.03	0.02	0.02	0.03	0.03
	P1	0.41	0.56	0.74	0.72	2.90	0.64	0.27	0.20	0.40	0.22	3.16	0.19	0.20	0.38	0.57	0.55	2.14	0.39	0.39
	P2	0.33	0.28	0.51	0.48	2.47	0.40	0.36	0.16	0.48	0.20	2.08	0.20	0.34	0.17	0.40	0.38	1.41	0.32	0.32
	P3	0.32	0.25	0.48	0.44	2.41	0.38	0.28	0.23	0.29	0.23	3.33	0.24	0.49	0.50	0.24	0.64	2.51	0.47	0.47
	P4	0.31	0.21	0.38	0.33	2.68	0.28	0.32	0.22	0.48	0.20	2.74	0.23	0.29	0.20	0.38	0.32	1.25	0.26	0.26
SEL	P5	0.72	0.70	0.69	0.67	0.45	0.68	0.66	0.61	0.65	0.72	0.31	0.63	0.95	0.64	0.82	1.41	0.40	0.95	0.95
	CP	0.33	0.29	0.52	0.46	2.28	0.41	0.25	0.20	0.33	0.21	2.94	0.17	0.25	0.20	0.34	0.32	1.03	0.23	0.23
	P1	0.43	1.56	1.05	0.67	0.32	0.40	0.69	0.97	0.93	0.03	1.35	0.46	0.15	2.15	0.01	1.01	0.15	0.23	0.23
	P2	0.59	1.72	0.65	0.68	0.74	0.04	0.50	0.78	0.85	0.81	0.85	0.58	0.55	1.69	0.53	0.26	0.54	0.04	0.04
	P3	0.65	1.75	0.61	0.70	0.75	0.05	0.53	1.04	0.64	0.02	1.38	0.30	2.12	1.72	0.81	0.19	0.36	0.59	0.59
AC1	P4	0.60	1.98	0.54	0.94	0.70	0.33	0.53	0.80	1.13	0.87	0.89	0.54	0.05	2.19	0.22	0.01	0.55	0.15	0.15
	P5	0.75	2.24	0.29	0.50	0.52	0.20	1.52	1.29	0.43	0.14	1.19	0.37	1.50	2.69	1.58	1.09	0.23	1.35	1.35
	CP	0.23	1.67	0.88	0.65	0.69	0.03	0.80	1.19	0.65	0.04	1.35	0.25	0.88	1.93	0.51	0.60	0.61	0.14	0.14
	P1	0.15	0.11	0.13	0.13	0.11	0.11	0.16	0.17	0.23	0.16	0.06	0.16	0.11	0.14	0.10	0.21	0.37	0.12	0.12
	P2	0.16	0.11	0.16	0.18	0.07	0.13	0.06	0.16	0.19	0.13	0.21	0.13	0.13	0.14	0.14	0.19	0.34	0.13	0.13
AC12	P3	0.17	0.12	0.17	0.19	0.06	0.14	0.16	0.23	0.20	0.16	0.06	0.17	0.21	0.20	0.21	0.28	0.19	0.20	0.20
	P4	0.32	0.25	0.30	0.30	0.07	0.27	0.06	0.17	0.19	0.14	0.18	0.13	0.18	0.22	0.16	0.24	0.29	0.18	0.18
	P5	0.12	0.11	0.16	0.18	0.11	0.12	0.18	0.24	0.17	0.12	0.10	0.18	0.39	0.35	0.30	0.35	0.20	0.32	0.32
	CP	0.15	0.10	0.15	0.17	0.09	0.12	0.16	0.17	0.22	0.16	0.06	0.16	0.14	0.10	0.15	0.19	0.34	0.12	0.12
	P1	0.17	0.03	0.31	0.11	0.16	0.13	0.05	0.13	0.18	0.00	0.21	0.11	0.05	0.03	0.21	0.07	0.04	0.04	0.04

Табела II-7. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (V дио).

Потпис	Калиб. Период	Валидација abcd					Валидација Vудуко					Валидација GR2M							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
STD	P1	0.00	0.41	0.37	0.37	0.10	0.25	0.00	0.24	0.20	0.46	1.76	0.19	0.12	0.20	0.21	0.02	2.37	0.14
	P2	0.36	0.00	0.02	0.02	0.52	0.11	0.16	0.00	0.06	0.12	1.24	0.04	0.11	0.14	0.18	0.06	2.37	0.11
	P3	0.40	0.01	0.00	0.04	0.78	0.13	0.18	0.04	0.06	0.16	0.80	0.03	0.12	0.14	0.18	0.03	2.14	0.12
	P4	0.15	0.04	0.06	0.04	0.35	0.03	0.25	0.08	0.17	0.02	0.68	0.13	0.24	0.26	0.30	0.09	1.79	0.24
	P5	0.74	0.46	0.36	0.46	0.00	0.50	0.22	0.08	0.08	0.22	0.01	0.03	0.63	0.65	0.68	0.59	0.02	0.64
Qmed	CP	0.22	0.08	0.12	0.09	0.06	0.00	0.16	0.06	0.03	0.19	0.95	0.01	0.18	0.20	0.24	0.02	2.06	0.17
	P1	1.18	0.18	0.15	0.31	14.00	0.61	0.25	0.50	0.53	0.71	3.04	0.50	1.15	0.28	0.05	0.14	12.59	0.51
	P2	1.05	0.03	0.07	0.12	15.16	0.43	0.04	0.22	0.09	0.53	5.00	0.28	1.60	0.15	0.12	0.25	15.31	0.61
	P3	0.94	0.08	0.01	0.05	16.94	0.38	0.42	0.55	0.57	0.67	2.78	0.60	1.66	0.20	0.33	0.26	18.79	0.75
	P4	0.99	0.46	0.04	0.03	5.26	0.40	0.34	0.44	0.13	0.20	5.12	0.11	0.97	0.12	0.18	0.13	10.37	0.17
P0	P5	0.20	0.61	0.65	0.54	3.88	0.43	0.47	0.46	0.21	0.79	0.42	0.56	0.45	0.80	0.75	0.76	1.29	0.71
	CP	1.62	0.45	0.11	0.47	11.36	0.75	0.30	0.48	0.36	0.72	3.22	0.52	1.27	0.01	0.02	0.07	12.66	0.38
	P1	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.01	0.08	0.03	0.05	0.18	0.00	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06
	P2	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06
	P3	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.03	0.07	0.04	0.07	0.18	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06
D20	P4	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.00	0.00	0.00	0.02	0.24	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06
	P5	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.00	0.03	0.00	0.20	0.03	0.03	0.01	0.01	0.01	0.00	0.23	0.04
	CP	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.00	0.04	0.01	0.03	0.19	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06
	P1	0.06	0.13	0.11	0.17	0.53	0.20	0.16	0.22	0.17	0.17	0.15	0.11	0.03	0.00	0.03	0.10	0.43	0.12
	P2	0.06	0.13	0.11	0.17	0.53	0.20	0.08	0.10	0.06	0.02	0.24	0.01	0.05	0.04	0.07	0.14	0.48	0.16
D20	P3	0.06	0.11	0.11	0.17	0.53	0.20	0.16	0.25	0.17	0.17	0.15	0.12	0.06	0.08	0.10	0.16	0.53	0.19
	P4	0.06	0.13	0.11	0.17	0.50	0.19	0.03	0.02	0.07	0.07	0.32	0.10	0.02	0.01	0.04	0.08	0.39	0.10
	P5	0.06	0.13	0.11	0.17	0.39	0.17	0.15	0.11	0.03	0.08	0.03	0.07	0.17	0.23	0.19	0.22	0.09	0.14
	CP	0.06	0.13	0.11	0.17	0.53	0.20	0.13	0.19	0.15	0.13	0.18	0.08	0.04	0.02	0.05	0.11	0.44	0.13

Табела II-8. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Вимера (VI дио).

Потпис	Калиб. Период	Валидација WASMOD					Валидација WatBal					Валидација Xinanjiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
STD	P1	0.01	0.35	0.43	0.67	3.73	0.33	0.13	0.09	0.09	0.09	3.08	0.09	0.00	0.15	0.09	0.28	2.65	0.12
	P2	0.23	0.00	0.03	0.22	2.52	0.02	0.36	0.00	0.23	0.09	1.97	0.16	0.16	0.00	0.10	0.07	1.65	0.05
	P3	0.27	0.05	0.02	0.16	2.38	0.07	0.12	0.08	0.02	0.08	3.17	0.06	0.32	0.35	0.01	0.39	2.70	0.29
	P4	0.38	0.21	0.14	0.01	2.29	0.19	0.28	0.06	0.16	0.02	2.62	0.09	0.28	0.17	0.17	0.03	1.57	0.17
	P5	0.77	0.73	0.73	0.68	0.02	0.73	0.67	0.60	0.58	0.74	0.01	0.63	0.22	0.08	0.25	0.90	0.07	0.31
Qmed	CP	0.22	0.01	0.04	0.23	2.47	0.01	0.15	0.12	0.08	0.12	2.91	0.11	0.00	0.09	0.15	0.01	1.23	0.01
	P1	0.90	0.98	0.99	0.99	0.91	0.98	0.53	0.42	0.67	0.37	7.49	0.18	0.38	0.12	0.10	0.25	4.33	0.04
	P2	0.45	0.79	0.73	0.77	1.58	0.66	0.04	0.47	0.62	0.48	10.72	0.25	0.47	0.58	0.42	0.65	0.86	0.56
	P3	0.32	0.78	0.71	0.74	1.87	0.63	0.72	0.36	0.60	0.30	8.22	0.08	0.04	0.17	0.14	0.05	5.98	0.19
	P4	0.07	0.63	0.67	0.78	4.34	0.55	0.25	0.43	0.66	0.43	10.61	0.20	0.01	0.23	0.10	0.42	2.42	0.26
P0	P5	0.65	0.84	0.81	0.83	1.46	0.74	0.55	0.79	0.82	0.76	4.09	0.67	3.37	1.21	1.29	1.32	3.55	1.89
	CP	0.67	0.88	0.86	0.88	0.33	0.81	0.39	0.48	0.68	0.42	6.89	0.25	0.07	0.20	0.16	0.46	2.58	0.25
	P1	0.26	0.35	0.32	0.36	0.18	0.30	0.19	0.20	0.25	0.22	0.01	0.17	0.00	0.04	0.00	0.02	0.24	0.04
	P2	0.00	0.00	0.02	0.01	0.24	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.00	0.07	0.00	0.02	0.02	0.01
	P3	0.00	0.01	0.01	0.01	0.24	0.05	0.19	0.20	0.23	0.22	0.01	0.16	0.00	0.07	0.00	0.02	0.13	0.01
D20	P4	0.06	0.03	0.03	0.00	0.24	0.02	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.00	0.02	0.00	0.02	0.19	0.05
	P5	0.00	0.00	0.01	0.02	0.24	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06	0.00	0.02	0.00	0.02	0.24	0.06
	CP	0.05	0.11	0.09	0.08	0.16	0.04	0.19	0.20	0.24	0.22	0.01	0.17	0.00	0.05	0.00	0.02	0.02	0.01
	P1	0.41	0.43	0.40	0.41	0.06	0.34	0.17	0.20	0.20	0.17	0.20	0.11	0.01	0.09	0.03	0.03	0.21	0.03
	P2	0.22	0.24	0.24	0.19	0.06	0.16	0.03	0.08	0.06	0.11	0.50	0.16	0.18	0.22	0.10	0.11	0.04	0.11
CP	P3	0.19	0.24	0.20	0.19	0.10	0.14	0.17	0.19	0.16	0.17	0.23	0.09	0.07	0.09	0.01	0.05	0.23	0.03
	P4	0.15	0.19	0.13	0.13	0.19	0.08	0.03	0.08	0.06	0.11	0.50	0.16	0.05	0.10	0.03	0.00	0.14	0.00
	P5	0.17	0.23	0.21	0.16	0.07	0.14	0.02	0.03	0.02	0.03	0.36	0.07	0.05	0.03	0.11	0.17	0.22	0.15
	CP	0.27	0.27	0.29	0.27	0.01	0.22	0.18	0.20	0.17	0.20	0.11	0.04	0.08	0.03	0.03	0.02	0.15	0.01

Табела II-9. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Камп (I дио). Сиве ћелије су вриједности при калибрацији. Црвене означавају трансфере у којима је ефикасност незадовољавајућа.

Ефикасност	Калиб. период	Валидација abcd					Валидација Вудуко					Валидација GR2M							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
KSE	P1	0.83	0.70	0.78	0.75	0.72	0.77	0.81	0.69	0.71	0.87	0.64	0.81	0.71	0.57	0.71	0.87	0.62	0.75
	P2	0.79	0.73	0.75	0.72	0.71	0.75	0.76	0.73	0.65	0.76	0.64	0.32	0.68	0.59	0.68	0.84	0.60	0.73
	P3	0.82	0.66	0.86	0.91	0.73	0.84	0.75	0.59	0.75	0.93	0.64	0.23	0.69	0.55	0.72	0.88	0.62	0.76
	P4	0.80	0.69	0.84	0.95	0.72	0.84	0.77	0.61	0.74	0.93	0.64	-0.10	0.66	0.56	0.70	0.93	0.60	0.76
	P5	0.80	0.68	0.82	0.85	0.74	0.81	0.75	0.67	0.72	0.90	0.68	0.06	0.70	0.56	0.72	0.87	0.62	0.75
NSESqrT	CP	0.81	0.68	0.86	0.94	0.73	0.85	0.78	0.65	0.74	0.92	0.67	0.80	0.69	0.56	0.72	0.91	0.62	0.77
	P1	0.63	0.46	0.58	0.72	0.62	0.62	0.66	0.54	0.66	0.81	0.60	0.66	0.59	0.35	0.58	0.74	0.54	0.58
	P2	0.57	0.51	0.51	0.69	0.64	0.60	0.65	0.64	0.59	0.78	0.66	-0.08	0.64	0.45	0.63	0.77	0.58	0.63
	P3	0.69	0.45	0.63	0.77	0.60	0.64	0.51	0.25	0.57	0.72	0.49	-0.56	0.54	0.29	0.54	0.70	0.50	0.53
	P4	0.73	0.54	0.67	0.81	0.64	0.69	0.55	0.32	0.60	0.75	0.52	-0.63	0.53	0.32	0.55	0.70	0.51	0.54
RSR	P5	0.51	0.36	0.51	0.71	0.56	0.55	0.58	0.43	0.53	0.74	0.61	-0.33	0.56	0.30	0.56	0.71	0.51	0.55
	CP	0.71	0.50	0.65	0.79	0.62	0.67	0.60	0.41	0.61	0.77	0.59	0.61	0.55	0.32	0.56	0.71	0.51	0.55
	P1	0.56	1.28	0.21	0.32	0.58	0.59	0.56	0.45	0.07	0.12	0.14	0.56	0.66	1.89	0.99	0.77	0.92	0.60
	P2	1.52	0.71	0.91	0.38	0.30	0.58	0.87	0.62	0.52	0.20	0.08	1.02	0.03	0.81	0.11	0.16	0.18	0.57
	P3	0.47	0.86	0.52	0.18	0.24	0.56	0.45	0.34	0.59	0.06	0.00	1.15	0.91	1.88	0.60	0.78	0.88	0.63
VE	P4	0.73	0.60	0.39	0.31	0.07	0.52	0.50	0.30	0.23	0.36	0.02	1.13	0.24	0.74	0.12	0.37	0.04	0.62
	P5	0.99	0.65	0.42	0.07	0.67	0.59	0.45	0.37	0.21	0.02	0.65	1.10	1.10	2.07	1.15	0.89	0.72	0.62
	CP	0.67	0.66	0.32	0.06	0.10	0.54	0.36	0.44	0.11	0.10	0.15	0.57	0.33	1.30	0.41	0.42	0.41	0.62
	P1	0.98	0.89	0.98	0.96	0.94	0.96	0.97	0.96	0.99	0.98	0.99	0.97	0.92	0.83	0.91	0.90	0.91	0.90
	P2	0.87	0.99	0.92	0.95	0.97	0.95	0.93	1.00	0.95	0.97	0.99	0.89	1.00	0.92	0.99	0.98	0.98	0.97
VE	P3	0.96	0.92	0.99	0.98	0.98	0.98	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	0.89	0.92	0.83	0.91	0.90	0.91	0.90
	P4	0.94	0.95	0.96	1.00	0.99	0.99	0.96	0.97	0.98	0.99	1.00	0.77	0.98	0.93	0.99	0.99	1.00	0.99
	P5	0.91	0.94	0.96	0.99	1.00	0.99	0.96	0.97	0.98	1.00	0.98	0.76	0.91	0.82	0.90	0.89	0.90	0.88
	CP	0.94	0.94	0.97	0.99	0.99	1.00	0.97	0.96	0.99	0.99	0.99	0.99	0.97	0.89	0.96	0.95	0.96	0.95

Табела II-10. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Камп (П дио).

Ефикасност	Калибр. период	Валидација WASMOD					Валидација WatVal					Валидација Хуанџанг							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
KGE	P1	0.87	0.77	0.87	0.46	0.71	0.69	0.78	0.66	0.80	0.25	0.56	0.50	0.79	0.53	0.53	0.68	0.52	0.63
	P2	0.83	0.82	0.85	0.59	0.76	0.73	0.72	0.80	0.80	0.08	0.65	0.45	0.60	0.63	0.43	0.67	0.45	0.61
	P3	0.86	0.77	0.88	0.46	0.70	0.68	0.68	0.50	0.81	0.24	0.55	0.48	0.49	0.32	0.75	0.76	0.42	0.60
	P4	0.58	0.55	0.61	0.83	0.65	0.71	0.71	0.44	0.45	0.77	0.58	0.61	0.53	0.35	0.63	0.90	0.36	0.65
	P5	0.60	0.70	0.75	0.71	0.84	0.77	0.54	0.59	0.65	-0.06	0.75	0.34	0.35	0.41	0.57	0.64	0.80	0.59
CP	0.74	0.73	0.79	0.75	0.81	0.80	0.69	0.70	0.72	0.69	0.68	0.72	0.58	0.56	0.50	0.90	0.48	0.73	
NSEsqr	P1	0.73	0.50	0.55	0.39	0.46	0.51	0.53	0.36	0.37	-0.22	0.20	0.21	0.66	0.31	0.46	0.54	0.38	0.47
	P2	0.68	0.54	0.56	0.61	0.60	0.61	0.33	0.46	0.30	-0.36	0.35	0.19	0.32	0.38	0.46	0.61	0.37	0.42
	P3	0.76	0.53	0.61	0.43	0.50	0.55	0.41	0.24	0.42	-0.17	0.28	0.22	0.08	-0.38	0.44	0.25	0.00	0.06
	P4	0.13	0.06	-0.13	0.50	0.28	0.22	-0.71	-0.73	-0.90	0.10	-0.10	-0.37	0.38	-0.10	0.37	0.63	0.14	0.27
	P5	0.18	0.30	0.21	0.54	0.54	0.40	0.04	0.00	-0.01	-0.65	0.39	-0.04	-0.04	-0.04	0.36	0.35	0.54	0.21
CP	0.45	0.35	0.31	0.68	0.54	0.50	0.27	0.20	0.03	0.37	0.32	0.27	0.39	0.20	0.40	0.58	0.31	0.39	
RSR	P1	0.50	0.32	0.09	0.03	0.27	0.76	0.65	1.27	0.60	0.14	1.28	1.03	0.63	1.63	0.63	0.39	1.05	0.74
	P2	0.62	0.60	0.53	0.41	0.53	0.64	0.17	0.62	0.23	0.64	0.79	1.13	0.81	0.87	1.05	0.20	0.84	0.78
	P3	0.14	0.23	0.48	0.13	0.34	0.74	0.17	1.03	0.61	0.17	1.26	1.06	0.22	0.78	0.69	0.29	0.05	0.93
	P4	1.13	1.86	1.00	0.51	0.86	0.75	0.78	0.09	1.70	0.62	0.65	0.90	0.80	0.38	0.32	0.44	0.34	0.78
	P5	0.03	0.75	0.07	0.06	0.56	0.68	1.81	0.94	1.47	1.82	0.69	1.27	1.72	1.44	2.57	1.92	0.63	0.82
CP	0.35	1.05	0.27	0.15	0.20	0.61	0.31	0.65	0.12	0.06	0.37	0.73	0.69	1.08	0.59	0.24	0.01	0.73	
VE	P1	1.00	0.97	0.99	1.00	0.97	1.00	0.98	0.89	0.95	0.98	0.87	0.93	0.98	0.86	0.94	0.95	0.90	0.93
	P2	0.95	1.00	0.95	0.95	0.95	0.96	0.99	0.98	0.98	0.92	0.92	0.99	0.93	0.96	0.90	0.97	0.92	0.99
	P3	0.99	0.98	1.00	0.98	0.97	0.99	0.99	0.91	0.99	0.98	0.88	0.96	0.98	0.93	0.96	0.96	1.00	0.99
	P4	0.90	0.84	0.91	0.92	0.92	0.90	0.93	0.99	0.85	0.95	0.94	0.93	0.93	0.97	0.97	0.98	0.97	0.99
	P5	1.00	0.93	0.99	0.99	1.00	0.99	0.84	0.92	0.87	0.77	0.98	0.87	0.85	0.87	0.77	0.75	0.96	0.82
CP	0.97	0.91	0.98	0.98	0.98	0.96	0.97	0.94	0.99	0.99	0.96	0.98	0.94	0.90	0.95	0.97	1.00	1.00	

Табела П-11. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Камп (1 дио).

Период	Потпис	Валидација abcd										Валидација Вудуко										Валидација GR2M															
		P1		P2		P3		P4		P5		CP		P1		P2		P3		P4		P5		CP		P1		P2		P3		P4		P5		CP	
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	AC12	0.00	0.10	0.14	0.12	0.03	0.06	0.04	0.10	0.07	0.05	0.08	0.01	0.12	0.15	0.02	0.02	0.15	0.02	0.02	0.15	0.07	0.07														
P2	AC12	0.01	0.05	0.18	0.12	0.02	0.09	0.00	0.04	0.13	0.07	0.04	0.04	0.13	0.14	0.01	0.02	0.14	0.01	0.02	0.15	0.07	0.07														
P3	AC12	0.09	0.08	0.10	0.04	0.11	0.01	0.11	0.15	0.02	0.03	0.12	0.06	0.13	0.17	0.05	0.02	0.17	0.05	0.02	0.16	0.09	0.09														
P4	AC12	0.08	0.07	0.09	0.03	0.10	0.01	0.09	0.14	0.00	0.04	0.11	0.05	0.14	0.19	0.06	0.03	0.17	0.06	0.03	0.17	0.09	0.09														
P5	AC12	0.03	0.09	0.13	0.10	0.05	0.05	0.11	0.11	0.05	0.06	0.07	0.01	0.13	0.16	0.04	0.02	0.16	0.04	0.02	0.16	0.08	0.08														
CP	AC12	0.08	0.07	0.10	0.03	0.11	0.01	0.09	0.13	0.02	0.05	0.10	0.03	0.14	0.18	0.05	0.02	0.17	0.05	0.02	0.17	0.09	0.09														
P1	AC1	0.14	0.15	0.22	0.37	0.17	0.27	0.14	0.11	0.19	0.20	0.13	0.16	0.05	0.05	0.05	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.02														
P2	AC1	0.16	0.18	0.25	0.39	0.20	0.30	0.21	0.21	0.25	0.31	0.23	0.27	0.03	0.02	0.07	0.05	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01														
P3	AC1	0.05	0.03	0.07	0.05	0.00	0.04	0.08	0.10	0.02	0.04	0.10	0.04	0.10	0.10	0.00	0.02	0.07	0.05	0.02	0.07	0.07	0.07														
P4	AC1	0.01	0.01	0.09	0.03	0.05	0.01	0.03	0.06	0.06	0.07	0.05	0.00	0.12	0.12	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.10	0.10	0.10														
P5	AC1	0.06	0.06	0.16	0.22	0.08	0.16	0.04	0.02	0.08	0.08	0.00	0.03	0.07	0.07	0.02	0.00	0.04	0.02	0.00	0.04	0.05	0.05														
CP	AC1	0.03	0.01	0.08	0.04	0.03	0.02	0.02	0.10	0.08	0.08	0.02	0.03	0.10	0.10	0.01	0.02	0.08	0.01	0.02	0.08	0.08	0.08														
P1	BFI	0.12	0.12	0.08	0.08	0.05	0.09	0.09	0.10	0.05	0.07	0.05	0.07	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01														
P2	BFI	0.12	0.12	0.09	0.08	0.04	0.09	0.10	0.10	0.05	0.06	0.04	0.07	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01														
P3	BFI	0.08	0.08	0.03	0.06	0.03	0.05	0.13	0.15	0.05	0.10	0.06	0.10	0.04	0.05	0.01	0.04	0.05	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02														
P4	BFI	0.05	0.04	0.03	0.04	0.00	0.03	0.12	0.14	0.06	0.09	0.06	0.10	0.05	0.06	0.02	0.04	0.06	0.02	0.04	0.03	0.04	0.04														
P5	BFI	0.14	0.14	0.11	0.10	0.08	0.11	0.12	0.14	0.06	0.09	0.07	0.09	0.04	0.04	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.02														
CP	BFI	0.07	0.06	0.04	0.05	0.01	0.04	0.12	0.13	0.06	0.08	0.05	0.09	0.05	0.05	0.02	0.04	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.02														
P1	D20	0.00	0.07	0.06	0.01	0.01	0.03	0.07	0.03	0.01	0.06	0.03	0.02	0.13	0.00	0.06	0.10	0.14	0.00	0.10	0.14	0.08	0.08														
P2	D20	0.10	0.08	0.14	0.08	0.07	0.09	0.03	0.04	0.03	0.01	0.03	0.02	0.08	0.00	0.03	0.08	0.03	0.03	0.08	0.14	0.07	0.07														
P3	D20	0.01	0.07	0.04	0.00	0.03	0.02	0.03	0.04	0.06	0.01	0.03	0.01	0.11	0.00	0.03	0.08	0.03	0.03	0.08	0.11	0.07	0.07														
P4	D20	0.04	0.06	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01	0.04	0.07	0.00	0.04	0.01	0.07	0.03	0.01	0.04	0.03	0.01	0.04	0.08	0.04	0.04														
P5	D20	0.10	0.11	0.11	0.08	0.07	0.09	0.06	0.03	0.01	0.04	0.06	0.01	0.13	0.00	0.06	0.10	0.14	0.00	0.10	0.14	0.08	0.08														
CP	D20	0.04	0.06	0.04	0.01	0.04	0.00	0.04	0.03	0.00	0.00	0.03	0.01	0.10	0.01	0.01	0.06	0.11	0.01	0.06	0.11	0.05	0.05														
P1	Q80	0.10	0.24	0.07	0.07	0.09	0.16	0.06	0.12	0.05	0.04	0.04	0.10	0.03	0.19	0.14	0.03	0.15	0.03	0.15	0.12	0.12															
P2	Q80	0.02	0.16	0.00	0.05	0.02	0.12	0.04	0.07	0.00	0.06	0.09	0.06	0.04	0.12	0.07	0.08	0.03	0.07	0.08	0.03	0.04															
P3	Q80	0.05	0.20	0.02	0.07	0.09	0.07	0.02	0.07	0.08	0.02	0.20	0.04	0.05	0.20	0.15	0.10	0.19	0.15	0.10	0.19	0.12															
P4	Q80	0.11	0.19	0.02	0.13	0.01	0.03	0.01	0.06	0.09	0.04	0.18	0.02	0.04	0.12	0.09	0.04	0.09	0.04	0.09	0.09	0.03															
P5	Q80	0.01	0.27	0.08	0.02	0.09	0.14	0.00	0.23	0.13	0.05	0.02	0.07	0.08	0.21	0.16	0.10	0.19	0.15	0.10	0.19	0.15															
CP	Q80	0.08	0.19	0.01	0.11	0.06	0.04	0.01	0.15	0.11	0.05	0.08	0.05	0.01	0.16	0.11	0.07	0.14	0.07	0.14	0.07	0.07															
P1	Q95	0.02	0.02	0.21	0.18	0.12	0.02	0.01	0.05	0.08	0.04	0.19	0.02	0.01	0.11	0.11	0.19	0.11	0.11	0.19	0.11	0.03	0.03														
P2	Q95	0.04	0.09	0.18	0.08	0.15	0.02	0.09	0.12	0.07	0.05	0.23	0.09	0.09	0.01	0.02	0.09	0.16	0.02	0.09	0.16	0.10															
P3	Q95	0.11	0.17	0.24	0.36	0.04	0.09	0.18	0.02	0.21	0.24	0.15	0.01	0.05	0.14	0.11	0.22	0.10	0.22	0.10	0.00	0.00															
P4	Q95	0.04	0.07	0.12	0.22	0.06	0.04	0.16	0.02	0.19	0.19	0.15	0.00	0.02	0.09	0.02	0.13	0.15	0.02	0.13	0.15	0.05															
P5	Q95	0.08	0.08	0.20	0.23	0.07	0.06	0.05	0.05	0.08	0.18	0.13	0.03	0.05	0.14	0.13	0.22	0.09	0.02	0.13	0.15	0.05															
CP	Q95	0.03	0.12	0.19	0.30	0.05	0.06	0.07	0.01	0.16	0.23	0.17	0.01	0.02	0.11	0.07	0.17	0.01	0.07	0.17	0.13	0.03															

Табела II-12. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Камп (II дио).

Период	Потпис	Валидација WASMOD					Валидација WatVal					Валидација Xinpiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	AG12	0.08	0.13	0.09	0.11	0.00	0.12	0.07	0.04	0.16	0.07	0.02	0.03	0.00	0.04	0.04	0.05	0.05	0.01
P2	AG12	0.02	0.07	0.09	0.09	0.00	0.11	0.14	0.09	0.11	0.06	12.48	14.27	18.32	5.58	18.62	15.99	0.68	0.68
P3	AG12	0.09	0.11	0.10	0.12	0.01	0.13	0.19	0.19	0.13	0.07	0.75	0.53	0.74	0.71	0.66	0.66	0.15	0.15
P4	AG12	0.04	0.09	0.10	0.18	0.10	0.16	0.02	0.05	0.02	0.31	1.45	0.74	0.66	0.44	0.88	0.88	0.15	0.15
P5	AG12	0.08	0.12	0.06	0.12	0.02	0.04	0.08	0.10	0.13	0.07	1.72	1.44	2.57	1.92	0.63	0.82	0.82	0.82
CP	AG12	0.05	0.06	0.05	0.11	0.01	0.10	0.10	0.07	0.06	0.24	0.04	0.35	0.35	0.82	0.27	0.27	0.47	0.47
P1	AG1	0.03	0.14	0.05	0.53	0.06	0.24	0.18	0.16	0.22	0.14	0.20	0.06	0.09	0.33	0.24	0.15	0.16	0.16
P2	AG1	0.10	0.04	0.05	0.39	0.00	0.16	0.23	0.13	0.14	0.16	0.21	0.04	0.10	0.03	0.08	0.08	0.01	0.01
P3	AG1	0.05	0.15	0.07	0.56	0.09	0.26	0.21	0.16	0.23	0.15	0.17	0.40	0.75	0.80	0.42	0.62	0.62	0.62
P4	AG1	0.36	0.30	0.17	0.05	0.31	0.14	0.31	0.06	0.09	0.15	0.14	0.01	0.53	0.35	0.63	0.90	0.36	0.65
P5	AG1	0.41	0.25	0.11	0.13	0.22	0.09	0.33	0.15	0.17	0.10	0.26	0.04	0.04	0.36	0.35	0.54	0.21	0.21
CP	AG1	0.25	0.11	0.04	0.13	0.15	0.01	0.22	0.12	0.18	0.33	0.05	0.94	0.90	0.95	0.97	1.00	1.00	1.00
P1	BFI	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.00	0.02	0.01	0.06	0.00	0.45	2.60	0.76	0.62	2.22	0.99	0.99
P2	BFI	0.11	0.10	0.06	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.02	0.09	0.05	0.06	0.49	0.59	0.42	0.47	0.36	0.36
P3	BFI	0.07	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.00	0.01	0.06	0.03	0.03	1.10	1.60	0.45	0.43	1.11	0.85	0.85
P4	BFI	0.12	0.08	0.10	0.10	0.10	0.09	0.21	0.17	0.17	0.18	0.17	5.89	2.38	1.93	0.69	2.34	0.34	0.34
P5	BFI	0.11	0.11	0.11	0.11	0.09	0.10	0.10	0.12	0.05	0.09	0.07	65.2	300	116	217	404	337	337
CP	BFI	0.12	0.12	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.06	0.09	0.07	91.9	24.7	171	60	26	781	781
P1	D20	0.01	0.11	0.08	0.04	0.01	0.05	0.08	0.07	0.06	0.04	0.01	92.5	212	194	334	327	232	232
P2	D20	0.03	0.11	0.08	0.00	0.00	0.04	0.04	0.06	0.10	0.01	0.02	197.	207	225	139	226	1014	1014
P3	D20	0.00	0.08	0.08	0.01	0.01	0.03	0.11	0.01	0.06	0.04	0.05	0.15	0.22	0.09	0.23	0.03	0.14	0.14
P4	D20	0.04	0.06	0.10	0.01	0.03	0.05	0.04	0.15	0.15	0.17	0.07	12.30	6.26	5.64	12.55	7.50	16.11	16.11
P5	D20	0.06	0.06	0.10	0.01	0.01	0.04	0.07	0.01	0.03	0.03	0.03	0.71	0.46	0.67	0.67	0.80	0.63	0.63
CP	D20	0.00	0.06	0.06	0.06	0.04	0.00	0.01	0.04	0.15	0.06	0.01	1.24	2.08	1.21	0.81	0.01	0.09	0.09
P1	Q80	0.00	0.15	0.08	0.04	0.08	0.06	0.15	0.07	0.12	0.15	0.22	0.13	0.98	0.86	0.94	0.95	0.90	0.93
P2	Q80	0.08	0.17	0.04	0.08	0.05	0.03	0.10	0.03	0.07	0.08	0.06	0.02	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00
P3	Q80	0.01	0.14	0.06	0.00	0.07	0.05	0.17	0.09	0.12	0.15	0.25	0.12	2.07	2.79	2.71	5.74	4.32	3.53
P4	Q80	0.02	0.21	0.14	0.22	0.03	0.12	0.28	0.14	0.34	0.24	0.15	207	217	213	187	42	1108	1108
P5	Q80	0.10	0.26	0.14	0.04	0.14	0.11	0.07	0.11	0.08	0.04	0.08	0.38	0.36	0.10	0.21	0.65	0.30	0.30
CP	Q80	0.09	0.19	0.08	0.07	0.04	0.10	0.02	0.04	0.00	0.05	0.10	0.39	0.36	0.02	0.06	0.30	0.15	0.15
P1	Q95	0.02	0.04	0.33	0.25	0.06	0.05	0.03	0.03	0.16	0.17	0.23	1.64	14.32	5.68	4.96	10.33	6.86	6.86
P2	Q95	0.07	0.09	0.29	0.24	0.08	0.02	0.13	0.01	0.33	0.24	0.02	54	114	84.44	113	164	530	530
P3	Q95	0.06	0.01	0.29	0.20	0.08	0.00	0.06	0.23	0.08	0.15	0.18	196	203	199	278	346	255	255
P4	Q95	0.29	0.18	0.56	0.34	0.32	0.26	0.03	0.19	0.36	0.09	0.26	102	198	195	168	24.43	1077	1077
P5	Q95	0.32	0.06	0.58	0.48	0.01	0.08	0.43	0.13	0.67	0.61	0.03	0.18	0.00	0.03	0.02	0.12	0.03	0.03
CP	Q95	0.13	0.06	0.30	0.23	0.06	0.13	0.07	0.12	0.15	0.19	0.23	26.31	23.43	44.77	54.62	14.07	16.76	16.76

Табела II-13. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Камп (III дио).

Период	Потпис	Валидација abcd										Валидација Вудуко										Валидација GR2M															
		P1		P2		P3		P4		P5		CP		P1		P2		P3		P4		P5		CP		P1		P2		P3		P4		P5		CP	
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	Q20	0.09	0.09	0.03	0.11	0.01	0.01	0.12	0.07	0.04	0.09	0.03	0.10	0.46	0.50	0.17	0.42	0.37	0.42																		
P2	Q20	0.31	0.12	0.23	0.14	0.16	0.16	0.09	0.01	0.02	0.16	0.11	0.11	0.39	0.44	0.10	0.33	0.26	0.35																		
P3	Q20	0.01	0.05	0.15	0.05	0.03	0.01	0.05	0.15	0.12	0.16	0.04	0.04	0.42	0.43	0.09	0.40	0.33	0.37																		
P4	Q20	0.08	0.01	0.09	0.12	0.10	0.10	0.01	0.11	0.10	0.08	0.05	0.06	0.23	0.28	0.03	0.21	0.19	0.24																		
P5	Q20	0.35	0.32	0.20	0.12	0.28	0.26	0.12	0.19	0.00	0.16	0.10	0.16	0.51	0.48	0.14	0.44	0.37	0.41																		
CP	Q20	0.02	0.00	0.14	0.06	0.04	0.04	0.10	0.21	0.02	0.16	0.19	0.13	0.32	0.36	0.03	0.31	0.26	0.30																		
P1	Q5	0.67	0.50	0.47	0.47	0.28	0.52	0.70	0.33	0.29	0.30	0.36	0.40	0.09	0.15	0.33	0.18	0.31	0.10																		
P2	Q5	0.71	0.52	0.50	0.59	0.54	0.54	0.71	0.27	0.33	0.41	0.11	0.38	0.17	0.09	0.20	0.11	0.27	0.05																		
P3	Q5	0.40	0.20	0.14	0.34	0.14	0.24	0.65	0.59	0.03	0.39	0.41	0.52	0.07	0.07	0.29	0.04	0.09	0.01																		
P4	Q5	0.29	0.06	0.06	0.23	0.05	0.14	0.58	0.54	0.07	0.43	0.47	0.52	0.21	0.10	0.17	0.13	0.13	0.15																		
P5	Q5	0.77	0.64	0.60	0.62	0.55	0.65	0.51	0.44	0.04	0.26	0.33	0.41	0.06	0.13	0.29	0.12	0.21	0.08																		
CP	Q5	0.36	0.15	0.12	0.32	0.10	0.19	0.52	0.46	0.03	0.34	0.34	0.45	0.14	0.01	0.22	0.03	0.01	0.07																		
P1	Qmed	0.13	0.36	0.04	0.18	0.32	0.16	0.11	0.24	0.08	0.06	0.21	0.09	0.25	0.30	0.16	0.14	0.18	0.18																		
P2	Qmed	0.03	0.17	0.08	0.02	0.14	0.02	0.00	0.23	0.08	0.05	0.16	0.08	0.18	0.21	0.09	0.07	0.14	0.10																		
P3	Qmed	0.01	0.17	0.03	0.01	0.04	0.01	0.01	0.08	0.01	0.11	0.04	0.01	0.22	0.33	0.11	0.13	0.12	0.15																		
P4	Qmed	0.01	0.14	0.09	0.06	0.13	0.01	0.02	0.15	0.01	0.11	0.08	0.02	0.11	0.22	0.01	0.02	0.02	0.05																		
P5	Qmed	0.04	0.21	0.05	0.07	0.21	0.03	0.11	0.16	0.05	0.11	0.20	0.08	0.24	0.30	0.15	0.17	0.15	0.19																		
CP	Qmed	0.01	0.16	0.07	0.03	0.08	0.01	0.10	0.16	0.02	0.00	0.18	0.05	0.16	0.28	0.05	0.08	0.07	0.09																		
P1	IAFD	0.19	0.29	0.21	0.16	0.25	0.20	0.17	0.22	0.16	0.09	0.23	0.15	0.24	0.32	0.19	0.15	0.28	0.22																		
P2	IAFD	0.21	0.25	0.25	0.18	0.24	0.20	0.21	0.20	0.21	0.15	0.21	0.16	0.21	0.26	0.18	0.14	0.24	0.18																		
P3	IAFD	0.13	0.29	0.20	0.14	0.24	0.18	0.20	0.23	0.17	0.11	0.25	0.16	0.25	0.33	0.19	0.17	0.29	0.23																		
P4	IAFD	0.15	0.26	0.19	0.14	0.23	0.16	0.19	0.22	0.17	0.10	0.25	0.16	0.24	0.28	0.20	0.16	0.26	0.21																		
P5	IAFD	0.20	0.30	0.23	0.16	0.26	0.20	0.22	0.22	0.20	0.17	0.26	0.19	0.25	0.34	0.19	0.17	0.29	0.23																		
CP	IAFD	0.14	0.27	0.19	0.14	0.23	0.17	0.18	0.22	0.17	0.10	0.24	0.15	0.24	0.30	0.19	0.16	0.27	0.21																		
P1	SEL	0.42	0.12	0.08	0.08	0.05	0.09	0.09	0.10	0.05	0.07	0.05	0.07	0.02	0.03	0.01	0.02	0.00	0.01																		
P2	SEL	0.22	0.12	0.09	0.08	0.04	0.09	0.10	0.10	0.05	0.06	0.04	0.07	0.03	0.03	0.01	0.02	0.01	0.01																		
P3	SEL	0.11	0.08	0.03	0.06	0.03	0.05	0.13	0.15	0.05	0.10	0.06	0.10	0.04	0.05	0.01	0.04	0.01	0.02																		
P4	SEL	0.03	0.04	0.03	0.04	0.00	0.03	0.12	0.14	0.06	0.09	0.06	0.10	0.05	0.06	0.02	0.04	0.03	0.04																		
P5	SEL	0.13	0.14	0.11	0.10	0.08	0.11	0.12	0.14	0.06	0.09	0.07	0.09	0.04	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02																		
CP	SEL	0.02	0.06	0.04	0.05	0.01	0.04	0.12	0.13	0.06	0.08	0.05	0.09	0.05	0.05	0.02	0.04	0.02	0.03																		
P1	STD	0.03	0.00	0.12	0.21	0.15	0.13	0.09	0.09	0.24	0.11	0.23	0.15	0.15	0.08	0.20	0.06	0.23	0.13																		
P2	STD	0.05	0.05	0.14	0.24	0.18	0.16	0.17	0.15	0.27	0.23	0.27	0.22	0.22	0.16	0.26	0.15	0.29	0.20																		
P3	STD	0.00	0.05	0.02	0.07	0.10	0.01	0.01	0.01	0.16	0.00	0.15	0.05	0.12	0.03	0.17	0.01	0.20	0.08																		
P4	STD	0.09	0.04	0.08	0.00	0.17	0.06	0.02	0.01	0.18	0.02	0.17	0.07	0.18	0.07	0.21	0.02	0.23	0.11																		
P5	STD	0.05	0.07	0.04	0.12	0.09	0.05	0.13	0.07	0.19	0.08	0.20	0.12	0.13	0.04	0.18	0.01	0.20	0.09																		
CP	STD	0.05	0.01	0.05	0.04	0.13	0.02	0.08	0.05	0.19	0.05	0.19	0.10	0.15	0.05	0.19	0.01	0.22	0.10																		

Табела II-14. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Камп (III дио).

Период	Потпис	Валидација WASMOD					Валидација Watbal					Валидација Xinjiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	Q20	0.06	0.12	0.15	0.05	0.05	0.07	0.12	0.04	0.17	0.01	0.07	0.01	0.66	0.31	0.46	0.54	0.38	0.47
P2	Q20	0.13	0.16	0.15	0.05	0.02	0.03	0.03	0.03	0.20	0.04	0.10	0.01	0.93	0.96	0.90	0.97	0.92	0.99
P3	Q20	0.05	0.09	0.08	0.05	0.07	0.04	0.15	0.13	0.09	0.06	0.08	0.10	1.00	0.99	0.99	1.00	0.99	1.00
P4	Q20	0.23	0.01	0.14	0.03	0.07	0.04	0.27	0.33	0.31	0.30	0.36	0.30	3.54	6.27	1.91	7.99	8.39	5.96
P5	Q20	0.18	0.03	0.22	0.05	0.10	0.04	0.13	0.27	0.01	0.05	0.32	0.17	2.15	1.66	1.59	2.16	1.79	10.48
CP	Q20	0.09	0.02	0.13	0.13	0.18	0.04	0.02	0.01	0.27	0.11	0.11	0.05	0.36	0.19	0.36	0.55	0.07	0.35
P1	Q5	0.24	0.00	0.25	0.19	0.14	0.20	0.01	0.08	0.42	0.19	0.05	0.04	0.63	1.63	0.63	0.39	1.05	0.74
P2	Q5	0.36	0.28	0.28	0.06	0.23	0.31	0.23	0.16	0.14	0.21	0.19	0.17	0.15	0.22	0.33	0.65	0.29	0.39
P3	Q5	0.19	0.11	0.11	0.11	0.12	0.10	0.20	0.25	0.39	0.01	0.23	0.24	1.86	6.84	3.51	3.77	0.50	1.09
P4	Q5	0.33	0.19	0.13	0.33	0.34	0.26	0.72	0.74	0.69	0.60	0.67	0.72	1.49	2.31	88	183	266	9.46
P5	Q5	0.28	0.28	0.39	0.40	0.35	0.37	0.15	0.11	0.00	0.13	0.19	0.13	1.56	3.18	1.60	1.57	4.45	2.59
CP	Q5	0.28	0.35	0.21	0.38	0.29	0.36	0.34	0.41	0.00	0.33	0.33	0.29	2.51	2.43	2.90	3.04	2.06	10.31
P1	Qmed	0.00	0.14	0.04	0.00	0.04	0.01	0.07	0.13	0.12	0.12	0.30	0.15	1.79	2.52	1.88	1.89	2.43	9.97
P2	Qmed	0.03	0.16	0.09	0.07	0.05	0.03	0.00	0.04	0.05	0.06	0.12	0.05	0.04	0.06	0.17	0.05	0.11	0.03
P3	Qmed	0.03	0.10	0.05	0.02	0.05	0.00	0.02	0.02	0.04	0.08	0.20	0.09	3.32	1.2.69	12.06	8.37	1.12	19.05
P4	Qmed	0.01	0.25	0.06	0.02	0.06	0.07	0.04	0.01	0.34	0.13	0.06	0.09	0.59	0.40	0.56	0.70	0.53	0.54
P5	Qmed	0.08	0.16	0.05	0.09	0.01	0.06	0.15	0.27	0.12	0.15	0.02	0.15	3.10	2.76	5.28	6.44	1.06	4.21
CP	Qmed	0.04	0.16	0.02	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.03	0.00	0.09	0.02	0.69	1.08	0.59	0.24	0.01	0.73
P1	IAFD	0.14	0.21	0.15	0.28	0.25	0.17	0.22	0.27	0.21	0.37	0.31	0.22	9.62	26.56	10.94	11.01	23.24	15.24
P2	IAFD	0.13	0.15	0.13	0.19	0.17	0.11	0.31	0.21	0.24	0.42	0.26	0.26	0.75	0.67	0.75	0.73	0.73	0.71
P3	IAFD	0.12	0.19	0.13	0.27	0.24	0.16	0.26	0.32	0.21	0.37	0.34	0.26	0.39	1.50	0.80	0.99	0.13	0.26
P4	IAFD	0.35	0.32	0.34	0.28	0.28	0.26	0.45	0.32	0.41	0.31	0.30	0.29	0.80	0.38	0.32	0.44	0.34	0.78
P5	IAFD	0.29	0.17	0.18	0.29	0.10	0.15	0.42	0.34	0.35	0.46	0.26	0.32	0.56	0.09	0.54	0.67	0.59	0.33
CP	IAFD	0.20	0.20	0.19	0.21	0.15	0.16	0.28	0.25	0.31	0.28	0.28	0.24	5.89	9.51	5.35	3.09	0.05	0.38
P1	SEL	0.07	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.00	0.02	0.01	0.06	0.00	0.01	0.45	2.60	0.76	0.62	2.22	0.99
P2	SEL	0.11	0.10	0.06	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.02	0.09	0.05	0.06	0.49	0.49	0.59	0.42	0.47	0.36
P3	SEL	0.07	0.05	0.04	0.05	0.04	0.05	0.00	0.01	0.06	0.03	0.03	0.03	1.10	1.60	0.45	0.43	1.11	0.85
P4	SEL	0.12	0.08	0.10	0.10	0.10	0.09	0.21	0.17	0.17	0.18	0.17	0.17	5.89	2.38	1.93	0.69	2.34	0.34
P5	SEL	0.11	0.11	0.11	0.09	0.12	0.10	0.10	0.12	0.05	0.09	0.07	0.08	6.5	3.00	1.16	2.18	4.04	3.37
CP	SEL	0.12	0.12	0.09	0.10	0.10	0.10	0.10	0.14	0.06	0.09	0.07	0.08	9.2	2.5	1.71	6.0	2.7	7.81
P1	STD	0.01	0.05	0.05	0.15	0.08	0.06	0.00	0.16	0.00	0.29	0.08	0.09	0.11	0.26	0.02	0.10	0.30	0.04
P2	STD	0.03	0.01	0.05	0.25	0.14	0.14	0.03	0.01	0.03	0.61	0.12	0.25	0.40	0.37	0.30	0.23	0.12	0.20
P3	STD	0.06	0.01	0.00	0.20	0.12	0.11	0.04	0.17	0.01	0.30	0.13	0.08	0.02	0.07	0.04	0.04	0.00	0.01
P4	STD	0.29	0.34	0.21	0.07	0.23	0.14	0.18	0.13	0.14	0.07	0.10	0.06	0.60	0.35	0.69	0.90	0.42	0.66
P5	STD	0.18	0.19	0.08	0.19	0.01	0.01	0.25	0.08	0.20	0.74	0.02	0.38	0.35	0.41	0.57	0.64	0.80	0.59
CP	STD	0.08	0.15	0.04	0.21	0.02	0.04	0.05	0.15	0.03	0.21	0.04	0.03	0.39	0.20	0.40	0.58	0.31	0.39

Табела П-15. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Топлице (1 дио). Сиве ћелије су вриједности при калибрацији. Црвене означавају трансфере у којима је ефикасност незадовољавајућа.

Ефикасност	Калиб. период	Валидација abcd					Валидација Budyko					Валидација GR2M							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
KGE	P1	0.81	0.60	0.67	0.82	0.79	0.82	0.74	0.45	0.52	0.66	0.73	0.74	0.73	0.56	0.58	0.69	0.70	0.72
	P2	0.58	0.78	0.81	0.80	0.43	0.70	0.51	0.57	0.61	0.74	0.46	-0.24	0.63	0.62	0.64	0.72	0.51	0.68
	P3	0.58	0.77	0.81	0.80	0.43	0.70	0.53	0.55	0.62	0.75	0.43	0.20	0.59	0.60	0.66	0.70	0.43	0.65
	P4	0.76	0.66	0.73	0.87	0.67	0.82	0.41	0.46	0.58	0.77	0.35	0.21	0.66	0.62	0.64	0.72	0.54	0.70
	P5	0.74	0.43	0.54	0.75	0.91	0.72	0.65	0.26	0.37	0.52	0.84	0.56	0.66	0.44	0.47	0.60	0.79	0.63
CP	0.79	0.64	0.71	0.86	0.73	0.83	0.70	0.50	0.57	0.72	0.64	0.73	0.72	0.58	0.60	0.71	0.65	0.72	
NSEsqrt	P1	0.77	0.70	0.80	0.80	0.78	0.78	0.54	0.38	0.58	0.62	0.63	0.54	0.69	0.60	0.73	0.73	0.65	0.69
	P2	0.59	0.61	0.75	0.67	0.46	0.62	0.42	0.36	0.54	0.62	0.33	-1.44	0.57	0.52	0.68	0.67	0.43	0.58
	P3	0.59	0.60	0.73	0.66	0.45	0.61	0.37	0.32	0.52	0.60	0.32	-0.68	0.54	0.49	0.67	0.63	0.39	0.56
	P4	0.71	0.66	0.78	0.74	0.69	0.72	0.20	0.18	0.46	0.56	0.27	-0.57	0.60	0.54	0.69	0.68	0.47	0.61
	P5	0.74	0.61	0.73	0.79	0.83	0.76	0.52	0.19	0.48	0.50	0.71	0.15	0.71	0.57	0.69	0.72	0.74	0.70
CP	0.74	0.69	0.80	0.78	0.73	0.76	0.52	0.40	0.59	0.64	0.55	0.56	0.67	0.59	0.73	0.72	0.60	0.67	
RSR	P1	0.60	0.82	0.95	0.13	1.44	0.54	0.71	1.78	1.74	1.11	1.50	0.71	0.67	0.41	0.78	0.04	2.01	0.63
	P2	1.36	0.66	0.15	0.75	2.92	0.74	1.98	0.81	0.06	0.43	3.45	1.86	1.87	0.73	0.24	0.85	3.31	0.73
	P3	1.35	0.06	0.59	0.86	2.91	0.73	2.01	0.30	0.74	0.46	3.52	1.39	2.53	1.51	0.64	1.53	4.08	0.74
	P4	0.03	1.25	1.17	0.49	1.52	0.60	1.53	0.55	0.57	0.63	3.02	1.35	1.66	0.59	0.07	0.57	3.10	0.71
	P5	1.27	2.34	2.28	1.00	0.42	0.56	1.53	3.57	3.29	2.49	0.55	0.86	0.82	1.72	1.99	1.06	0.56	0.63
CP	0.11	1.00	1.02	0.07	1.54	0.57	0.62	1.20	1.21	0.67	2.12	0.70	0.90	0.09	0.50	0.27	2.37	0.65	
VE	P1	0.99	0.90	0.89	0.98	0.83	1.00	1.00	0.78	0.80	0.86	0.82	1.00	0.94	0.95	0.91	1.00	0.76	0.96
	P2	0.84	0.99	0.98	0.91	0.66	0.88	0.77	0.96	0.99	0.95	0.60	0.30	0.78	0.90	0.97	0.89	0.61	0.83
	P3	0.84	0.99	1.00	0.89	0.66	0.87	0.77	0.96	0.99	0.94	0.59	0.75	0.71	0.82	0.89	0.81	0.52	0.75
	P4	1.00	0.85	0.87	0.99	0.82	0.99	0.82	0.93	0.94	0.98	0.64	0.89	0.81	0.93	0.99	0.91	0.64	0.85
	P5	0.85	0.71	0.74	0.87	1.00	0.84	0.82	0.56	0.63	0.68	0.99	0.83	0.91	0.79	0.77	0.87	0.94	0.88
CP	0.99	0.88	0.88	0.99	0.82	1.00	0.93	0.85	0.86	0.92	0.75	1.00	0.90	0.99	0.94	0.97	0.72	0.93	

Табела II-16. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Топлице (II дио).

Ефикас.	Калиб. период	Валидација WASMOD					Валидација WaVal					Валидација Xinanjiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
KGE	P1	0.86	0.72	0.71	0.77	0.73	0.82	0.83	0.72	0.57	0.68	0.71	0.73	0.79	0.40	0.54	0.47	0.10	0.48
	P2	0.75	0.85	0.74	0.75	0.74	0.80	0.72	0.78	0.42	0.47	0.78	0.64	-0.06	0.59	0.10	0.10	-1.2	-0.2
	P3	0.65	0.69	0.85	0.84	0.48	0.72	0.81	0.71	0.76	0.72	0.68	0.76	0.73	0.43	0.74	0.61	0.06	0.49
	P4	0.67	0.69	0.81	0.87	0.42	0.73	0.73	0.72	0.61	0.78	0.75	0.74	0.47	0.16	-0.02	0.80	-1.3	-0.2
	P5	0.74	0.64	0.52	0.59	0.88	0.69	0.73	0.67	0.33	0.58	0.87	0.65	0.32	0.39	0.62	0.66	0.84	0.64
CP	0.83	0.82	0.76	0.80	0.73	0.84	0.77	0.77	0.73	0.76	0.78	0.77	0.76	0.42	0.67	0.71	0.58	0.71	
NSEsqrт	P1	0.76	0.54	0.70	0.72	0.58	0.67	0.65	0.50	0.40	0.46	0.49	0.51	0.61	0.10	0.36	0.25	-0.08	0.27
	P2	0.60	0.68	0.65	0.60	0.65	0.64	0.45	0.51	0.09	0.09	0.49	0.33	-0.21	0.34	-0.06	-0.06	-1.44	-0.35
	P3	0.65	0.49	0.70	0.65	0.46	0.60	0.47	0.19	0.36	0.20	0.28	0.32	0.55	0.09	0.61	0.40	-0.08	0.29
	P4	0.55	0.31	0.59	0.61	0.28	0.49	0.24	0.05	-0.08	0.17	0.06	0.11	0.22	-0.33	-0.28	0.53	-2.18	-0.59
	P5	0.62	0.64	0.60	0.63	0.73	0.65	0.61	0.55	0.22	0.40	0.69	0.50	0.09	0.40	0.58	0.54	0.71	0.41
CP	0.68	0.57	0.68	0.68	0.60	0.65	0.54	0.45	0.48	0.49	0.51	0.50	0.51	0.36	0.54	0.60	0.44	0.51	
RSR	P1	0.52	0.38	1.24	0.64	1.12	0.57	0.57	0.19	1.15	0.47	0.71	0.69	0.64	2.22	2.57	3.24	5.99	0.98
	P2	0.48	0.54	0.96	0.42	1.37	0.64	0.65	0.66	2.50	0.85	0.16	0.80	5.30	0.88	3.97	4.58	10.6	1.74
	P3	1.46	1.07	0.54	0.45	2.60	0.69	0.24	0.14	0.68	0.17	1.05	0.70	1.18	2.12	0.69	1.99	6.21	0.97
	P4	1.24	0.34	0.61	0.50	2.44	0.70	0.92	0.17	1.53	0.62	0.36	0.69	2.22	4.63	6.49	0.63	14.8	1.70
	P5	1.13	1.69	2.64	1.97	0.49	0.61	0.68	0.48	2.55	0.99	0.51	0.71	0.34	1.61	0.24	1.74	0.56	0.86
CP	0.44	0.17	1.03	0.45	1.45	0.56	0.49	0.22	0.53	0.40	0.42	0.66	0.84	1.31	0.43	0.15	2.56	0.75	
VE	P1	1.00	0.95	0.86	0.92	0.87	0.97	1.00	0.98	0.87	0.94	0.92	0.98	0.98	0.73	0.71	0.59	0.30	0.66
	P2	0.94	1.00	0.89	0.95	0.84	0.99	0.92	0.99	0.72	0.89	0.98	0.90	0.39	0.99	0.55	0.42	-0.25	0.34
	P3	0.83	0.87	1.00	0.94	0.70	0.87	0.97	0.98	1.00	0.98	0.88	0.97	0.86	0.74	0.97	0.75	0.27	0.67
	P4	0.86	0.96	0.93	1.00	0.71	0.92	0.89	0.98	0.83	0.99	0.96	0.94	0.74	0.43	0.26	1.00	-0.7	0.17
	P5	0.87	0.79	0.70	0.75	0.99	0.82	0.92	0.94	0.71	0.87	1.00	0.89	0.96	0.80	0.97	0.78	1.00	0.89
CP	0.95	0.98	0.88	0.94	0.83	0.99	0.94	0.97	0.94	0.95	0.95	1.00	0.90	0.84	0.95	0.98	0.70	1.00	

Табела П-17. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Топлица (I дио).

Период	Потпис	Валидација abcd										Валидација Вудуко										Валидација GR2M													
		P1		P2		P3		P4		P5		CP		P1		P2		P3		P4		P5		CP		P1		P2		P3		P4		P5	
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP				
P1	AC12	0.09	0.19	0.00	0.03	0.12	0.07	0.10	0.35	0.17	0.02	0.22	0.16	0.15	0.29	0.16	0.04	0.24	0.18																
P2	AC12	0.12	0.23	0.08	0.02	0.20	0.15	0.18	0.40	0.27	0.06	0.27	0.25	0.15	0.33	0.21	0.06	0.26	0.21																
P3	AC12	0.11	0.22	0.06	0.01	0.19	0.14	0.14	0.36	0.22	0.02	0.24	0.21	0.14	0.31	0.19	0.05	0.25	0.19																
P4	AC12	0.12	0.20	0.02	0.00	0.17	0.11	0.15	0.30	0.17	0.00	0.25	0.21	0.15	0.32	0.20	0.05	0.26	0.20																
P5	AC12	0.13	0.18	0.02	0.02	0.11	0.07	0.14	0.37	0.14	0.04	0.23	0.17	0.15	0.29	0.15	0.04	0.24	0.17																
CP	AC12	0.11	0.20	0.01	0.01	0.14	0.09	0.12	0.36	0.20	0.01	0.23	0.19	0.15	0.30	0.17	0.04	0.24	0.18																
P1	AC1	0.04	0.22	0.21	0.12	0.05	0.11	0.02	0.29	0.22	0.20	0.13	0.17	0.09	0.25	0.18	0.13	0.03	0.09																
P2	AC1	0.25	0.12	0.08	0.02	0.07	0.03	0.23	0.19	0.06	0.13	0.07	0.03	0.19	0.20	0.11	0.09	0.00	0.03																
P3	AC1	0.23	0.12	0.10	0.03	0.07	0.03	0.14	0.24	0.16	0.16	0.08	0.08	0.15	0.22	0.14	0.11	0.01	0.05																
P4	AC1	0.14	0.17	0.17	0.06	0.03	0.03	0.27	0.25	0.21	0.13	0.05	0.01	0.18	0.21	0.13	0.10	0.00	0.04																
P5	AC1	0.03	0.23	0.22	0.12	0.06	0.12	0.02	0.35	0.26	0.23	0.16	0.18	0.07	0.26	0.20	0.14	0.04	0.10																
CP	AC1	0.09	0.19	0.19	0.09	0.01	0.07	0.06	0.28	0.20	0.19	0.12	0.14	0.12	0.24	0.17	0.12	0.02	0.08																
P1	ВFI	0.04	0.03	0.01	0.04	0.00	0.03	0.09	0.11	0.06	0.09	0.00	0.08	0.02	0.03	0.07	0.01	0.08	0.04																
P2	ВFI	0.07	0.06	0.04	0.08	0.01	0.06	0.07	0.07	0.03	0.04	0.05	0.05	0.01	0.03	0.06	0.01	0.08	0.03																
P3	ВFI	0.08	0.09	0.07	0.09	0.02	0.08	0.08	0.09	0.07	0.06	0.02	0.07	0.02	0.04	0.08	0.02	0.09	0.05																
P4	ВFI	0.07	0.07	0.05	0.08	0.03	0.07	0.06	0.10	0.03	0.08	0.01	0.07	0.01	0.02	0.06	0.02	0.08	0.03																
P5	ВFI	0.05	0.03	0.01	0.05	0.04	0.04	0.08	0.11	0.05	0.10	0.07	0.08	0.00	0.02	0.06	0.00	0.03	0.03																
CP	ВFI	0.06	0.06	0.03	0.07	0.02	0.05	0.09	0.10	0.06	0.08	0.01	0.08	0.01	0.02	0.07	0.01	0.08	0.04																
P1	D20	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.04	0.11	0.06	0.04	0.07	0.10	0.07	0.03	0.08	0.08	0.07																
P2	D20	0.03	0.06	0.14	0.07	0.08	0.08	0.03	0.01	0.06	0.00	0.03	0.00	0.10	0.08	0.06	0.08	0.08	0.08																
P3	D20	0.03	0.07	0.15	0.08	0.08	0.08	0.03	0.01	0.06	0.04	0.00	0.02	0.17	0.13	0.08	0.14	0.10	0.12																
P4	D20	0.03	0.04	0.15	0.08	0.08	0.08	0.01	0.06	0.14	0.06	0.06	0.06	0.10	0.07	0.04	0.08	0.08	0.08																
P5	D20	0.01	0.06	0.15	0.07	0.10	0.08	0.04	0.18	0.22	0.21	0.07	0.14	0.08	0.01	0.04	0.03	0.01	0.02																
CP	D20	0.03	0.04	0.11	0.07	0.07	0.06	0.03	0.03	0.11	0.07	0.03	0.05	0.10	0.07	0.03	0.08	0.08	0.07																
P1	Q80	0.07	0.03	0.13	0.02	0.18	0.08	0.07	0.14	0.08	0.09	0.19	0.03	0.05	0.00	0.11	0.10	0.15	0.13																
P2	Q80	0.22	0.05	0.07	0.23	0.37	0.25	0.25	0.23	0.08	0.25	0.39	0.28	0.24	0.08	0.12	0.28	0.31	0.31																
P3	Q80	0.26	0.02	0.07	0.26	0.40	0.26	0.31	0.21	0.12	0.15	0.52	0.30	0.29	0.18	0.10	0.32	0.39	0.38																
P4	Q80	0.05	0.11	0.17	0.04	0.05	0.10	0.24	0.27	0.01	0.22	0.44	0.23	0.22	0.07	0.04	0.24	0.29	0.27																
P5	Q80	0.12	0.23	0.29	0.19	0.00	0.14	0.21	0.40	0.32	0.16	0.00	0.20	0.12	0.16	0.26	0.01	0.23	0.06																
CP	Q80	0.07	0.07	0.14	0.04	0.10	0.08	0.13	0.03	0.00	0.12	0.34	0.14	0.12	0.02	0.05	0.16	0.23	0.16																
P1	Q95	0.22	0.36	0.08	0.14	0.16	0.01	0.02	0.44	0.29	0.25	0.09	0.07	0.23	0.42	0.22	0.25	0.06	0.11																
P2	Q95	0.10	0.14	0.04	0.06	0.24	0.27	0.13	0.19	0.16	0.14	0.01	0.07	0.09	0.29	0.10	0.14	0.02	0.02																
P3	Q95	0.09	0.12	0.06	0.06	0.27	0.23	0.04	0.24	0.19	0.13	0.00	0.10	0.06	0.27	0.05	0.11	0.08	0.06																
P4	Q95	0.07	0.26	0.00	0.09	0.06	0.08	0.08	0.27	0.14	0.07	0.16	0.01	0.11	0.31	0.11	0.16	0.01	0.01																
P5	Q95	0.32	0.45	0.16	0.18	0.20	0.12	0.12	0.54	0.45	0.31	0.20	0.19	0.34	0.50	0.31	0.35	0.17	0.20																
CP	Q95	0.14	0.31	0.01	0.15	0.06	0.02	0.00	0.41	0.27	0.21	0.07	0.03	0.19	0.39	0.19	0.22	0.04	0.07																

Табела II-18. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Топлица (II дио).

Период	Потпис	Валидација WASMOD					Валидација WatVal					Валидација Xinanjiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	AC12	0.14	0.19	0.02	0.03	0.09	0.03	0.16	0.38	0.20	0.08	0.23	0.22	0.01	0.25	0.28	0.35	0.65	0.33
P2	AC12	0.27	0.04	0.11	0.17	0.02	0.12	0.04	0.20	0.01	0.02	0.28	0.12	59.03	7.51	42.75	59.40	118.76	19.16
P3	AC12	0.15	0.15	0.00	0.06	0.06	0.01	0.10	0.34	0.15	0.13	0.32	0.23	0.81	0.80	0.82	0.80	0.82	0.80
P4	AC12	0.15	0.18	0.02	0.04	0.11	0.03	0.07	0.25	0.09	0.08	0.31	0.16	2.91	4.65	8.24	0.04	19.51	8.98
P5	AC12	0.22	0.05	0.10	0.16	0.04	0.08	0.07	0.31	0.20	0.05	0.18	0.13	0.34	1.61	0.24	1.74	0.56	0.86
CP	AC12	0.19	0.11	0.02	0.10	0.07	0.03	0.03	0.23	0.12	0.01	0.12	0.13	0.55	0.19	0.45	0.54	0.29	0.44
P1	AC1	0.01	0.14	0.03	0.03	0.09	0.00	0.13	0.14	0.07	0.06	0.16	0.08	0.05	0.65	0.29	0.94	0.66	0.56
P2	AC1	0.02	0.19	0.05	0.04	0.02	0.06	0.17	0.12	0.10	0.09	0.14	0.09	0.61	0.01	0.45	0.58	1.25	0.66
P3	AC1	0.07	0.14	0.01	0.07	0.11	0.04	0.16	0.05	0.05	0.17	0.14	0.11	0.78	0.50	0.75	0.71	0.71	0.68
P4	AC1	0.03	0.15	0.04	0.02	0.08	0.01	0.15	0.05	0.07	0.13	0.16	0.11	0.47	0.16	0.02	0.80	1.32	0.23
P5	AC1	0.11	0.29	0.16	0.12	0.08	0.14	0.11	0.13	0.11	0.09	0.05	0.04	0.09	0.40	0.58	0.54	0.71	0.41
CP	AC1	0.04	0.16	0.04	0.05	0.01	0.06	0.14	0.11	0.02	0.06	0.12	0.06	0.90	0.84	0.95	0.98	0.70	1.00
P1	BFI	0.09	0.08	0.07	0.10	0.00	0.09	0.08	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.55	1.83	2.72	4.48	7.77	3.23
P2	BFI	0.10	0.11	0.09	0.12	0.02	0.11	0.07	0.06	0.01	0.06	0.02	0.05	5.51	0.54	4.03	4.64	12.08	2.08
P3	BFI	0.08	0.07	0.07	0.09	0.00	0.08	0.08	0.14	0.15	0.13	0.16	0.15	0.37	0.93	0.45	0.44	0.95	0.61
P4	BFI	0.11	0.13	0.11	0.14	0.03	0.12	0.16	0.20	0.16	0.21	0.11	0.19	24.71	55.75	72.82	0.70	173.36	82.29
P5	BFI	0.09	0.11	0.08	0.11	0.10	0.10	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	28.1	30.6	25.2	1.3	226.8	101.9
CP	BFI	0.11	0.11	0.10	0.13	0.01	0.12	0.10	0.09	0.06	0.10	0.01	0.09	27.7	171.4	41.5	171.0	127.1	7.66
P1	D20	0.06	0.07	0.13	0.07	0.07	0.08	0.07	0.04	0.01	0.04	0.08	0.04	50.3	88.3	98.8	140.8	203.1	1.16
P2	D20	0.03	0.07	0.11	0.08	0.07	0.07	0.08	0.08	0.10	0.03	0.06	0.07	309.6	161.2	286.4	310.1	360.0	107.9
P3	D20	0.04	0.03	0.11	0.04	0.04	0.05	0.08	0.06	0.08	0.10	0.11	0.09	0.13	0.28	0.03	0.28	0.68	0.34
P4	D20	0.08	0.11	0.15	0.11	0.10	0.11	0.10	0.07	0.13	0.08	0.11	0.10	24.73	39.42	69.91	8.15	165.56	18.71
P5	D20	0.10	0.13	0.18	0.19	0.13	0.14	0.07	0.08	0.01	0.06	0.08	0.06	0.62	0.78	0.81	0.84	0.85	0.75
CP	D20	0.06	0.08	0.14	0.08	0.08	0.09	0.10	0.07	0.04	0.03	0.07	0.06	1.10	1.32	0.54	0.22	3.37	0.04
P1	Q80	0.02	0.09	0.05	0.07	0.07	0.06	0.10	0.08	0.19	0.11	0.01	0.05	0.98	0.73	0.71	0.59	0.30	0.66
P2	Q80	0.06	0.06	0.25	0.06	0.14	0.03	0.11	0.05	0.38	0.05	0.07	0.10	1.00	0.99	1.00	1.00	0.99	1.00
P3	Q80	0.20	0.27	0.06	0.14	0.20	0.23	0.03	0.17	0.02	0.10	0.17	0.13	307	79	241	185	330	3.29
P4	Q80	0.33	0.24	0.10	0.23	0.27	0.22	0.05	0.27	0.16	0.09	0.00	0.07	220	243	179	268	339	900
P5	Q80	0.22	0.24	0.32	0.18	0.06	0.12	0.07	0.14	0.43	0.23	0.16	0.20	0.21	0.10	0.56	0.39	1.42	0.44
CP	Q80	0.12	0.16	0.11	0.13	0.15	0.09	0.03	0.08	0.08	0.04	0.03	0.07	0.25	0.06	0.18	0.60	0.03	0.09
P1	Q95	0.15	0.14	0.23	0.17	0.10	0.01	0.10	0.13	0.03	0.02	0.09	0.09	2.05	27.24	29.22	41.14	70.33	34.40
P2	Q95	0.04	0.06	0.08	0.04	0.13	0.15	0.05	0.06	0.08	0.07	0.17	0.08	61.50	92.94	94.37	122.06	171.41	542.28
P3	Q95	0.13	0.11	0.08	0.05	0.06	0.28	0.17	0.06	0.17	0.04	0.13	0.08	289	56	247	291	928	367
P4	Q95	0.12	0.12	0.11	0.02	0.21	0.27	0.21	0.05	0.06	0.02	0.20	0.05	201	224	160	250	321	86.9
P5	Q95	0.23	0.31	0.26	0.29	0.23	0.08	0.10	0.18	0.19	0.09	0.27	0.01	0.26	0.59	0.73	0.08	1.72	0.89
CP	Q95	0.10	0.06	0.08	0.18	0.08	0.12	0.10	0.11	0.14	0.01	0.17	0.14	3.81	13.67	2.63	22.60	6.20	9.44

Табела П-19. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Топлица (III дио).

Период	Потпис	Валидација abcd					Валидација Вудуко					Валидација GR2M							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
		Q20	0.07	0.01	0.02	0.12	0.04	0.01	0.25	0.20	0.33	0.42	0.05	0.24	0.54	0.33	0.27	0.04	0.79
Q20	0.25	0.26	0.22	0.31	0.29	0.26	0.28	0.28	0.19	0.01	0.31	0.20	0.52	0.48	0.38	0.05	0.80	0.41	
Q20	0.41	0.35	0.26	0.26	0.32	0.32	0.16	0.07	0.08	0.12	0.37	0.10	0.78	0.70	0.59	0.11	1.12	0.62	
Q20	0.41	0.35	0.30	0.32	0.29	0.31	0.02	0.26	0.23	0.32	0.20	0.18	0.50	0.45	0.36	0.07	0.80	0.39	
Q20	0.22	0.19	0.21	0.33	0.21	0.21	0.53	0.54	0.44	0.63	0.23	0.48	0.30	0.08	0.02	0.23	0.38	0.09	
Q20	0.27	0.20	0.15	0.22	0.14	0.16	0.14	0.23	0.19	0.32	0.08	0.16	0.53	0.39	0.33	0.04	0.83	0.35	
Q5	0.40	0.46	0.17	0.01	0.46	0.44	0.84	0.78	0.71	0.54	0.80	0.79	0.08	0.08	0.09	0.49	0.11	0.03	
Q5	0.57	0.67	0.45	0.20	0.59	0.53	0.74	0.76	0.54	0.12	0.52	0.67	0.01	0.19	0.09	0.76	0.20	0.12	
Q5	0.67	0.71	0.49	0.17	0.66	0.69	0.75	0.74	0.55	0.30	0.74	0.72	0.24	0.41	0.35	1.07	0.48	0.36	
Q5	0.63	0.68	0.49	0.23	0.66	0.67	0.69	0.77	0.57	0.51	0.68	0.71	0.03	0.14	0.06	0.73	0.19	0.09	
Q5	0.53	0.55	0.37	0.28	0.57	0.55	0.86	0.91	0.79	0.66	0.70	0.82	0.30	0.16	0.14	0.16	0.21	0.23	
Q5	0.52	0.59	0.36	0.12	0.58	0.58	0.82	0.80	0.68	0.40	0.80	0.79	0.06	0.09	0.09	0.59	0.16	0.04	
Qmed	0.19	0.16	0.08	0.02	0.38	0.14	0.31	0.10	0.03	0.09	0.46	0.00	0.39	0.21	0.24	0.16	0.51	0.26	
Qmed	0.27	0.06	0.03	0.05	0.27	0.05	0.51	0.29	0.41	0.22	0.66	0.40	0.57	0.39	0.27	0.31	0.59	0.40	
Qmed	0.32	0.10	0.13	0.04	0.27	0.11	0.59	0.24	0.34	0.19	0.52	0.38	0.74	0.53	0.42	0.44	0.76	0.53	
Qmed	0.08	0.02	0.08	0.13	0.20	0.04	0.29	0.07	0.04	0.00	0.24	0.03	0.56	0.36	0.26	0.30	0.56	0.38	
Qmed	0.09	0.11	0.16	0.20	0.09	0.11	0.01	0.40	0.26	0.40	0.11	0.26	0.11	0.01	0.06	0.04	0.31	0.06	
Qmed	0.14	0.10	0.01	0.03	0.30	0.05	0.33	0.04	0.08	0.01	0.46	0.13	0.47	0.27	0.25	0.20	0.56	0.27	
IAFD	0.24	0.22	0.17	0.17	0.24	0.18	0.22	0.31	0.28	0.17	0.25	0.16	0.31	0.28	0.26	0.25	0.38	0.28	
IAFD	0.32	0.20	0.17	0.27	0.44	0.24	0.43	0.35	0.31	0.25	0.45	0.34	0.41	0.33	0.28	0.32	0.50	0.37	
IAFD	0.32	0.21	0.18	0.28	0.44	0.25	0.41	0.36	0.32	0.25	0.43	0.33	0.43	0.38	0.31	0.36	0.54	0.41	
IAFD	0.26	0.20	0.19	0.21	0.28	0.18	0.44	0.39	0.28	0.27	0.45	0.32	0.39	0.32	0.27	0.31	0.48	0.35	
IAFD	0.23	0.31	0.29	0.17	0.15	0.18	0.25	0.44	0.39	0.32	0.18	0.25	0.28	0.32	0.26	0.21	0.29	0.21	
IAFD	0.25	0.21	0.17	0.18	0.26	0.18	0.29	0.29	0.26	0.16	0.30	0.21	0.33	0.29	0.26	0.27	0.41	0.30	
SEL	0.64	0.03	0.01	0.04	0.00	0.03	0.09	0.11	0.06	0.09	0.00	0.08	0.02	0.03	0.07	0.01	0.08	0.04	
SEL	0.32	0.06	0.04	0.08	0.01	0.06	0.07	0.07	0.03	0.04	0.05	0.05	0.01	0.03	0.06	0.01	0.08	0.03	
SEL	0.33	0.09	0.07	0.09	0.02	0.08	0.08	0.09	0.07	0.06	0.02	0.07	0.02	0.04	0.08	0.02	0.09	0.05	
SEL	0.48	0.07	0.05	0.08	0.03	0.07	0.06	0.10	0.03	0.08	0.01	0.07	0.01	0.02	0.06	0.02	0.08	0.03	
SEL	0.85	0.03	0.01	0.05	0.04	0.04	0.08	0.11	0.05	0.10	0.07	0.08	0.00	0.02	0.06	0.00	0.03	0.03	
SEL	0.55	0.06	0.03	0.07	0.02	0.05	0.09	0.10	0.06	0.08	0.01	0.08	0.01	0.02	0.07	0.01	0.08	0.04	
STD	0.02	0.32	0.26	0.14	0.08	0.09	0.03	0.34	0.35	0.24	0.10	0.12	0.11	0.34	0.35	0.26	0.01	0.17	
STD	0.30	0.02	0.05	0.07	0.41	0.18	0.25	0.20	0.22	0.16	0.25	0.03	0.06	0.21	0.26	0.18	0.17	0.05	
STD	0.30	0.02	0.05	0.08	0.41	0.18	0.24	0.18	0.20	0.13	0.30	0.05	0.07	0.19	0.23	0.15	0.19	0.02	
STD	0.12	0.22	0.18	0.02	0.24	0.03	0.38	0.19	0.18	0.07	0.43	0.14	0.04	0.23	0.27	0.19	0.14	0.07	
STD	0.10	0.44	0.34	0.19	0.00	0.17	0.11	0.48	0.46	0.31	0.01	0.21	0.22	0.43	0.43	0.34	0.11	0.27	
STD	0.06	0.26	0.21	0.07	0.17	0.02	0.07	0.30	0.31	0.20	0.16	0.06	0.07	0.31	0.33	0.24	0.05	0.14	

Табела II-20. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији Тиреловим протоколом на сливу Топлица (IV дио).

Период	Потпис	Валидација WASMOD					Валидација Watbal					Валидација Xinjiang							
		P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	Q20	0.28	0.23	0.26	0.25	0.29	0.25	0.33	0.19	0.34	0.10	0.34	0.31	0.61	0.10	0.36	0.25	0.08	0.27
P2	Q20	0.45	0.30	0.30	0.33	0.20	0.29	0.13	0.12	0.28	0.14	0.18	0.39	0.99	0.55	0.42	0.25	0.34	
P3	Q20	0.19	0.09	0.14	0.13	0.09	0.13	0.61	0.38	0.04	0.04	0.51	0.43	0.99	0.99	0.99	0.99	0.98	1.00
P4	Q20	0.49	0.56	0.43	0.40	0.39	0.40	0.64	0.29	0.20	0.01	0.73	0.47	82	89	96	87	97	97
P5	Q20	0.54	0.44	0.45	0.59	0.46	0.53	0.32	0.11	0.34	0.05	0.27	0.27	265	299	340	185	402	1102
CP	Q20	0.41	0.33	0.34	0.34	0.42	0.33	0.29	0.17	0.08	0.16	0.17	0.14	0.22	0.34	0.15	0.23	0.15	0.02
P1	Q5	0.67	0.66	0.56	0.48	0.69	0.69	0.66	0.06	0.24	0.16	0.02	0.11	0.64	2.22	2.57	3.24	5.99	0.98
P2	Q5	0.76	0.74	0.73	0.55	0.79	0.79	0.56	0.10	0.34	0.21	0.31	1.36	0.21	1.15	0.75	6.57	2.03	
P3	Q5	0.55	0.52	0.40	0.29	0.62	0.56	0.83	0.70	0.69	0.68	0.75	13.66	25.98	3.33	25.24	72.99	33.28	
P4	Q5	0.96	0.91	0.96	0.85	0.96	0.94	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	70.73	93.58	57.41	98.27	171.61	528.01	
P5	Q5	0.84	0.76	0.73	0.68	0.83	0.83	0.28	0.21	0.08	0.25	0.25	135	129	253	66	910	350	
CP	Q5	0.90	0.86	0.89	0.72	0.90	0.89	0.66	0.28	0.45	0.42	0.41	112	204	86	241	147	824	
P1	Qmed	0.19	0.12	0.06	0.07	0.16	0.09	0.03	0.10	0.04	0.10	0.04	0.02	157	228	255	285	319	872
P2	Qmed	0.23	0.01	0.10	0.05	0.28	0.04	0.13	0.18	0.39	0.10	0.17	0.67	0.03	0.53	0.71	1.40	0.76	
P3	Qmed	0.27	0.09	0.11	0.13	0.15	0.15	0.20	0.04	0.09	0.18	0.07	13.14	18.05	7.43	25.80	69.31	10.69	
P4	Qmed	0.19	0.20	0.03	0.05	0.19	0.04	0.05	0.14	0.20	0.08	0.02	0.74	0.73	0.79	0.75	0.79	0.76	
P5	Qmed	0.04	0.13	0.09	0.11	0.08	0.12	0.11	0.02	0.17	0.06	0.00	0.45	1.61	0.31	2.66	0.04	1.17	
CP	Qmed	0.37	0.02	0.11	0.02	0.26	0.12	0.04	0.11	0.07	0.07	0.10	0.00	0.84	1.31	0.43	0.15	2.56	0.75
P1	IAFD	0.14	0.28	0.24	0.16	0.33	0.16	0.14	0.26	0.39	0.27	0.30	0.24	7.09	18.93	27.67	42.05	66.78	10.78
P2	IAFD	0.26	0.15	0.24	0.31	0.25	0.20	0.30	0.31	0.52	0.43	0.24	0.30	0.74	0.77	0.79	0.79	0.80	0.79
P3	IAFD	0.24	0.31	0.19	0.19	0.41	0.22	0.13	0.29	0.24	0.28	0.27	1.55	2.13	0.37	3.04	8.17	3.59	
P4	IAFD	0.33	0.38	0.23	0.19	0.51	0.28	0.20	0.31	0.40	0.25	0.22	2.22	4.63	6.49	6.63	14.84	1.70	
P5	IAFD	0.19	0.23	0.33	0.29	0.19	0.19	0.22	0.29	0.52	0.37	0.24	0.29	0.29	0.46	0.47	0.69	0.26	
CP	IAFD	0.17	0.20	0.19	0.19	0.27	0.11	0.23	0.31	0.30	0.29	0.19	0.21	9.73	16.07	4.87	1.86	30.13	0.34
P1	SEL	0.09	0.08	0.07	0.10	0.00	0.09	0.08	0.02	0.01	0.02	0.02	0.03	0.55	1.83	2.72	4.48	7.77	3.23
P2	SEL	0.10	0.11	0.09	0.12	0.02	0.11	0.07	0.06	0.01	0.06	0.02	0.05	5.51	0.54	4.03	4.64	12.08	2.08
P3	SEL	0.08	0.07	0.07	0.09	0.00	0.08	0.14	0.15	0.13	0.16	0.07	0.15	0.37	0.93	0.45	0.44	0.95	0.61
P4	SEL	0.11	0.13	0.11	0.14	0.03	0.12	0.16	0.20	0.16	0.21	0.11	0.19	24.71	55.75	72.82	0.70	173.36	82.29
P5	SEL	0.09	0.11	0.08	0.11	0.10	0.10	0.04	0.02	0.05	0.01	0.02	0.01	28	31	25	1	227	101.9
CP	SEL	0.11	0.11	0.10	0.13	0.01	0.12	0.10	0.09	0.06	0.10	0.01	0.09	28	171	42	171	127	7.66
P1	STD	0.01	0.10	0.21	0.18	0.14	0.06	0.01	0.09	0.24	0.18	0.08	0.08	0.01	0.11	0.14	0.19	0.68	0.15
P2	STD	0.11	0.00	0.08	0.07	0.15	0.03	0.02	0.01	0.24	0.16	0.07	0.07	0.71	0.32	0.26	1.10	1.36	0.83
P3	STD	0.26	0.12	0.01	0.01	0.37	0.16	0.01	0.03	0.03	0.11	0.17	0.01	0.14	0.26	0.03	0.25	0.73	0.33
P4	STD	0.25	0.13	0.05	0.01	0.44	0.17	0.08	0.01	0.14	0.07	0.03	0.05	0.61	0.51	0.59	0.80	0.55	0.56
P5	STD	0.09	0.23	0.33	0.27	0.01	0.17	0.11	0.20	0.38	0.22	0.00	0.17	0.32	0.39	0.62	0.66	0.84	0.64
CP	STD	0.05	0.02	0.14	0.13	0.15	0.01	0.03	0.01	0.08	0.05	0.06	0.02	0.51	0.36	0.54	0.60	0.44	0.51

ПРИЛОГ III. Ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

Табела III-1. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији DSSТ Протоколом на сливу Вимере.

Ефикас.	Калиб. период	Валидација abcd			Валидација Vudyko			Валидација GR2M			Валидација WASMOD			Валидација WatBal			Валидација Xinanjiang		
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP
KGE	P1	0.86	0.29	0.86	0.87	0.35	0.87	0.81	-1.34	0.75	0.85	-0.91	0.83	0.81	-1.90	0.75	0.87	-0.19	0.86
KGE	P2	0.33	0.77	0.36	0.74	0.69	0.75	0.21	0.81	0.23	0.09	0.73	0.12	0.13	0.68	0.16	0.56	0.70	0.54
KGE	CP	0.86	0.45	0.87	0.87	0.49	0.87	0.79	-1.00	0.77	0.84	-0.57	0.85	0.78	-1.48	0.78	0.86	0.01	0.87
NSEsqrт	P1	0.72	0.16	0.72	0.72	0.24	0.73	0.77	-0.56	0.72	0.68	-0.41	0.65	0.55	-1.30	0.49	0.69	-0.02	0.68
NSEsqrт	P2	0.63	0.64	0.67	0.71	0.47	0.73	0.63	0.66	0.68	0.52	0.52	0.58	0.45	0.52	0.52	0.47	0.51	0.51
NSEsqrт	CP	0.71	0.28	0.71	0.72	0.31	0.73	0.79	-0.31	0.74	0.64	-0.23	0.63	0.55	-0.95	0.51	0.70	0.09	0.70
RSR	P1	0.52	4.68	0.51	0.51	3.04	0.50	0.46	13.71	0.47	0.55	9.67	0.56	0.56	15.54	0.59	0.51	5.00	0.52
RSR	P2	1.78	0.67	0.89	1.49	0.76	0.51	5.43	0.60	0.68	6.16	0.69	0.78	6.11	0.80	0.77	3.69	0.73	0.70
RSR	CP	0.13	2.95	0.51	0.15	2.08	0.50	0.01	11.68	0.47	0.64	7.08	0.55	0.61	12.95	0.57	0.33	4.03	0.52
VE	P1	0.99	0.35	0.95	1.00	0.58	0.97	0.92	-0.89	0.81	1.00	-0.33	0.92	0.96	-1.14	0.83	1.00	0.31	0.96
VE	P2	0.82	0.98	0.83	0.85	0.96	0.86	0.46	0.98	0.49	0.39	0.94	0.43	0.39	0.97	0.43	0.63	0.95	0.60
VE	CP	0.99	0.59	0.99	0.98	0.71	1.00	1.00	-0.61	0.90	0.94	0.02	1.00	0.94	-0.79	0.95	0.97	0.44	1.00

Табела III-2. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији DSST протоколом на сливу Вимера (1 дио).

Потпис	Калиб. период	Валидација absd			Валидација Вудко			Валидација GR2M			Валидација WASMOD			Валидација WatBal			Валидација Xinanjiang		
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP
Q95	P1	0.08	0.13	0.13	0.02	0.35	0.01	0.20	1.03	0.04	0.01	1.51	0.15	0.07	1.87	0.03	0.03	1.04	0.05
	P2	0.63	0.05	0.52	0.23	0.14	0.13	0.62	0.19	0.56	0.68	0.01	0.62	0.59	0.08	0.60	0.03	0.10	0.18
	CP	0.07	0.28	0.20	0.05	0.22	0.01	0.25	0.87	0.10	0.01	1.29	0.14	0.12	1.56	0.10	0.02	0.93	0.06
Q80	P1	0.09	0.46	0.01	0.38	0.36	0.09	0.67	1.58	0.89	0.29	1.20	0.27	0.67	2.24	0.79	0.30	0.20	0.12
	P2	0.44	0.28	0.48	0.24	0.05	0.10	0.35	0.14	0.29	0.35	0.08	0.42	0.55	0.25	0.55	1.19	0.05	1.16
	CP	0.17	0.38	0.09	0.31	0.28	0.00	0.55	1.30	0.74	0.07	0.84	0.00	0.46	1.81	0.47	0.26	0.13	0.03
Q50	P1	0.39	3.15	0.83	0.47	0.44	0.46	0.21	3.49	0.56	0.65	0.25	0.56	0.32	1.69	0.04	0.32	0.49	0.28
	P2	0.62	0.44	0.51	0.50	0.07	0.49	0.64	0.02	0.58	0.71	0.21	0.59	0.79	0.16	0.69	0.99	0.65	0.86
	CP	0.34	2.52	0.74	0.53	0.20	0.52	0.05	2.96	0.39	0.85	0.56	0.81	0.48	1.07	0.25	0.30	0.49	0.23
Q20	P1	2.95	75.21	5.55	0.77	4.11	0.58	0.28	32.74	1.32	0.86	3.18	0.76	0.93	1.58	0.85	0.50	5.23	0.27
	P2	0.11	17.19	0.60	0.75	3.76	0.58	0.81	2.51	0.68	0.83	4.60	0.66	0.58	14.87	0.17	0.92	8.61	1.37
	CP	2.97	65.01	5.26	0.79	2.83	0.68	0.10	26.05	0.93	0.96	0.04	0.94	0.96	0.59	0.91	0.41	6.78	0.09
Q5	P1	28.36	100	100	0.90	100	100	1.78	100	100	0.80	100	100	1.00	100	100	0.74	100	100
	P2	4.31	100	100	0.85	100	100	0.85	100	100	0.88	100	100	0.25	100	100	0.98	100	100
	CP	29.46	100	100	0.92	100	100	1.18	100	100	1.00	100	100	1.00	100	100	0.57	100	100
BFI	P1	0.17	0.30	0.19	0.02	0.00	0.02	0.03	0.05	0.03	0.03	0.01	0.03	0.06	0.05	0.06	0.02	0.04	0.02
	P2	0.01	0.09	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.07	0.05
	CP	0.19	0.34	0.21	0.02	0.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.06	0.03	0.05	0.03
IAFD	P1	0.27	0.67	0.28	0.14	0.55	0.15	0.15	1.89	0.22	0.38	1.55	0.41	0.14	2.22	0.25	0.23	0.88	0.25
	P2	0.48	0.35	0.46	0.17	0.23	0.15	0.54	0.17	0.51	0.61	0.38	0.57	0.61	0.30	0.57	0.40	0.42	0.43
	CP	0.25	0.55	0.26	0.15	0.46	0.15	0.13	1.61	0.14	0.38	1.27	0.41	0.15	1.88	0.17	0.21	0.76	0.24

Табела III-3. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији DSST протоколом на сливу Вимера (II дио).

Потпис	Калиб. период	Валидација abcd			Валидација Vudyko			Валидација GR2M			Валидација WASMOD			Валидација WatBal			Валидација Xinanjiang		
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP
SEL	P1	0.23	0.30	0.19	0.02	0.00	0.02	0.03	0.05	0.03	0.03	0.01	0.03	0.06	0.05	0.06	0.02	0.04	0.02
	P2	1.26	0.09	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.02	0.03	0.02	0.03	0.05	0.07	0.05
	CP	0.20	0.34	0.21	0.02	0.00	0.02	0.02	0.05	0.02	0.04	0.03	0.04	0.06	0.05	0.06	0.03	0.05	0.03
AC1	P1	0.00	0.24	0.00	0.17	0.19	0.16	0.18	0.10	0.16	0.16	0.16	0.14	0.20	0.08	0.17	0.17	0.14	0.15
	P2	0.06	0.09	0.07	0.23	0.08	0.21	0.14	0.05	0.12	0.13	0.06	0.11	0.20	0.14	0.18	0.30	0.02	0.28
	CP	0.02	0.24	0.03	0.18	0.18	0.16	0.16	0.10	0.16	0.14	0.02	0.12	0.19	0.08	0.16	0.13	0.17	0.11
AC12	P1	0.02	0.23	0.01	0.02	0.15	0.01	0.09	0.07	0.09	0.16	0.14	0.14	0.09	0.15	0.09	0.05	0.16	0.03
	P2	0.00	0.13	0.02	0.02	0.11	0.01	0.07	0.04	0.06	0.12	0.05	0.11	0.02	0.08	0.01	0.24	0.02	0.24
	CP	0.00	0.22	0.01	0.02	0.15	0.01	0.09	0.08	0.08	0.09	0.14	0.10	0.12	0.16	0.11	0.00	0.18	0.01
STD	P1	0.00	0.16	0.01	0.01	0.37	0.01	0.13	1.36	0.12	0.01	1.33	0.00	0.07	1.93	0.06	0.01	0.90	0.00
	P2	0.64	0.01	0.61	0.16	0.05	0.16	0.57	0.02	0.57	0.66	0.07	0.66	0.59	0.00	0.59	0.03	0.07	0.00
	CP	0.01	0.29	0.00	0.01	0.27	0.01	0.19	1.16	0.17	0.01	1.17	0.01	0.13	1.69	0.11	0.00	0.73	0.00
Qmed	P1	0.40	3.29	0.83	0.48	0.45	0.46	0.21	3.51	0.56	0.66	0.23	0.56	0.33	1.67	0.04	0.33	0.48	0.28
	P2	0.62	0.49	0.51	0.51	0.03	0.49	0.65	0.02	0.59	0.71	0.23	0.61	0.79	0.20	0.69	0.98	0.69	0.85
	CP	0.34	2.64	0.75	0.55	0.23	0.52	0.05	2.97	0.38	0.85	0.56	0.81	0.48	1.06	0.25	0.30	0.52	0.25
P0	P1	0.01	0.17	0.06	0.01	0.11	0.03	0.01	0.17	0.06	0.00	0.17	0.05	0.19	0.20	0.17	0.00	0.04	0.04
	P2	0.01	0.17	0.06	0.01	0.14	0.03	0.00	0.16	0.05	0.02	0.15	0.03	0.00	0.02	0.06	0.00	0.07	0.01
	CP	0.01	0.17	0.06	0.02	0.11	0.02	0.01	0.17	0.06	0.08	0.06	0.04	0.19	0.20	0.17	0.00	0.05	0.01
D20	P1	0.10	0.44	0.20	0.14	0.11	0.07	0.05	0.40	0.16	0.21	0.06	0.13	0.18	0.13	0.09	0.07	0.13	0.01
	P2	0.10	0.33	0.17	0.13	0.10	0.06	0.17	0.09	0.09	0.18	0.11	0.09	0.04	0.28	0.06	0.04	0.18	0.10
	CP	0.10	0.44	0.20	0.16	0.10	0.08	0.04	0.36	0.13	0.29	0.06	0.22	0.20	0.11	0.11	0.03	0.17	0.03

Табела III-4. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији DSST Протоколом на сливу Камп.

Ефикас.	Калиб. Период	Валидација abcd			Валидација Вудуко			Валидација GR2M			Валидација WASMOD			Валидација WatBal			Валидација Xinanjiang		
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP
KGE	P1	0.89	0.73	0.85	0.83	0.64	0.78	0.82	0.60	0.76	0.85	0.64	0.79	0.75	0.53	0.69	0.73	0.48	0.66
KGE	P2	0.72	0.76	0.76	0.74	0.76	0.76	0.77	0.64	0.74	0.64	0.81	0.70	0.29	0.72	0.41	0.58	0.69	0.63
KGE	CP	0.89	0.74	0.85	0.82	0.71	0.80	0.82	0.62	0.77	0.83	0.69	0.81	0.73	0.65	0.72	0.71	0.64	0.71
NSEsqrt	P1	0.72	0.53	0.65	0.61	0.29	0.49	0.60	0.33	0.50	0.50	0.08	0.34	0.26	-0.25	0.07	0.35	0.01	0.23
NSEsqrt	P2	0.70	0.53	0.64	0.72	0.60	0.68	0.69	0.49	0.61	0.57	0.58	0.58	0.05	0.35	0.19	0.45	0.51	0.48
NSEsqrt	CP	0.73	0.56	0.67	0.70	0.47	0.61	0.64	0.39	0.55	0.58	0.23	0.44	0.37	0.09	0.27	0.43	0.39	0.43
RSR	P1	0.46	0.11	0.55	0.53	0.71	0.63	0.54	2.01	0.65	0.53	1.82	0.64	0.69	1.66	0.80	0.70	0.55	0.82
RSR	P2	0.04	0.68	0.58	0.30	0.64	0.54	0.32	0.77	0.58	0.67	0.61	0.70	0.47	0.74	1.19	0.18	0.78	0.75
RSR	CP	0.04	0.01	0.54	0.03	0.29	0.57	0.37	1.65	0.62	0.00	1.20	0.60	0.05	0.99	0.73	0.51	0.72	0.73
VE	P1	1.00	0.99	1.00	0.99	0.97	0.98	0.96	0.90	0.93	0.97	0.91	0.94	0.96	0.92	0.94	0.98	0.97	0.98
VE	P2	1.00	1.00	1.00	0.98	0.98	0.98	0.98	0.93	0.95	0.95	0.99	0.97	0.96	0.97	0.97	0.99	1.00	0.99
VE	CP	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99	0.99	0.97	0.92	0.95	1.00	0.94	0.97	1.00	0.95	0.98	0.96	0.97	0.96

Табела III-5. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији DSST протоколом на сливу Камп (I дио).

Потпис	Калиб. период	Валидација abcd		Валидација Vudyko		Валидација GR2M		Валидација WASMOD		Валидација WatBal		Валидација Xinanjiang							
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP			
Q95	P1	0.07	0.02	0.08	0.02	0.04	0.05	0.03	0.01	0.19	0.09	0.14	0.22	0.15	0.30	0.14	0.04	0.19	
	P2	0.06	0.06	0.00	0.18	0.14	0.06	0.08	0.07	0.07	0.14	0.01	0.07	0.04	0.01	0.00	0.09	0.02	
	CP	0.06	0.01	0.06	0.05	0.03	0.01	0.08	0.06	0.03	0.10	0.03	0.12	0.07	0.12	0.03	0.08	0.08	
Q80	P1	0.04	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.05	0.12	0.00	0.15	0.12	0.16	0.10	0.11	0.04	0.03	0.07	
	P2	0.08	0.11	0.15	0.07	0.04	0.08	0.01	0.09	0.05	0.11	0.07	0.10	0.11	0.07	0.08	0.03	0.12	
	CP	0.05	0.04	0.04	0.02	0.06	0.05	0.03	0.09	0.07	0.03	0.13	0.09	0.06	0.02	0.07	0.10	0.01	0.11
Q50	P1	0.09	0.04	0.01	0.07	0.11	0.08	0.11	0.17	0.07	0.13	0.05	0.01	0.03	0.04	0.12	0.03	0.05	
	P2	0.17	0.07	0.08	0.17	0.10	0.10	0.14	0.21	0.01	0.06	0.02	0.14	0.02	0.10	0.15	0.02	0.06	
	CP	0.09	0.03	0.01	0.13	0.11	0.04	0.08	0.16	0.09	0.02	0.10	0.03	0.04	0.03	0.02	0.21	0.04	0.09
Q20	P1	0.00	0.06	0.00	0.06	0.15	0.16	0.27	0.24	0.34	0.04	0.03	0.11	0.11	0.09	0.02	0.04	0.00	
	P2	0.09	0.12	0.04	0.04	0.00	0.06	0.31	0.33	0.37	0.08	0.11	0.07	0.02	0.02	0.01	0.05	0.05	
	CP	0.03	0.02	0.04	0.14	0.08	0.13	0.25	0.25	0.30	0.01	0.04	0.02	0.10	0.08	0.05	0.11	0.08	0.11
Q5	P1	0.16	0.26	0.22	0.33	0.51	0.48	0.00	0.02	0.07	0.54	0.40	0.48	0.34	0.43	0.01	0.07	0.02	
	P2	0.37	0.42	0.47	0.25	0.41	0.44	0.22	0.14	0.05	0.04	0.17	0.24	0.03	0.07	0.09	0.24	0.21	0.25
	CP	0.10	0.22	0.19	0.22	0.43	0.45	0.01	0.03	0.07	0.44	0.43	0.45	0.21	0.31	0.29	0.03	0.11	0.20
BF1	P1	0.04	0.07	0.05	0.09	0.13	0.11	0.03	0.05	0.04	0.12	0.12	0.10	0.12	0.11	0.01	0.01	0.02	
	P2	0.05	0.10	0.07	0.06	0.09	0.08	0.00	0.02	0.01	0.07	0.07	0.06	0.03	0.04	0.00	0.05	0.04	
	CP	0.03	0.06	0.04	0.06	0.11	0.09	0.02	0.04	0.03	0.12	0.12	0.09	0.09	0.08	0.03	0.07	0.05	
IAFD	P1	0.15	0.21	0.17	0.17	0.18	0.16	0.21	0.26	0.23	0.16	0.23	0.21	0.29	0.25	0.38	0.40	0.39	
	P2	0.18	0.23	0.19	0.15	0.16	0.15	0.17	0.21	0.19	0.17	0.14	0.28	0.25	0.25	0.33	0.22	0.25	
	CP	0.15	0.20	0.17	0.15	0.16	0.15	0.19	0.23	0.21	0.14	0.19	0.24	0.25	0.24	0.38	0.27	0.31	

Табела III-6. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији DSST протоколом на сливу Камп (II дио).

Потпис	Калибр. период	Валидација abcd			Валидација Вудко			Валидација GR2M			Валидација WASMOD			Валидација WatVal			Валидација Xianjiang		
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP
SEL	P1	0.16	0.07	0.05	0.09	0.13	0.11	0.03	0.05	0.04	0.12	0.12	0.12	0.10	0.12	0.11	0.01	0.01	0.02
	P2	0.01	0.10	0.07	0.06	0.09	0.08	0.00	0.02	0.01	0.07	0.07	0.07	0.06	0.03	0.04	0.00	0.05	0.04
	CP	0.13	0.06	0.04	0.06	0.11	0.09	0.02	0.04	0.03	0.12	0.12	0.11	0.09	0.09	0.08	0.03	0.07	0.05
AC1	P1	0.06	0.02	0.03	0.08	0.15	0.09	0.12	0.11	0.11	0.08	0.26	0.13	0.08	0.26	0.03	0.02	0.05	0.01
	P2	0.31	0.20	0.29	0.20	0.20	0.21	0.02	0.00	0.00	0.30	0.10	0.24	0.06	0.15	0.15	0.10	0.49	0.27
	CP	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01	0.03	0.09	0.07	0.08	0.02	0.19	0.07	0.15	0.15	0.05	0.10	0.19	0.16
AC12	P1	0.02	0.04	0.01	0.04	0.17	0.07	0.07	0.18	0.09	0.07	0.04	0.06	0.14	0.07	0.08	0.10	0.02	0.06
	P2	0.04	0.01	0.08	0.01	0.01	0.02	0.07	0.13	0.07	0.07	0.12	0.12	0.05	0.07	0.10	0.04	0.07	0.06
	CP	0.02	0.04	0.01	0.03	0.10	0.03	0.07	0.16	0.09	0.07	0.02	0.07	0.17	0.06	0.11	0.12	0.00	0.03
STD	P1	0.02	0.04	0.00	0.07	0.01	0.05	0.08	0.04	0.07	0.03	0.18	0.03	0.02	0.23	0.06	0.05	0.10	0.00
	P2	0.23	0.01	0.16	0.22	0.10	0.18	0.19	0.13	0.17	0.16	0.01	0.12	0.38	0.01	0.28	0.25	0.03	0.18
	CP	0.04	0.01	0.02	0.13	0.04	0.10	0.11	0.07	0.10	0.10	0.12	0.03	0.10	0.12	0.04	0.12	0.10	0.05
Qmed	P1	0.08	0.04	0.01	0.07	0.11	0.08	0.10	0.17	0.11	0.07	0.14	0.05	0.02	0.03	0.04	0.09	0.04	0.06
	P2	0.17	0.08	0.08	0.16	0.10	0.10	0.14	0.21	0.12	0.01	0.06	0.02	0.14	0.02	0.10	0.14	0.03	0.05
	CP	0.07	0.04	0.01	0.09	0.11	0.05	0.07	0.17	0.09	0.02	0.11	0.03	0.04	0.04	0.02	0.21	0.04	0.09
FREQF	P1	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00
	P2	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
	CP	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00
D20	P1	0.01	0.04	0.02	0.01	0.00	0.01	0.07	0.04	0.06	0.02	0.02	0.02	0.05	0.07	0.06	0.00	0.03	0.02
	P2	0.04	0.05	0.05	0.02	0.01	0.00	0.11	0.04	0.07	0.03	0.06	0.05	0.00	0.03	0.02	0.01	0.04	0.02
	CP	0.03	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.08	0.03	0.05	0.01	0.03	0.02	0.04	0.05	0.05	0.02	0.00	0.01

Табела III-7. Статистички показатељи ефикасности модела у калибрацији и валидацији DSST Протоколом на сливу Топлица.

Ефикас.	Калиб. Период	Валидација abcd			Валидација Budyko			Валидација GR2M			Валидација WASMOD			Валидација WatBal			Валидација Xinaujiang		
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP
KGE	P1	0.88	0.69	0.78	0.79	0.59	0.69	0.73	0.65	0.70	0.84	0.79	0.82	0.83	0.55	0.69	0.77	0.42	0.53
KGE	P2	0.75	0.80	0.81	0.71	0.68	0.72	0.67	0.70	0.71	0.80	0.84	0.83	0.76	0.77	0.77	0.49	0.72	0.66
KGE	CP	0.83	0.78	0.83	0.75	0.67	0.73	0.71	0.69	0.72	0.82	0.83	0.84	0.81	0.75	0.78	0.65	0.65	0.70
NSEsqrт	P1	0.78	0.72	0.74	0.63	0.44	0.52	0.70	0.68	0.69	0.62	0.62	0.62	0.60	0.36	0.46	0.59	0.19	0.29
NSEsqrт	P2	0.69	0.74	0.73	0.59	0.52	0.55	0.61	0.65	0.64	0.61	0.66	0.65	0.43	0.45	0.44	0.33	0.51	0.45
NSEsqrт	CP	0.75	0.76	0.76	0.62	0.52	0.56	0.66	0.67	0.67	0.63	0.66	0.65	0.55	0.48	0.51	0.54	0.42	0.47
RSR	P1	0.47	3.03	0.56	0.62	3.44	0.70	0.60	1.16	0.63	0.56	1.81	0.57	0.56	2.89	0.69	0.67	0.44	1.00
RSR	P2	1.90	0.61	0.61	1.99	0.76	0.72	2.48	0.68	0.68	1.20	0.56	0.57	0.37	0.67	0.66	4.10	0.74	0.82
RSR	CP	1.15	1.05	0.57	1.23	1.18	0.70	1.82	0.20	0.65	0.78	0.55	0.56	0.30	0.25	0.65	2.45	1.92	0.76
VE	P1	0.99	0.81	0.88	0.99	0.78	0.86	0.91	0.93	0.99	1.00	0.88	0.93	1.00	0.82	0.88	0.96	0.97	0.91
VE	P2	0.82	1.00	0.93	0.81	0.99	0.92	0.76	0.92	0.86	0.89	0.99	0.95	0.96	1.00	0.99	0.61	0.99	0.86
VE	CP	0.89	0.93	1.00	0.88	0.92	1.00	0.83	0.99	0.93	0.93	0.96	0.99	0.97	0.98	1.00	0.76	0.88	0.99

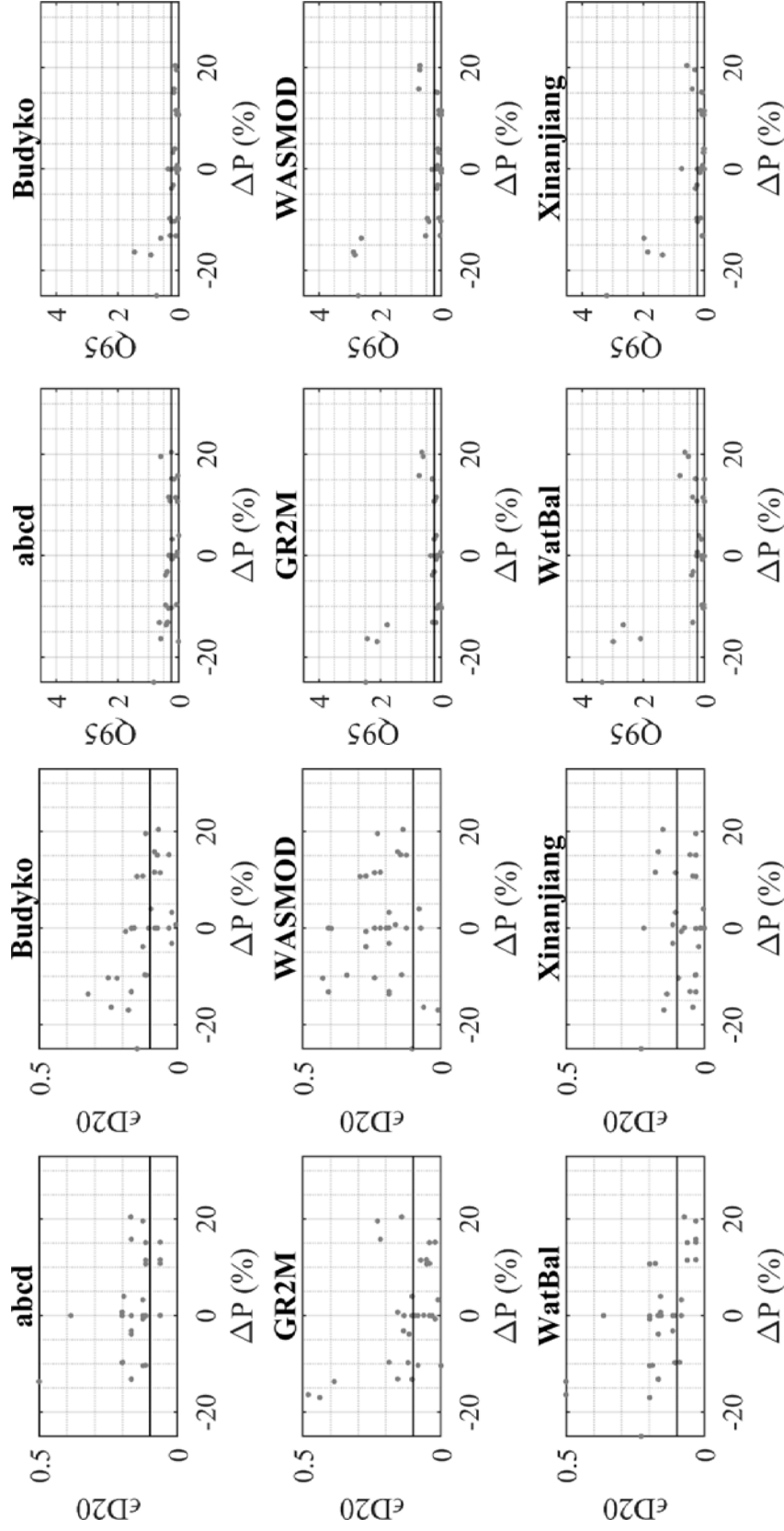
Табела III-8. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији DSST протоколом на сливу Топлица (I дио).

Потпис	Калиб. период	Валидација abcd			Валидација Вудуко			Валидација GR2M			Валидација WSMOD			Валидација WatVal			Валидација Xinanjiang		
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP
Q95	P1	0.16	0.13	0.03	0.14	0.24	0.05	0.21	0.22	0.15	0.18	0.06	0.05	0.06	0.23	0.02	0.10	0.03	0.19
	P2	0.01	0.01	0.11	0.08	0.15	0.05	0.09	0.12	0.02	0.14	0.01	0.15	0.12	0.03	0.10	0.07	0.01	0.20
	CP	0.05	0.06	0.02	0.10	0.17	0.03	0.15	0.17	0.07	0.18	0.05	0.12	0.08	0.01	0.15	0.11	0.17	0.00
Q80	P1	0.05	0.15	0.10	0.07	0.03	0.04	0.14	0.01	0.07	0.03	0.03	0.02	0.01	0.21	0.15	0.07	0.13	0.05
	P2	0.23	0.09	0.22	0.36	0.19	0.22	0.29	0.15	0.23	0.18	0.15	0.14	0.03	0.17	0.13	0.17	0.07	0.17
	CP	0.13	0.01	0.08	0.24	0.10	0.14	0.14	0.26	0.09	0.13	0.11	0.09	0.01	0.09	0.06	0.39	0.15	0.03
Q50	P1	0.04	0.14	0.11	0.00	0.24	0.16	0.35	0.10	0.17	0.01	0.08	0.05	0.03	0.15	0.09	0.01	0.10	0.03
	P2	0.38	0.10	0.14	0.52	0.22	0.28	0.52	0.29	0.38	0.26	0.21	0.21	0.10	0.06	0.09	0.56	0.01	0.15
	CP	0.28	0.03	0.06	0.36	0.05	0.13	0.45	0.21	0.27	0.17	0.13	0.12	0.11	0.06	0.03	0.42	0.06	0.04
Q20	P1	0.37	0.31	0.29	0.44	0.55	0.48	0.33	0.18	0.20	0.46	0.49	0.47	0.12	0.00	0.11	0.11	0.19	0.01
	P2	0.24	0.18	0.14	0.16	0.06	0.04	0.51	0.40	0.43	0.21	0.29	0.28	0.21	0.34	0.29	0.41	0.03	0.21
	CP	0.22	0.18	0.16	0.07	0.24	0.16	0.46	0.32	0.35	0.28	0.34	0.33	0.10	0.09	0.01	0.43	0.05	0.13
Q5	P1	0.65	0.60	0.65	0.79	0.89	0.88	0.00	0.17	0.11	0.93	0.92	0.93	0.17	0.36	0.26	0.45	0.66	0.53
	P2	0.57	0.52	0.58	0.64	0.75	0.73	0.31	0.04	0.13	0.89	0.89	0.88	0.54	0.67	0.64	0.29	0.30	0.17
	CP	0.58	0.51	0.58	0.74	0.80	0.79	0.18	0.04	0.04	0.90	0.89	0.89	0.28	0.48	0.44	0.33	0.52	0.28
BFI	P1	0.07	0.04	0.06	0.10	0.09	0.09	0.01	0.03	0.03	0.13	0.12	0.12	0.02	0.04	0.03	0.01	0.03	0.04
	P2	0.06	0.04	0.06	0.04	0.07	0.07	0.03	0.05	0.04	0.09	0.11	0.11	0.08	0.12	0.12	0.01	0.01	0.00
	CP	0.06	0.04	0.05	0.05	0.08	0.08	0.03	0.04	0.04	0.09	0.11	0.12	0.02	0.07	0.06	0.00	0.00	0.00
IAFD	P1	0.16	0.20	0.17	0.21	0.24	0.21	0.30	0.23	0.25	0.18	0.13	0.12	0.23	0.36	0.30	0.26	0.25	0.29
	P2	0.25	0.19	0.21	0.28	0.25	0.25	0.39	0.31	0.34	0.23	0.09	0.13	0.23	0.21	0.17	0.46	0.24	0.31
	CP	0.21	0.18	0.18	0.24	0.21	0.21	0.35	0.27	0.30	0.21	0.08	0.11	0.24	0.22	0.19	0.40	0.25	0.29

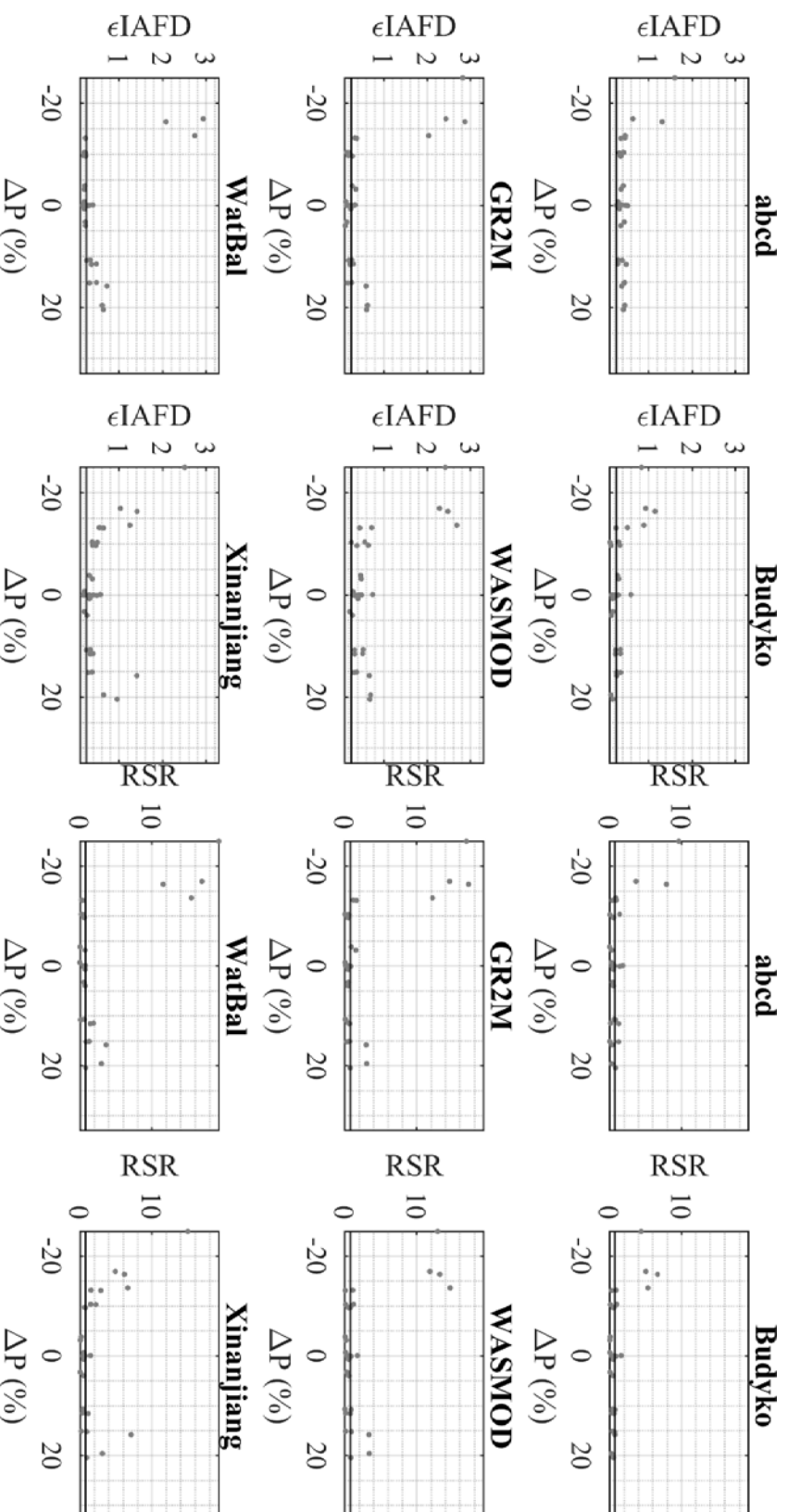
Табела III-9. Разлике хидролошких потписа у калибрацији и валидацији DSST протоколом на сливу Топлица (II дио).

Потпис	Калиб. период	Валидација abcd			Валидација Budyko			Валидација GR2M			Валидација WASMOD			Валидација WatBal			Валидација Xinanjiang			
		P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	P1	P2	CP	
SEL	P1	0.20	0.04	0.06	0.10	0.09	0.09	0.01	0.03	0.03	0.13	0.12	0.12	0.02	0.04	0.03	0.01	0.01	0.03	0.04
	P2	0.61	0.04	0.06	0.04	0.07	0.07	0.03	0.05	0.04	0.09	0.11	0.11	0.08	0.12	0.12	0.01	0.01	0.01	0.00
	CP	0.53	0.04	0.05	0.05	0.08	0.08	0.03	0.04	0.04	0.09	0.11	0.12	0.02	0.07	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00
AC1	P1	0.05	0.07	0.08	0.15	0.12	0.15	0.06	0.07	0.08	0.02	0.09	0.06	0.09	0.06	0.05	0.16	0.16	0.16	0.16
	P2	0.03	0.04	0.05	0.14	0.10	0.13	0.05	0.04	0.06	0.02	0.08	0.05	0.12	0.05	0.08	0.16	0.16	0.20	0.20
	CP	0.05	0.07	0.07	0.14	0.11	0.14	0.06	0.06	0.08	0.02	0.08	0.06	0.11	0.05	0.07	0.18	0.18	0.15	0.17
AC12	P1	0.09	0.14	0.10	0.19	0.20	0.17	0.21	0.20	0.18	0.03	0.09	0.04	0.14	0.26	0.18	0.11	0.11	0.37	0.18
	P2	0.11	0.13	0.10	0.21	0.23	0.20	0.21	0.21	0.19	0.04	0.07	0.02	0.17	0.18	0.16	0.08	0.08	0.15	0.05
	CP	0.10	0.13	0.09	0.20	0.21	0.19	0.21	0.21	0.18	0.03	0.07	0.03	0.09	0.17	0.12	0.13	0.13	0.25	0.02
STD	P1	0.02	0.16	0.08	0.05	0.15	0.09	0.16	0.25	0.19	0.01	0.05	0.03	0.03	0.24	0.13	0.01	0.01	0.44	0.30
	P2	0.08	0.03	0.04	0.02	0.09	0.04	0.07	0.14	0.09	0.02	0.01	0.01	0.05	0.03	0.03	0.14	0.14	0.01	0.10
	CP	0.03	0.09	0.02	0.04	0.11	0.06	0.11	0.19	0.14	0.00	0.03	0.01	0.02	0.03	0.03	0.06	0.06	0.04	0.02
Qmed	P1	0.02	0.15	0.12	0.01	0.24	0.16	0.35	0.10	0.17	0.01	0.08	0.05	0.03	0.14	0.09	0.01	0.10	0.10	0.03
	P2	0.37	0.11	0.14	0.52	0.23	0.28	0.51	0.29	0.37	0.25	0.21	0.21	0.09	0.06	0.07	0.56	0.56	0.00	0.16
	CP	0.24	0.03	0.05	0.35	0.05	0.13	0.46	0.21	0.27	0.17	0.12	0.12	0.05	0.07	0.03	0.43	0.43	0.05	0.03
FREQif	P1	0.08	0.03	0.04	0.08	0.15	0.13	0.00	0.00	0.00	0.13	0.13	0.02	0.02	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.03
	P2	0.02	0.01	0.01	0.06	0.06	0.06	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.10	0.05	0.04	0.04	0.00	0.00	0.01	0.01
	CP	0.03	0.01	0.01	0.06	0.09	0.08	0.00	0.00	0.00	0.11	0.11	0.11	0.02	0.03	0.03	0.00	0.00	0.02	0.01
D20	P1	0.12	0.08	0.09	0.13	0.13	0.13	0.03	0.05	0.05	0.13	0.12	0.12	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.05	0.03
	P2	0.07	0.05	0.05	0.03	0.02	0.03	0.08	0.09	0.09	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.09	0.07	0.07	0.01	0.03
	CP	0.08	0.05	0.06	0.04	0.06	0.05	0.08	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.00	0.02	0.01	0.06	0.06	0.03	0.00

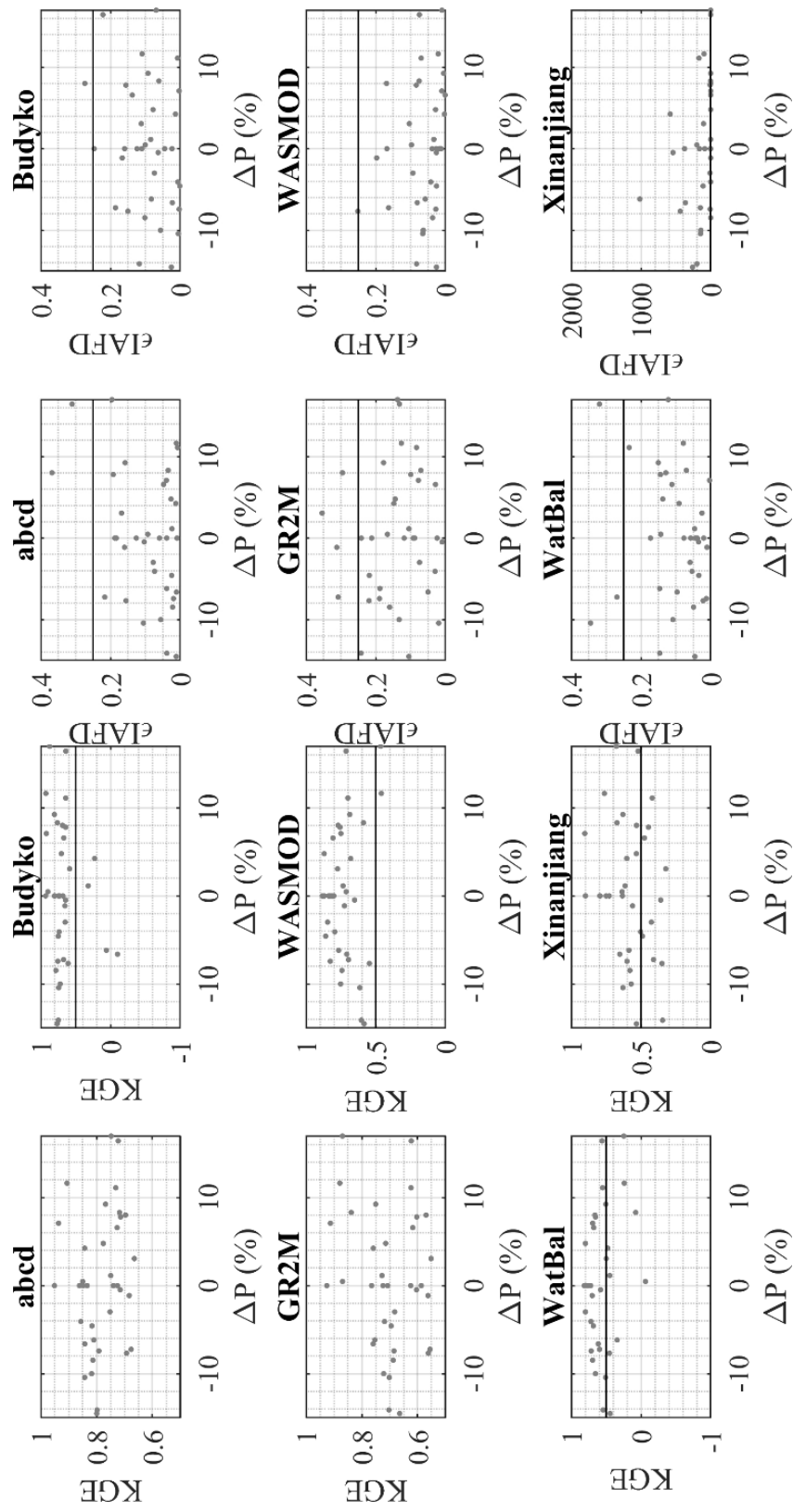
ПРИЛОГ IV. Границе трансферабилности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)



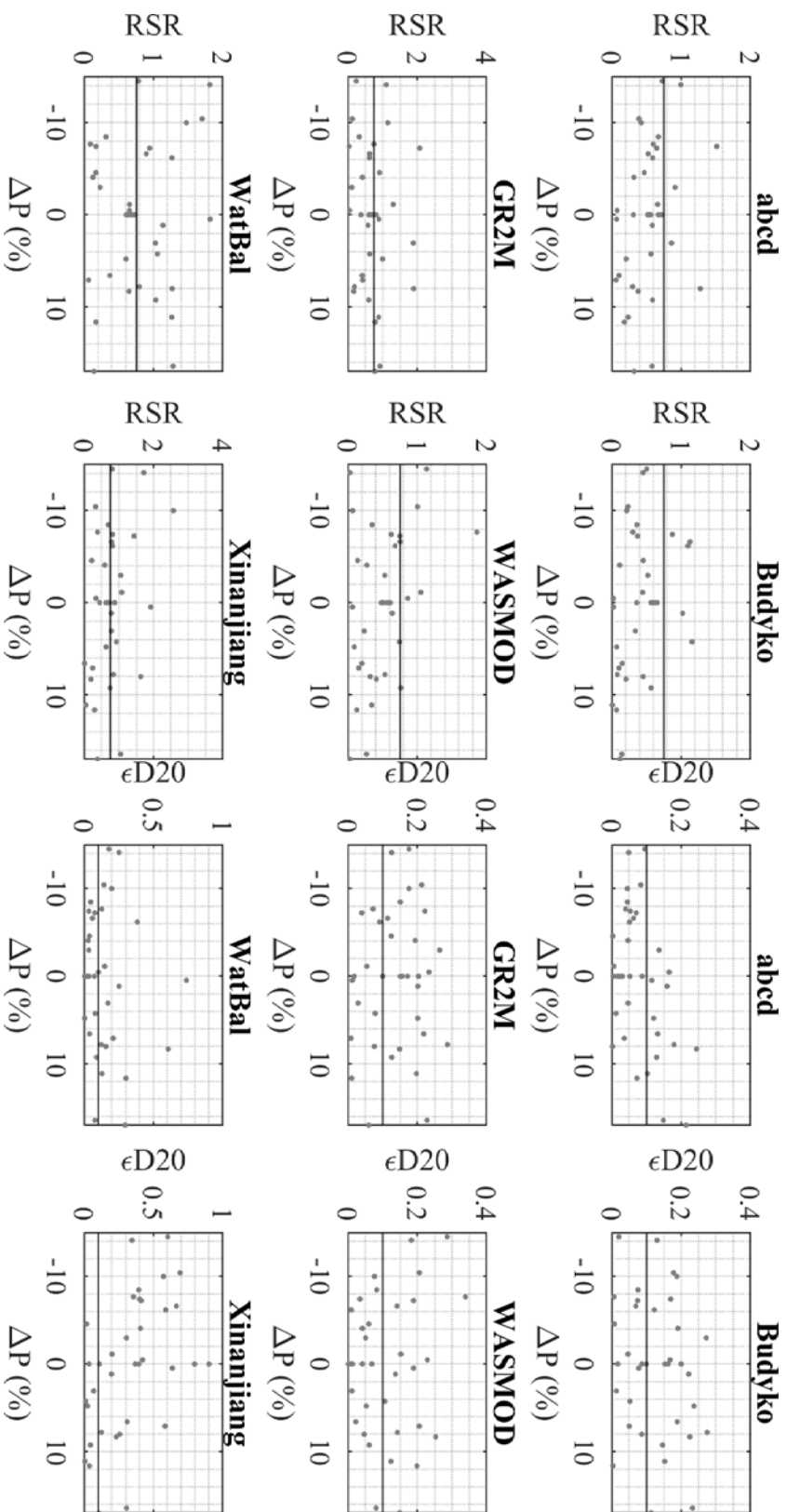
Слика IV-1. Зависност ϵ_{D20} (лијево) и ϵ_{Q95} (десно) од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Вимера у Тиреловом протоколу.



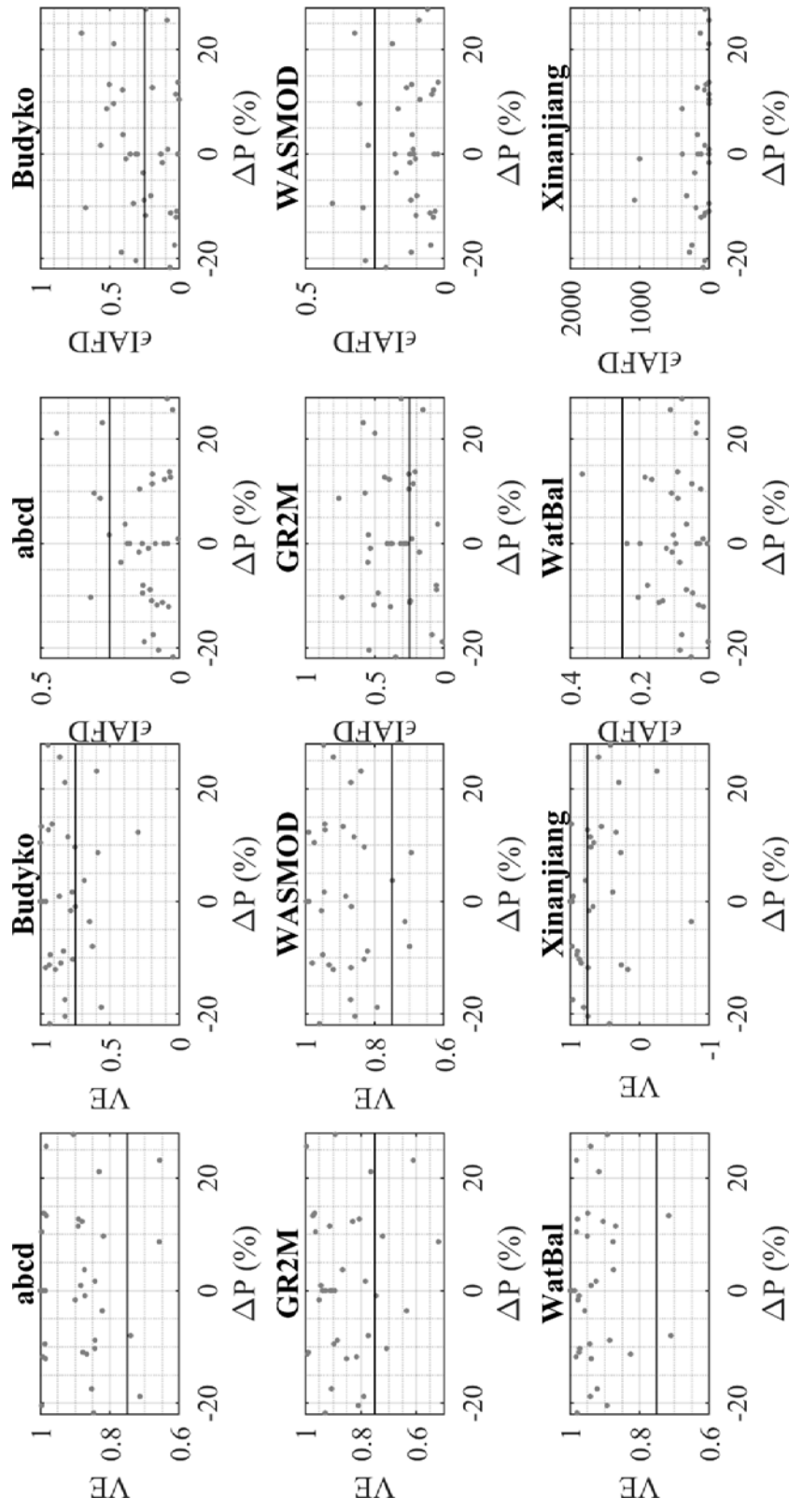
Слика IV-2. Зависност ϵ_{IAFD} (лијево) и RSR (десно) од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Вимера у Тиреловом протоколу.



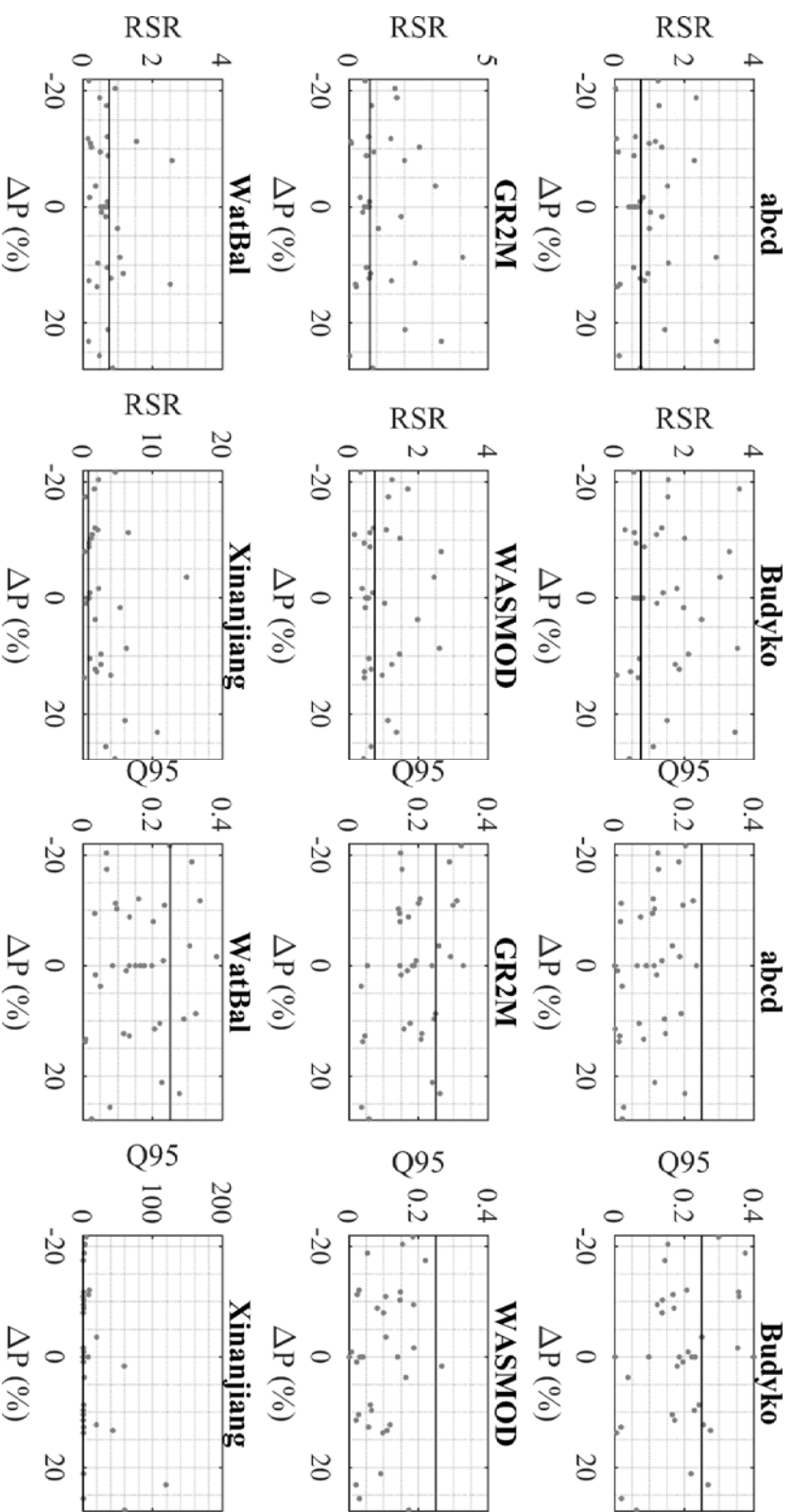
Слика IV-3. Зависност KGE (лијево) и ϵ_{IAFD} (десно) од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Камп у Тиреловом протоколу.



Слика IV-4. Зависност RSR (лијево) и ϵD_{20} (десно) од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Камп у Тиреловом протоколу.

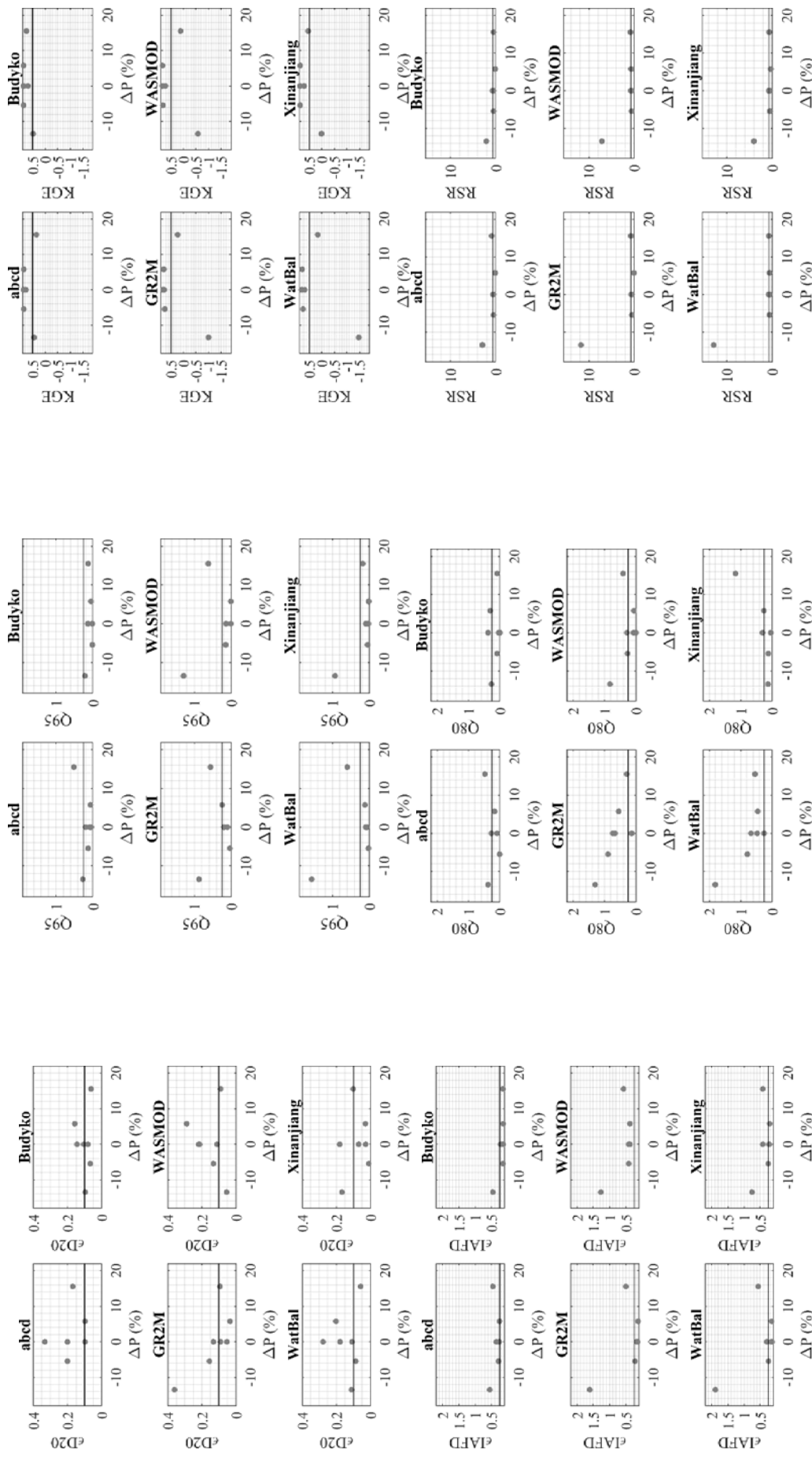


Слика IV-5. Зависност KGE (лијево) и ϵ_{IAFD} (десно) од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Топлица у Тиреловом протоколу.

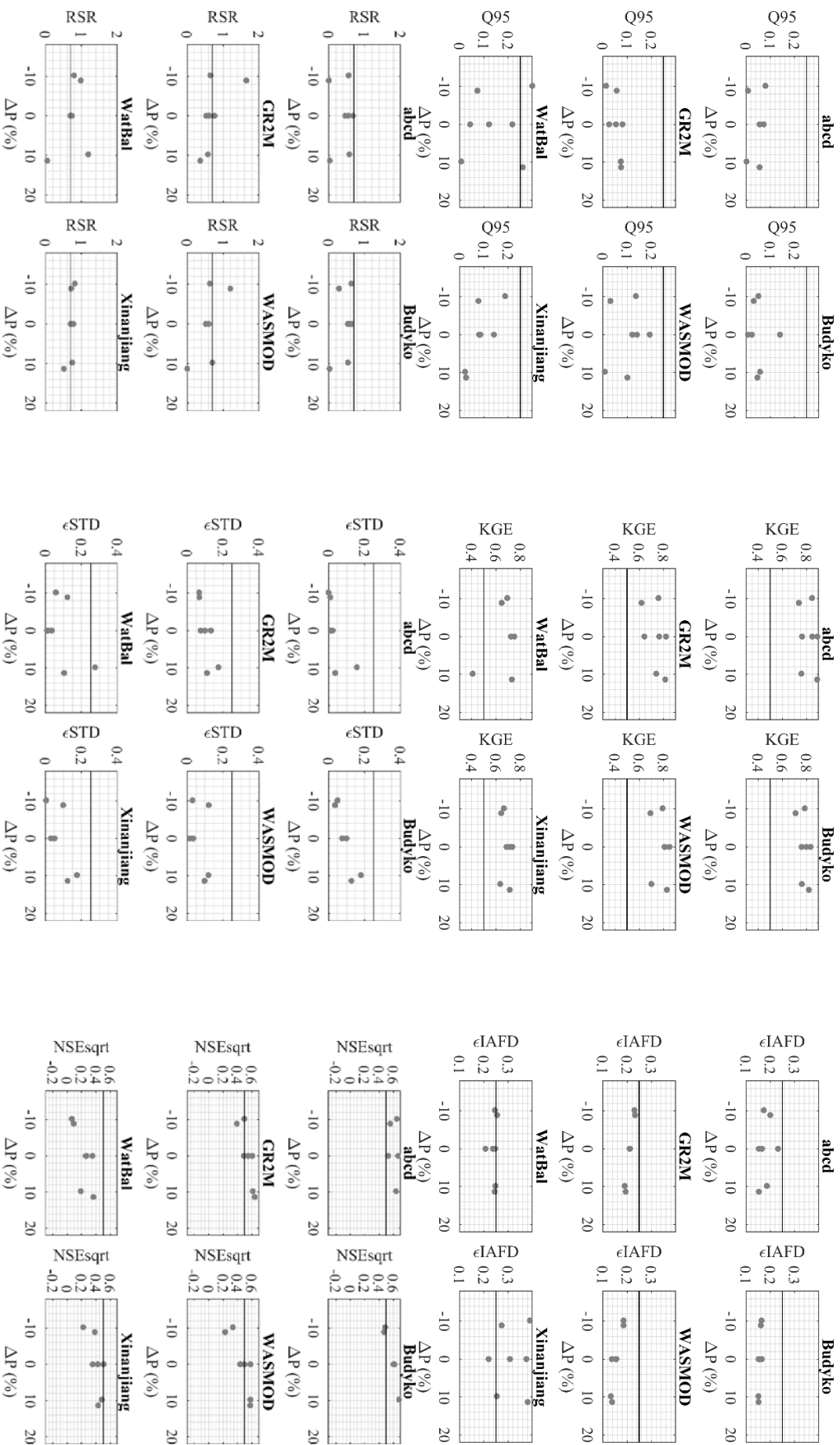


Слика IV-6. Зависност RSR (лијево) и Q_{95} (десно) од промјене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Топлица у Тиреловом протоколу.

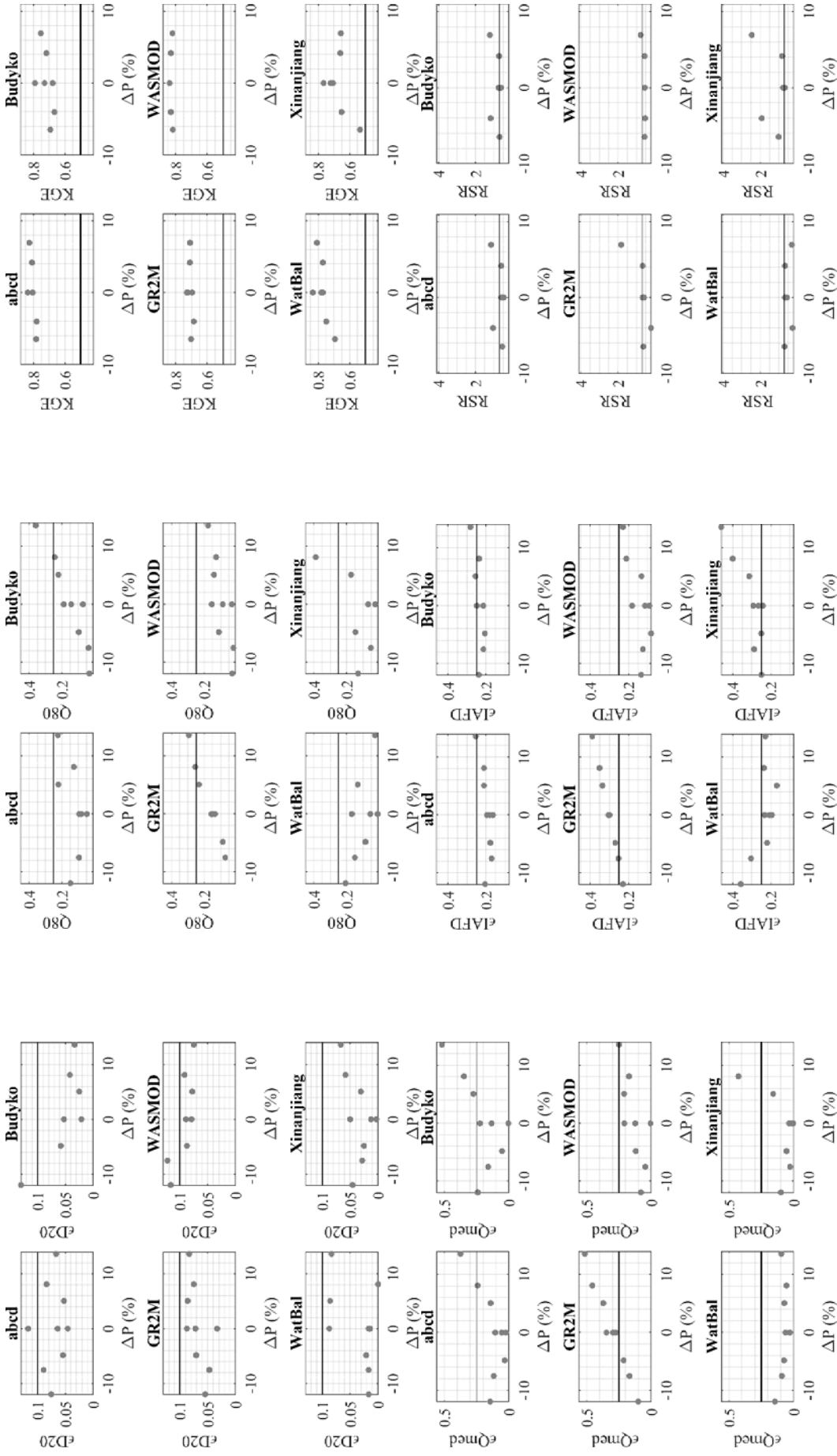
ПРИЛОГ V. Границе трансфербилности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)



Слика V-1. Зависност ефикасности модела од промене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Вимера у DSST протоколу.



Слика V-2. Зависност ефикасности модела од промене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Камп у DSSГ протоколу.



Слика V-3. Зависност ефикасности модела од промене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони на сливу ријеке Топлице у DSSГ протоколу.

ПРИЛОГ VI. Анализа осјетљивости параметара модела по Собољу

Метод анализе осјетљивости параметара по Собољу припада групи глобалних метода и базиран је на анализи варијансе резултата модела, разложене на релативни утицај индивидуалних параметара и интеракције међу параметрима (van Werkhoven et al., 2008). Осјетљивост параметара или интеракције параметара овдје представља њихов утицај на промјену варијансе резултата модела. Варијанса резултата модела је заправо варијанса ефикасности модела и у овој анализи је коришћена KGE док су резултати упоређени са истим добијеним са NSE и RMSE.

Декомпозиција варијансе по Собољу је представљена изразом (Homma and Saltelli, 1996; Saltelli et al., 2008; Tang et al., 2007; van Werkhoven et al., 2008):

$$D(f) = \sum_i D_i + \sum_{i < j} D_{ij} + \sum_{i < j < k} D_{ijk} + D_{12\dots p} \quad (1)$$

Гдје је f расподјела резултата модела, $D(f)$ укупна варијанса, D_i је варијанса услијед i -те компоненте улазног вектора параметара, D_{ij} је варијанса услијед интеракције параметара, D_{ijk} услијед интеракција трећег реда, $D_{12\dots p}$ услијед интеракција већих од трећег реда а p је укупан број параметара.

У овој анализи, од интереса су били само главни утицај појединог параметра на варијансу као и укупни услијед интеракције параметара. Ове вриједности су дефинисане формулама:

$$S_i = \frac{D_i}{D} \quad (2)$$

$$S_{Ti} = 1 - \frac{D_{\sim i}}{D} \quad (3)$$

Гдје су S_i и S_{Ti} осјетљивост услијед појединачног утицаја параметра и услијед комбинације (комбинације дефинисане једначином (1)) појединачног утицаја плус његова интеракција са другим параметрима. Интеракција параметра θ_i са осталим се мјери тако што се он уклони из анализе и резултујуће смањење варијансе резултата модела се приписује укупном утицају параметра θ_i . У једначини (3), $D_{\sim i}$ представља варијансу која резултира из утицаја свих параметара осим θ_i .

Чланови варијансе у једначини (1) се апроксимирају нумеричком интеграцијом у оквиру Монте-Карло симулација. Узорковање параметара је извршено методом LHS одакле су генерисане расподјеле резултата модела односно мјере ефикасности. Укупна варијанса D тада постаје статистичка варијанса излазних резултата:

$$\hat{f}_0 = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n f(\Theta_s) \quad (4)$$

$$\hat{D} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n f^2(\Theta_s) - \hat{f}_0^2 \quad (5)$$

Гдје је f резултат модела односно KGE вриједности за сваки вектор параметара Θ , а f_0 средња вриједност.

Прорачун појединих удијела у тоталној варијанси је нешто компликованији процес. Узоркују се двије матрице узорака са вриједностима параметара, исте величине и на исти начин, a и b . Први узорак се користи за прорачун укупне средње вриједности и варијансе (према једначинама (4) и (5)). Други узорак се користи за поновно узорковање сваког параметра, умјесто да његова вриједност буде фиксна, да би се срачунао удио укупне и индивидуалне варијансе. У овом поновном узорковању вектори параметара се

конструишу тако да су вриједности из оба узорка a и b у посебно дефинисаној комбинацији из чега се рачуна удио параметра.

Изрази за прорачун индивидуалног утицаја D_i и утицаја D_{-i} су дефинисани на сљедећи начин:

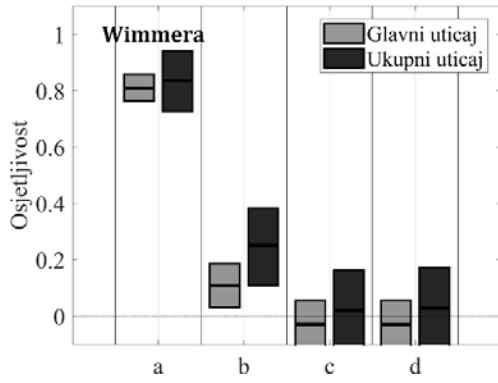
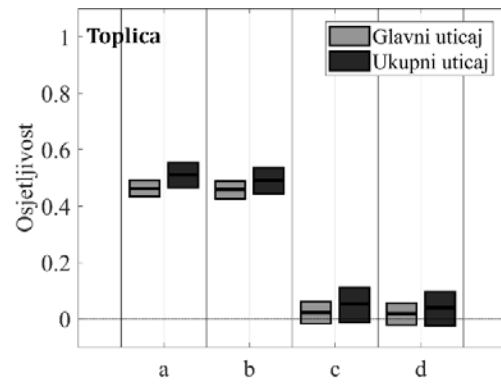
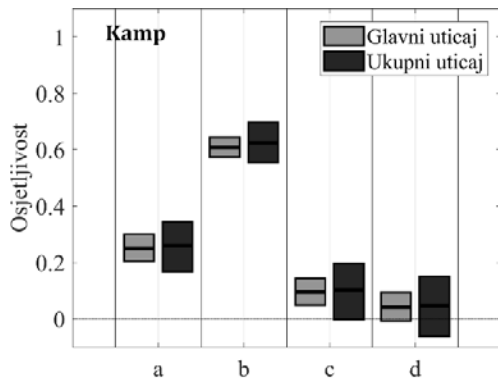
$$\hat{D}_i = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n f(\Theta_s^a) f(\Theta_{-i,s}^b, \Theta_{i,s}^a) - \hat{f}_0^2 \quad (6)$$

$$\hat{D}_{-i} = \frac{1}{n} \sum_{s=1}^n f(\Theta_s^a) f(\Theta_{-i,s}^a, \Theta_{i,s}^b) - \hat{f}_0^2 \quad (7)$$

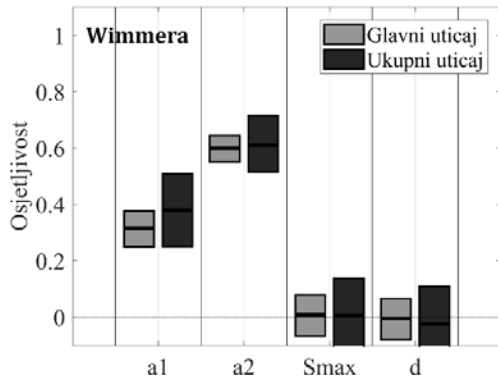
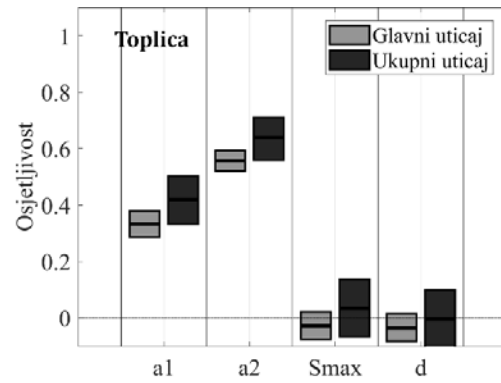
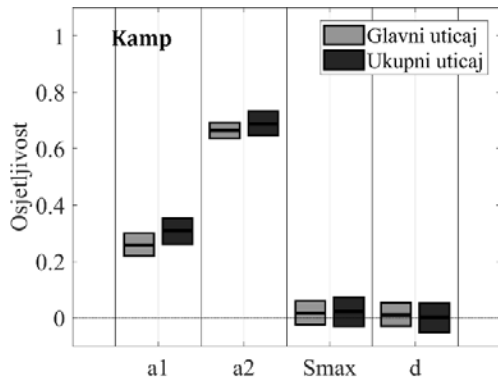
На овај начин, добијају се вриједности осјетљивости параметара као главни утицај (утицај појединачног параметра) и укупни утицај (комбиновани утицај главног и утицаја од интеракције са осталим параметрима). Ако је укупни утицај већи од главног то значи да варијанса потиче углавном од међусобне интеракције параметара.

Интервали повјерења осјетљивости параметара, прага значајности 0.05, добијене су добијене преко *bootstrap* методе односно, узорци генерисани са LHS су поново узорковани 500 пута. За сваки од тих под-узорака рачунају се поново вриједности S_i и S_{Ti} за сваки параметар и од њихових средњих вриједности (унутар 500 под-узорака) добија расподјела.

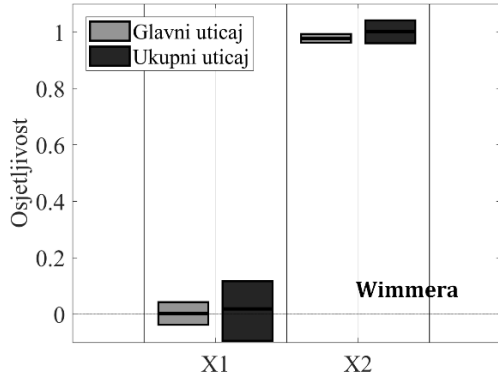
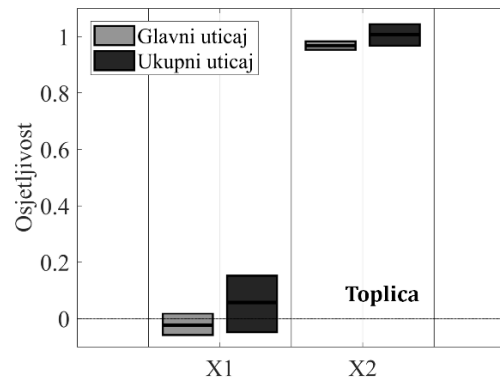
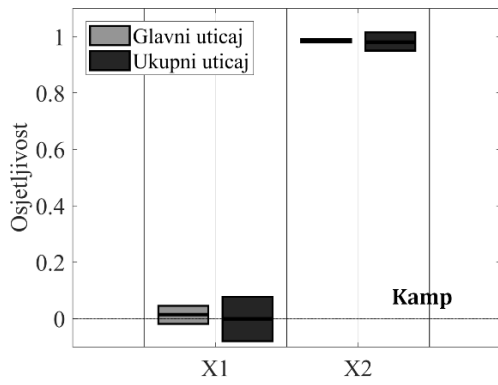
Детаљније о описаној методи се може наћи у Homma and Saltelli (1996), Tang *et al.* (2007), Saltelli *et al.* (2008, 2010), van Werkhoven *et al.* (2008) и тамо наведеним референцама.



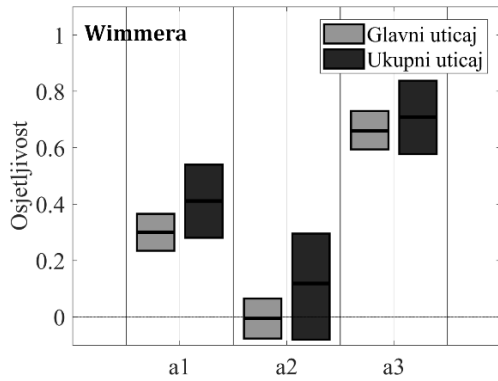
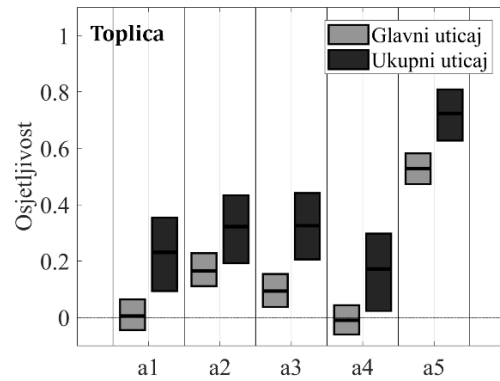
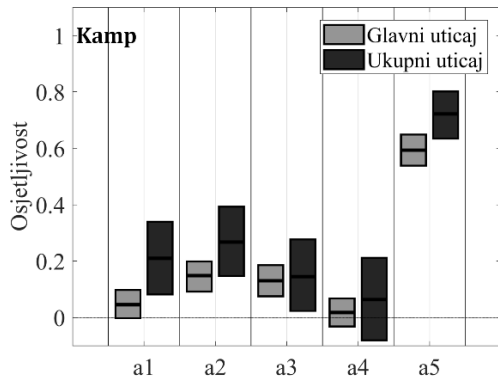
Слика VI-1. Осјетљивост параметара abcd модела.



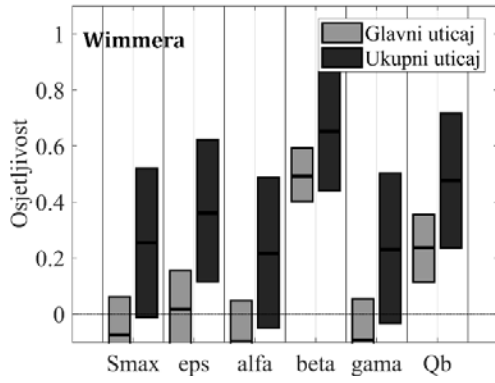
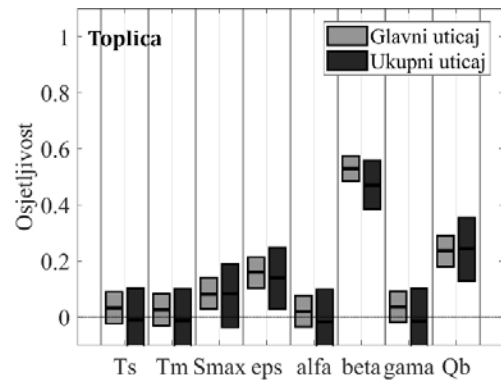
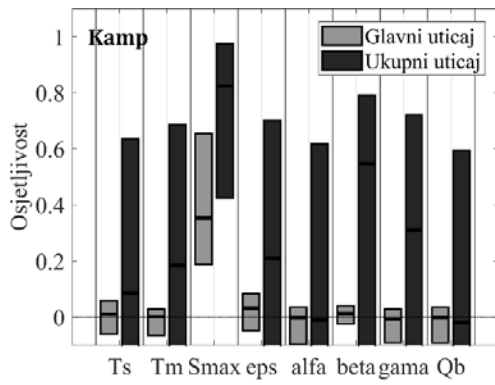
Слика VI-2. Осјетљивост параметара Budyko модела.



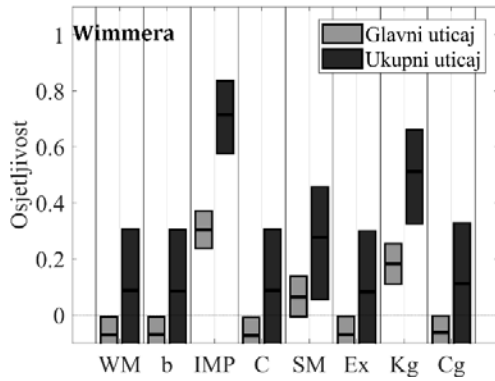
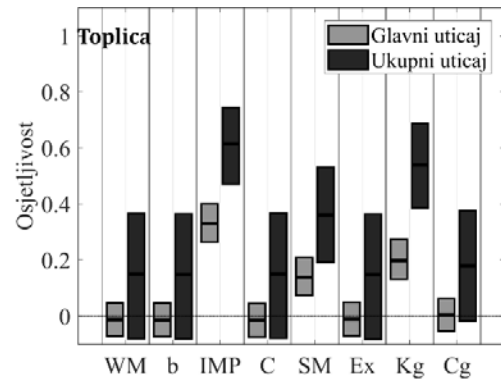
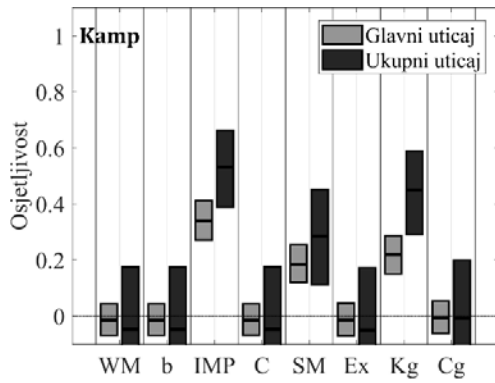
Слика VI-3. Осјетљивост параметара GR2M модела.



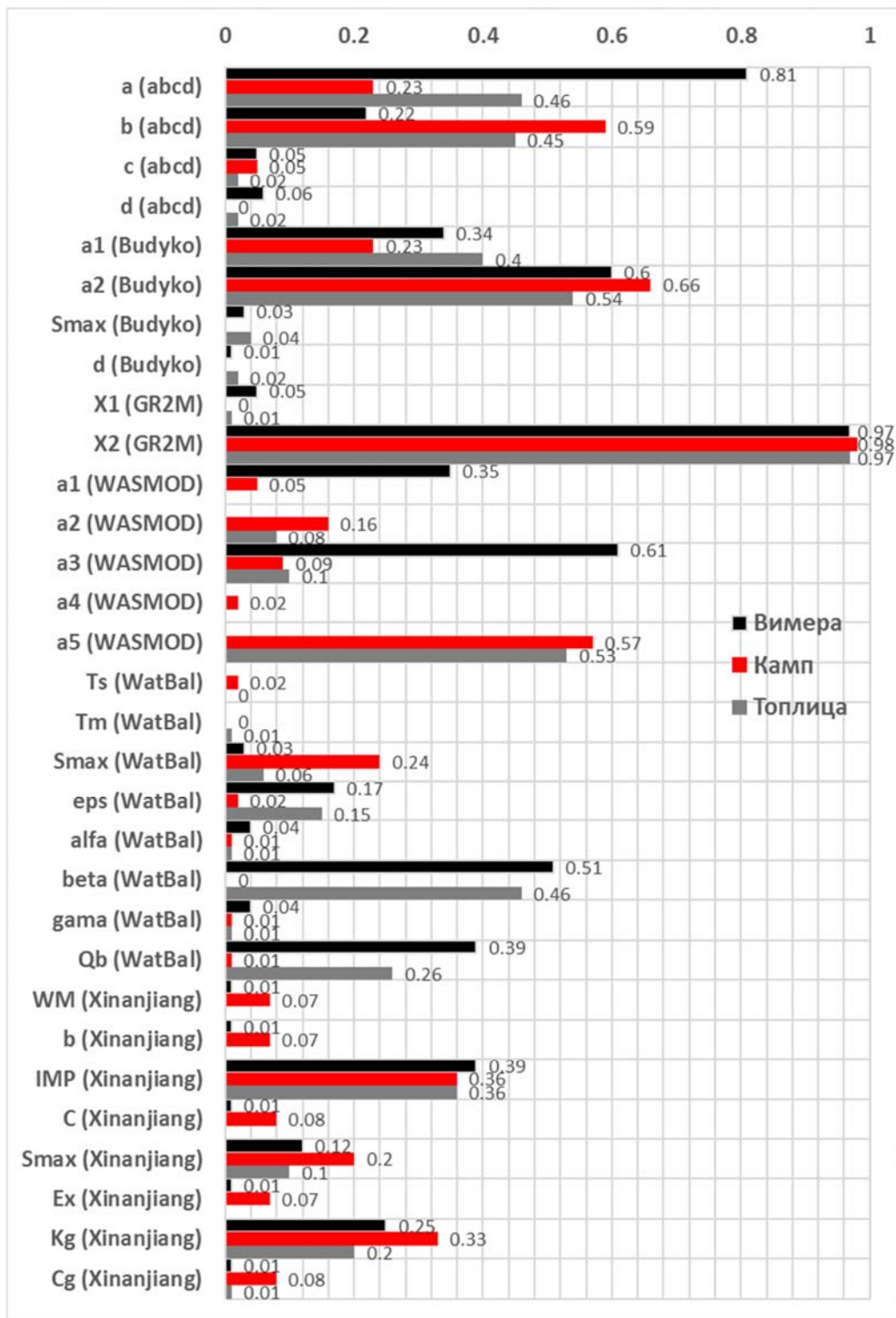
Слика VI-4. Осјетљивост параметара WASMOD модела.



Слика VI-5. Осјетљивост параметара WatBal модела.



Слика VI-6. Осјетљивост параметара Xinanjiang модела.

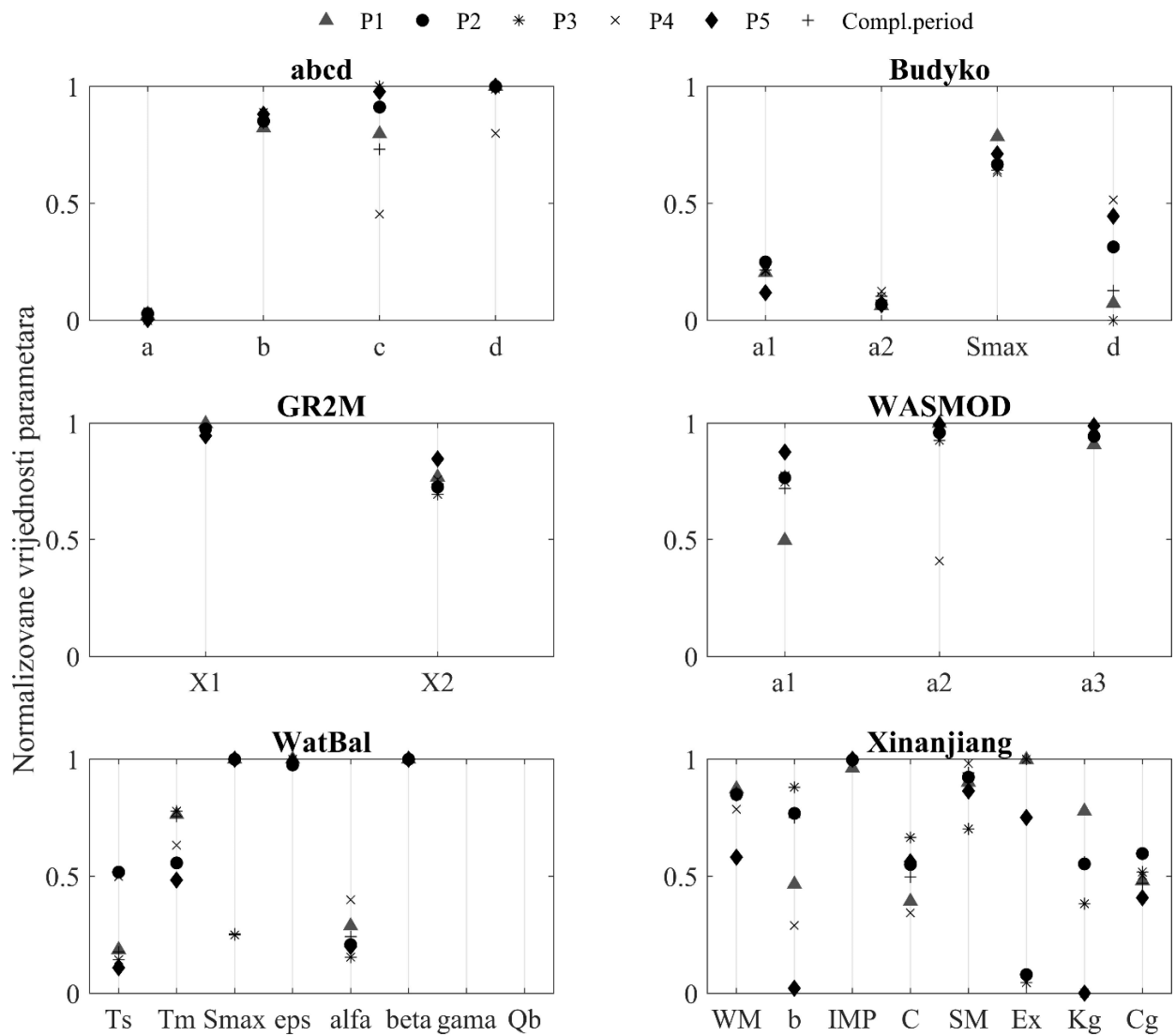


Слика VI-7. Појединачна осјетљивост параметара модела.

ПРИЛОГ VII. Конзистентност оцјена параметара модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

Табела VII-1. Вриједности IC статистике за параметре модела добијене калибрацијом на Вимера сливу и Тиреловом протоколу.

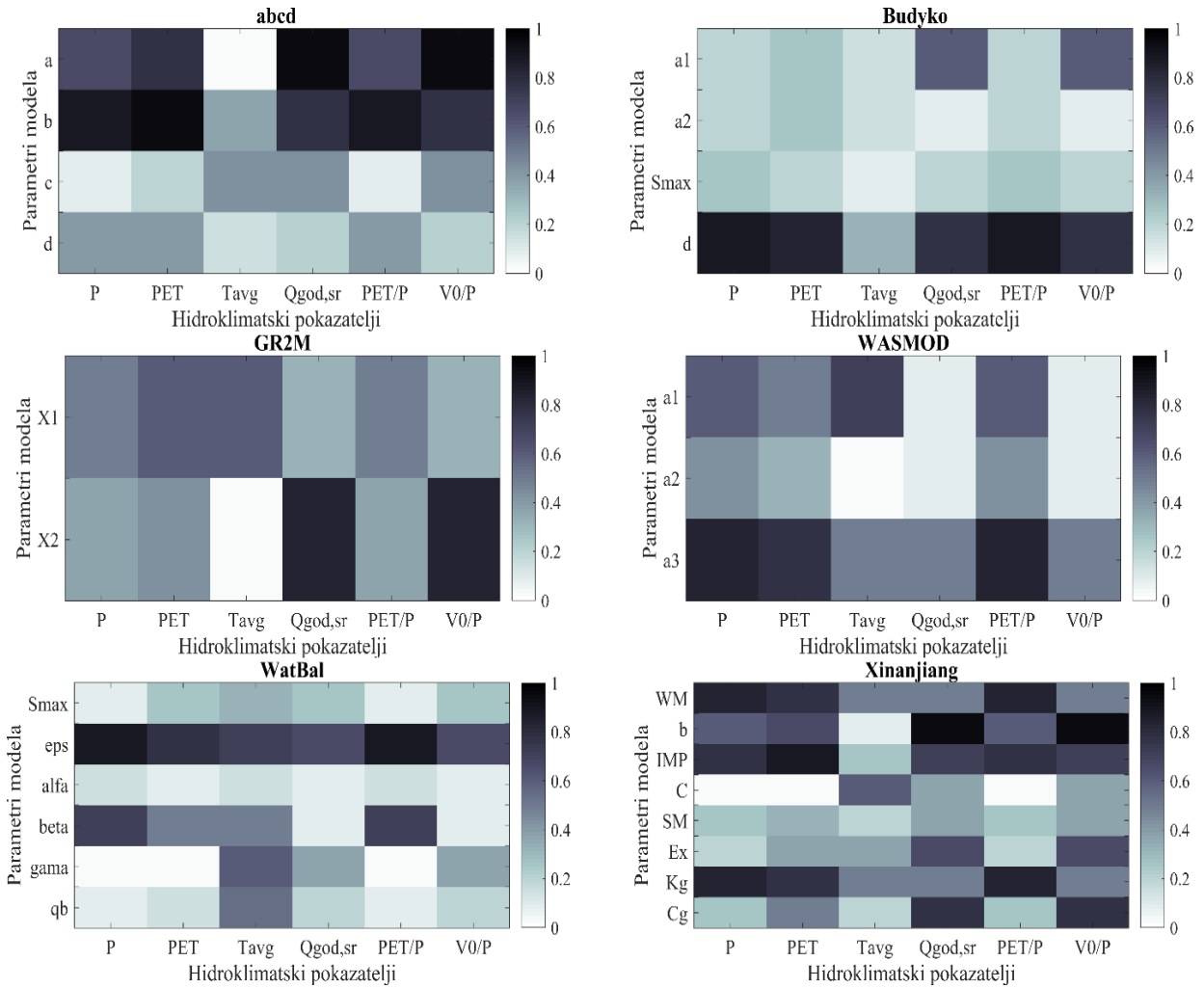
Модел	Параметар	IC	Ср. вриједност IC	Модел	Парам.	IC	Ср. вриједност IC	
abcd	a	0.963	0.787	WatBal	Smax	0.591	0.713	
	b	0.934			eps	0.706		
	c	0.454			alfa	0.250		
	d	0.799			beta	0.976		
Budyko	a1	0.869	0.785		gama	0.754		
	a2	0.939			Qb	1.000		
	Smax	0.846			WM	0.708		0.536
	d	0.485			b	0.142		
GR2M	X1	0.949	0.898	Xinanjiang	IMP	0.962		
	X2	0.848			C	0.677		
WASMOD	a1	0.619	0.648		SM	0.721		
	a2	0.407			Ex	0.046		
	a3	0.919			Kg	0.222		
					Cg	0.811		



Слика VII-1. Нормализоване вриједности параметара модела у различитим калибрационим периодима на сливу Вимере у Тиреловом протоколу.

Табела VII-2. Вриједности Спирманових коефицијената корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Вимера и Тиреловом протоколу. Сиве ћелије су значајне корелације.

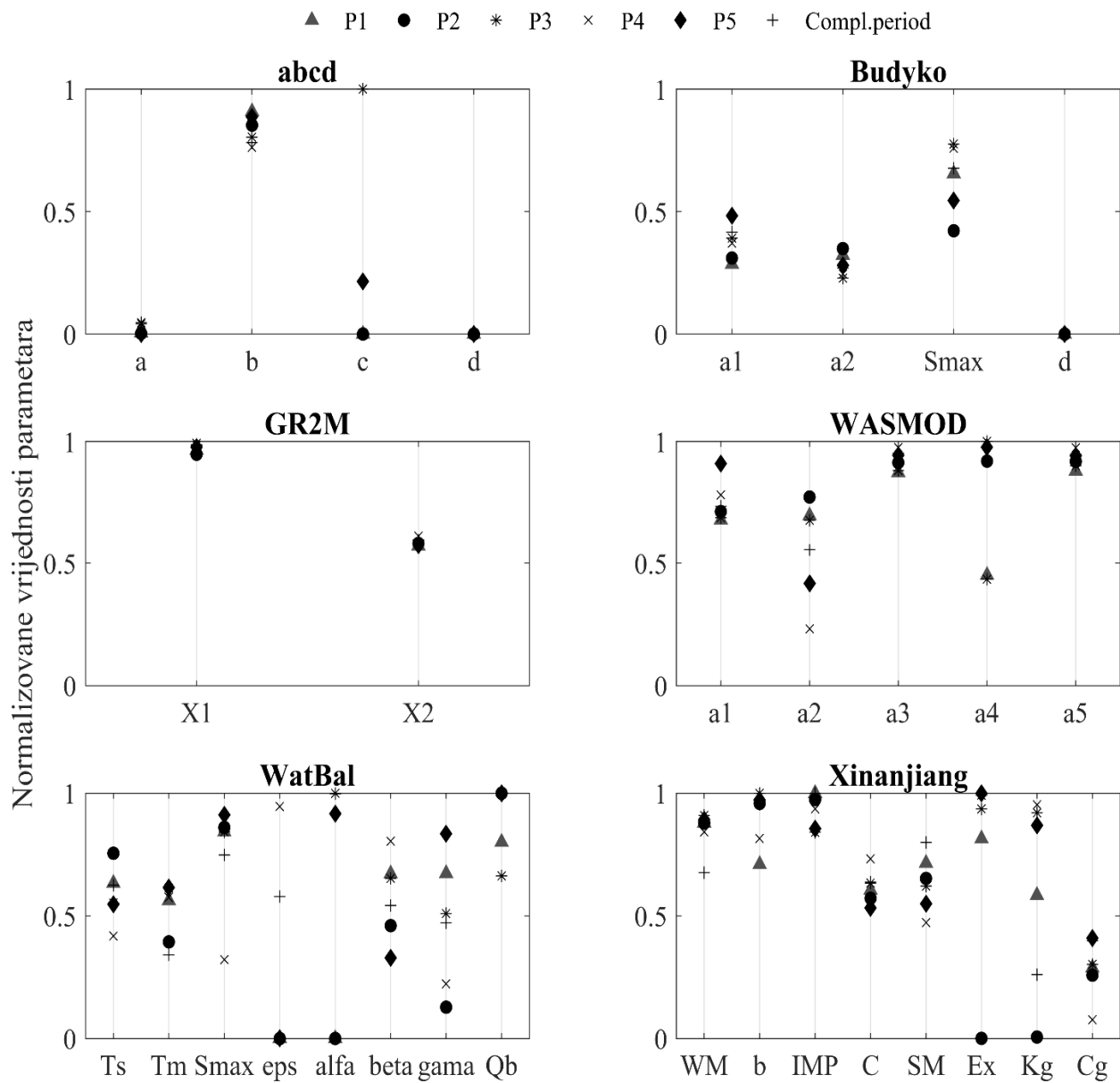
Параметри	P	PET	Tsr	Qgod,sr	AR	V0/P
abcd						
a	0.66	-0.77	-0.03	0.94	-0.66	0.94
b	-0.89	0.94	0.37	-0.77	0.89	-0.77
c	0.09	-0.20	0.43	0.43	-0.09	0.43
d	0.395	-0.395	0.152	0.213	-0.395	0.212512
Budyko						
a	0.20	-0.26	0.14	0.60	-0.20	0.60
b	-0.20	0.26	-0.14	0.09	0.20	0.09
Smax	0.26	-0.20	0.09	-0.20	-0.26	-0.20
d	-0.886	0.829	0.314	-0.771	0.886	-0.771
GR2M						
X1	0.49	-0.60	-0.60	0.31	-0.49	0.31
X2	-0.37	0.43	0.03	-0.83	0.37	-0.83
WASMOD						
a1	-0.60	0.49	0.71	-0.09	0.60	-0.09
a2	0.43	-0.31	-0.03	-0.09	-0.43	-0.09
a3	-0.83	0.77	0.49	-0.49	0.83	-0.49
WatBal						
Smax	0.09	-0.26	-0.31	0.26	-0.09	0.26
eps	0.89	-0.77	-0.71	0.66	-0.89	0.66
alfa	-0.14	-0.09	0.14	-0.09	0.14	-0.09
beta	0.71	-0.49	-0.49	0.09	-0.71	0.09
gama	0.03	0.03	-0.60	-0.37	-0.03	-0.37
Qb	-0.09	-0.14	0.54	0.20	0.09	0.20
Xinanjiang						
WM	0.83	-0.77	-0.49	0.49	-0.83	0.49
b	0.60	-0.66	-0.09	0.94	-0.60	0.94
IMP	-0.77	0.89	0.26	-0.71	0.77	-0.71
C	-0.03	-0.03	0.60	0.37	0.03	0.37
SM	-0.26	0.31	-0.20	-0.37	0.26	-0.37
Ex	-0.20	0.37	-0.37	-0.66	0.20	-0.66
Kg	0.83	-0.77	-0.49	0.49	-0.83	0.49
Cg	0.26	-0.49	-0.20	0.77	-0.26	0.77



Слика VII-2. Дијаграм апсолутних вриједности Спирмановог коефицијента корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Вимера и Тиреловом протоку.

Табела VII-3. Вриједности IC статистике за параметре модела добијене калибрацијом на сливу Камп и Тиреловом протоколу.

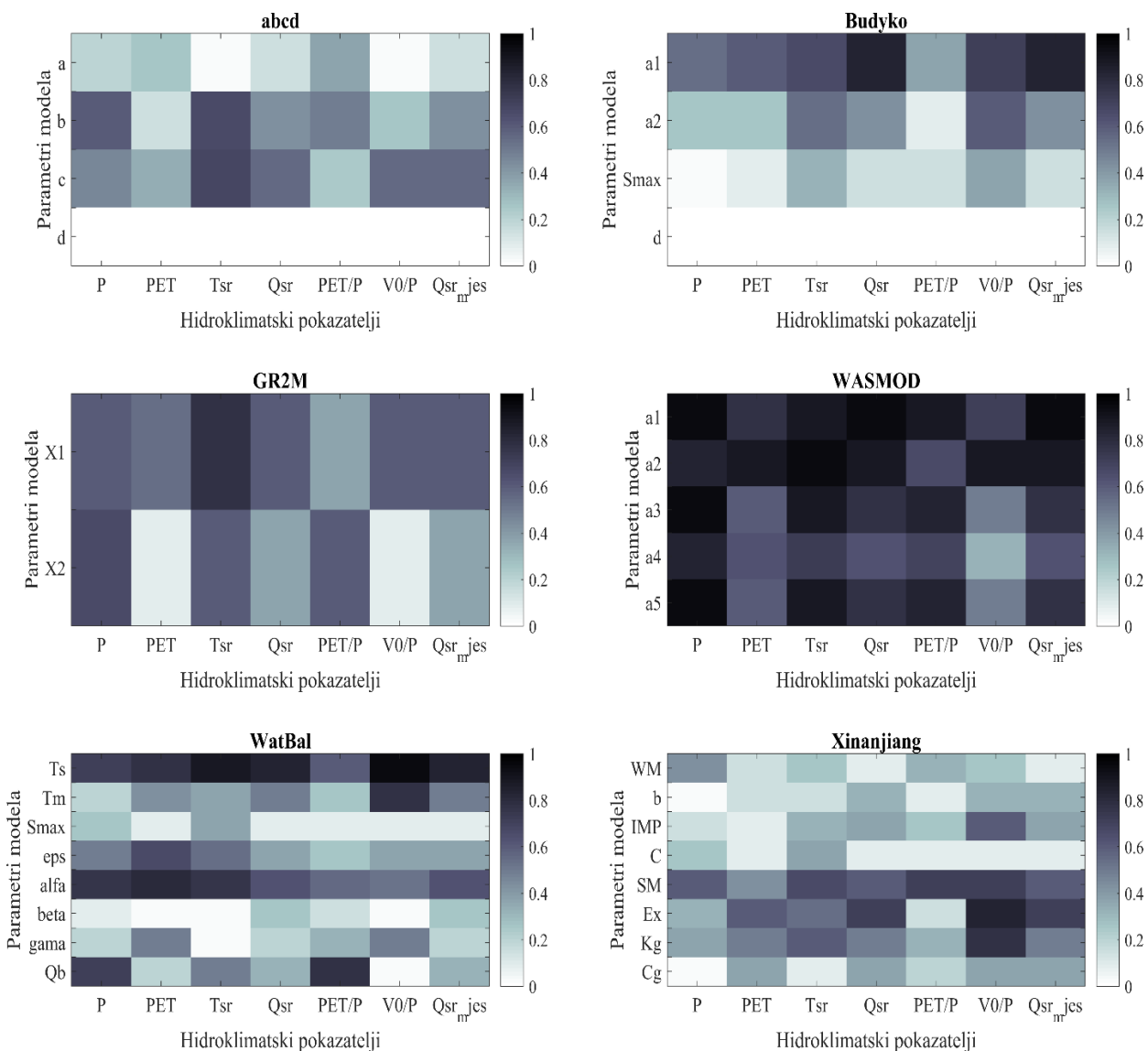
Модел	Параметар	IC	Ср. вриједност IC	Модел	Параметар	IC	Ср. вриједност IC
abcd	a	0.954	0.702	WatBal	Ts	0.662	0.417
	b	0.854			Tm	0.726	
	c	0.000			Smax	0.410	
	d	1.000			eps	0.054	
Budyko	a1	0.802	0.832		alfa	0.000	
	a2	0.879			beta	0.525	
	Smax	0.646			gama	0.292	
	d	1.000			Qb	0.663	
GR2M	X1	0.956	0.956		WM	0.767	
	X2	0.956			b	0.711	
WASMOD	a1	0.770	0.693	Xinanjiang	IMP	0.842	0.564
	a2	0.459			C	0.800	
	a3	0.898			SM	0.674	
	a4	0.435			Ex	0.001	
	a5	0.905			Kg	0.052	
					Cg	0.667	



Слика VII-3. Нормализоване вриједности параметара модела у различитим калибрационим периодима на сливу Камп у Тиреловом протоколу.

Табела VII-4. Вриједности Спирманових коефицијената корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Камп и Тиреловом протоколу. Сиве ћелије су значајне корелације.

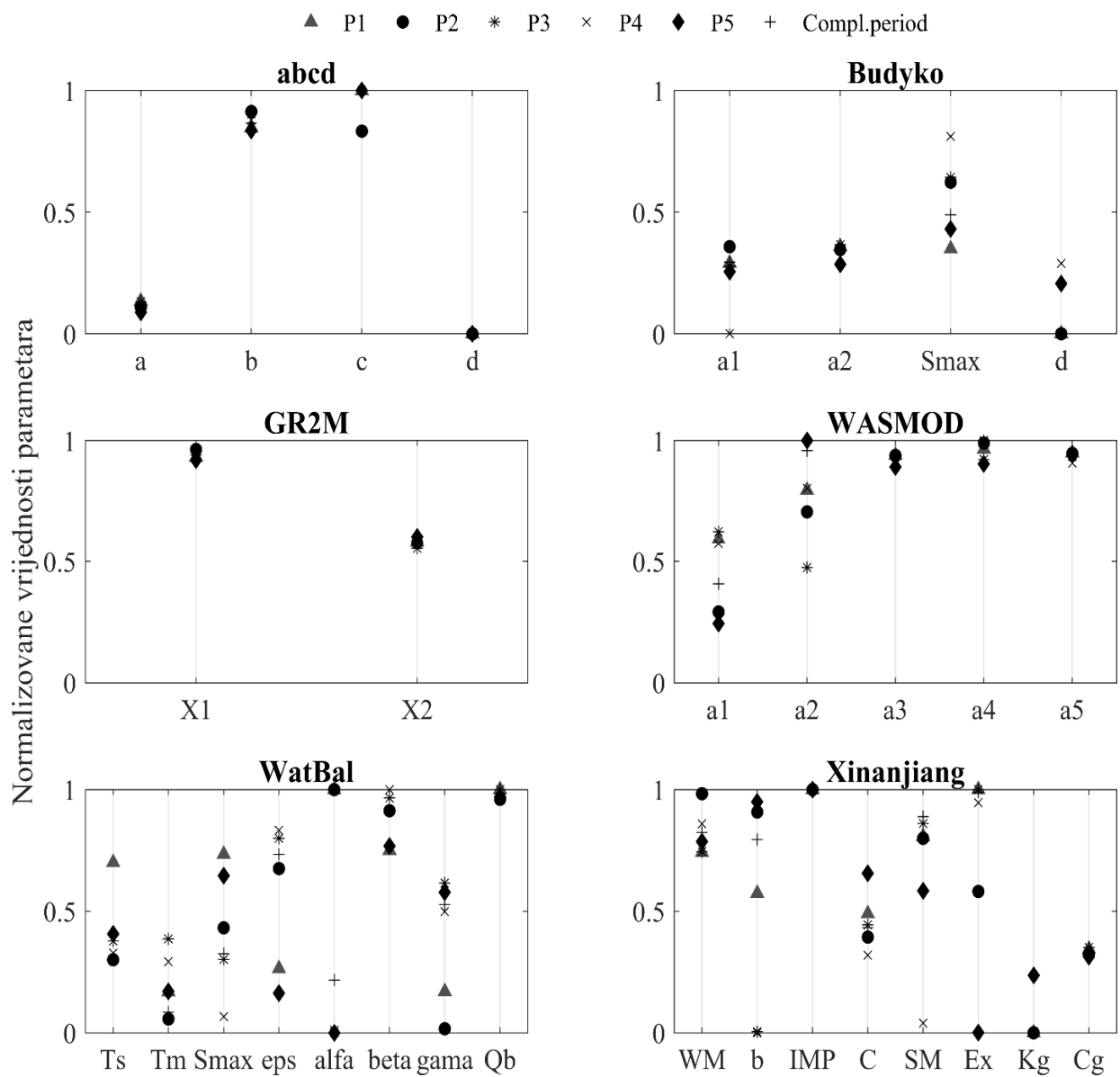
Параметри	P	PET	Tavg	Qavg	AR	V0/P	Qsr,mjes
abcd							
a	-0.20	-0.26	0.03	-0.14	0.37	-0.03	-0.14
b	-0.60	-0.14	-0.66	-0.43	0.49	-0.26	-0.43
c	0.46	0.34	0.68	0.56	-0.25	0.56	0.56
d	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
Budyko							
a	0.54	0.60	0.66	0.83	-0.37	0.71	0.83
b	-0.26	-0.26	-0.54	-0.43	0.09	-0.60	-0.43
Smax	0.03	0.09	0.31	0.14	0.14	0.37	0.14
d	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
GR2M							
X1	0.60	0.54	0.77	0.60	-0.37	0.60	0.60
X2	0.66	0.09	0.60	0.37	-0.60	0.09	0.37
WASMOD							
a1	0.94	0.77	0.89	0.94	-0.89	0.71	0.94
a2	-0.83	-0.89	-0.94	-0.89	0.66	-0.89	-0.89
a3	0.94	0.60	0.89	0.77	-0.83	0.49	0.77
a4	0.84	0.64	0.72	0.64	-0.70	0.32	0.64
a5	0.94	0.60	0.89	0.77	-0.83	0.49	0.77
WatBal							
Ts	-0.71	-0.77	-0.89	-0.83	0.60	-0.94	-0.83
Tm	0.20	0.43	0.37	0.49	-0.26	0.77	0.49
Smax	-0.26	-0.09	-0.37	-0.09	0.09	-0.09	-0.09
eps	0.49	0.66	0.54	0.37	-0.26	0.37	0.37
alfa	0.75	0.81	0.75	0.64	-0.55	0.52	0.64
beta	-0.09	-0.03	0.03	-0.26	0.14	-0.03	-0.26
gama	-0.20	0.49	-0.03	0.20	0.31	0.49	0.20
Qb	0.71	0.20	0.49	0.31	-0.77	-0.03	0.31
Xinanjiang							
WM	-0.43	-0.14	-0.26	-0.09	0.31	0.26	-0.09
b	0.03	-0.14	0.14	0.31	-0.09	0.31	0.31
IMP	-0.14	-0.09	-0.31	-0.37	0.26	-0.60	-0.37
C	0.26	0.09	0.37	0.09	-0.09	0.09	0.09
SM	-0.60	-0.43	-0.66	-0.60	0.71	-0.71	-0.60
Ex	0.31	0.60	0.54	0.71	-0.14	0.83	0.71
Kg	0.37	0.49	0.60	0.49	-0.31	0.77	0.49
Cg	-0.03	0.37	0.09	0.37	0.20	0.37	0.37



Слика VII-4. Дијаграм апсолутних вриједности Спирмановог коефицијента корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Камп и Тиреловом протоколу.

Табела VII-5. Вриједности IC статистике за параметре модела добијене калибрацијом на сливу Топлица и Тиреловом протоколу.

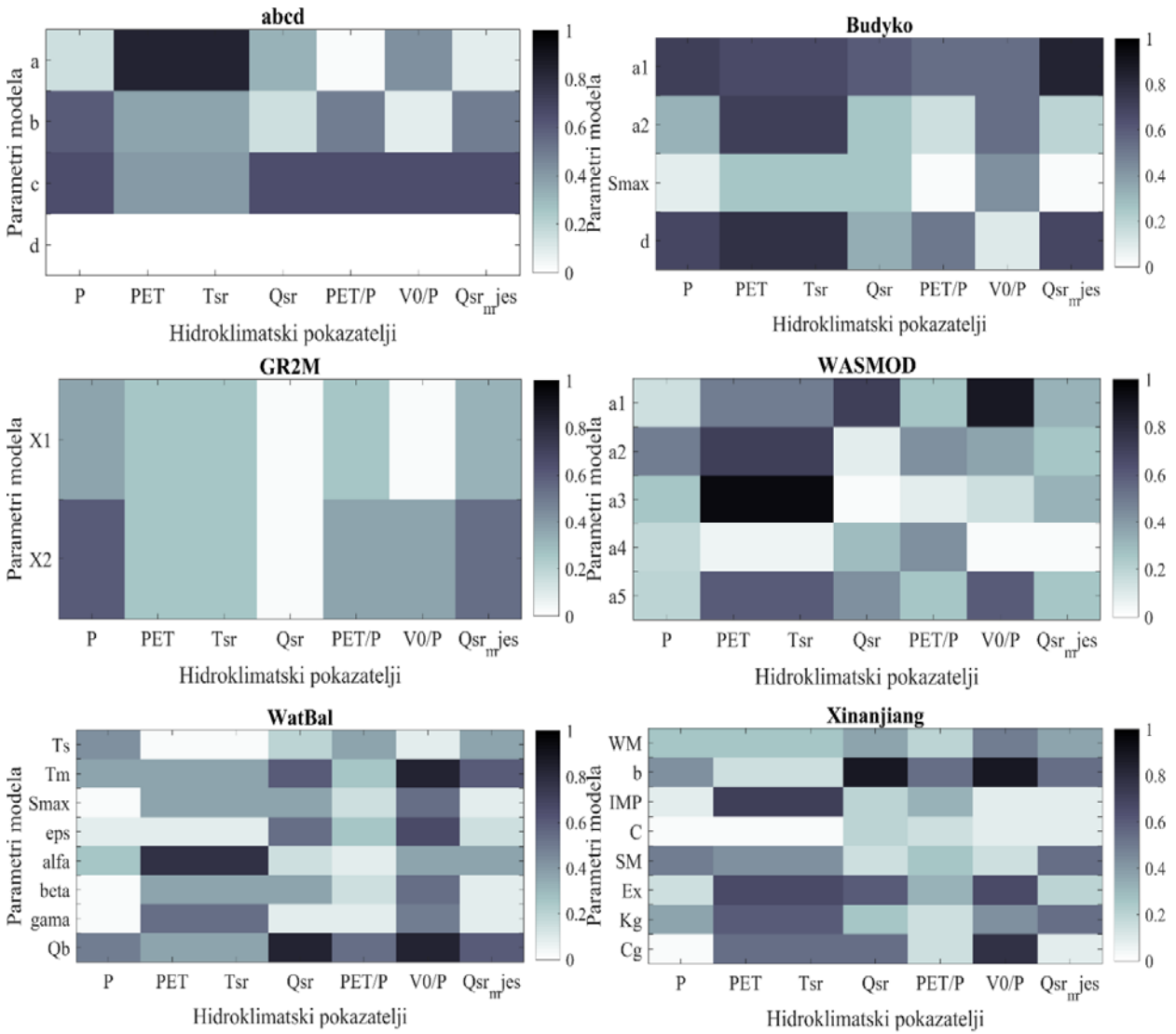
Модел	Параметар	IC	Ср. вриједност IC	Модел	Параметар	IC	Ср. вриједност IC
abcd	a	0.953	0.927	WatBal	Ts	0.600	0.506
	b	0.922			Tm	0.671	
	c	0.833			Smax	0.332	
	d	1.000			eps	0.330	
Budyko	a1	0.642	0.702		alfa	0.000	
	a2	0.920			beta	0.750	
	Smax	0.537			gama	0.401	
	d	0.710			Qb	0.960	
GR2M	X1	0.956	0.954		WM	0.759	
	X2	0.951			b	0.051	
WASMOD	a1	0.620	0.782	Xinanjiang	IMP	1.000	0.544
	a2	0.475			C	0.664	
	a3	0.951			SM	0.151	
	a4	0.904			Ex	0.000	
	a5	0.957			Kg	0.763	
					Cg	0.962	



Слика VII-5. Нормализоване вриједности параметара модела у различитим калибрационим периодима на сливу Топлица у Тиреловом протоколу.

Табела VII-6. Вриједности Спирманових коефицијената корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Топлице и Тиреловом протоколу. Сиве ћелије су значајне корелације.

Параметри	P	PET	Tavg	Qavg	AR	V0/P	Qsr,mjes
abcd model							
a	-0.14	-0.83	-0.83	0.31	-0.03	0.43	-0.09
b	-0.60	-0.37	-0.37	-0.14	0.49	0.09	-0.49
c	0.65	0.39	0.39	0.65	-0.65	0.65	0.65
d	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN	NaN
Budyko model							
a	-0.71	-0.66	-0.66	-0.60	0.54	-0.54	-0.83
b	-0.31	-0.71	-0.71	0.26	0.14	0.54	-0.20
Smax	-0.09	0.26	0.26	0.26	0.03	0.43	0.03
d	0.676	0.778	0.778	0.338	-0.507	0.10142	0.67612
GR2M model							
X1	-0.37	-0.26	-0.26	-0.03	0.26	0.03	-0.31
X2	0.60	0.26	0.26	0.03	-0.37	-0.37	0.54
WASMOD							
a1	0.14	-0.49	-0.49	0.71	-0.26	0.89	0.31
a2	0.49	0.71	0.71	-0.09	-0.43	-0.37	0.26
a3	-0.26	-0.94	-0.94	-0.03	0.09	-0.14	-0.31
a4	0.17	-0.06	-0.06	0.29	-0.43	0.03	-0.03
a5	-0.20	-0.60	-0.60	-0.43	0.26	-0.60	-0.26
WatBal							
Ts	0.43	-0.03	-0.03	0.20	-0.37	0.09	0.37
Tm	0.37	0.37	0.37	0.60	-0.26	0.83	0.60
Smax	-0.03	-0.37	-0.37	-0.37	0.14	-0.54	-0.09
eps	0.09	0.09	0.09	0.54	-0.26	0.66	0.14
alfa	-0.26	-0.77	-0.77	-0.14	0.09	-0.37	-0.37
beta	0.03	0.37	0.37	0.37	-0.14	0.54	0.09
gama	-0.03	0.54	0.54	0.09	0.09	0.49	0.09
Qb	0.49	-0.37	-0.37	0.83	-0.54	0.83	0.60
Xinanjang							
WM	-0.26	0.26	0.26	-0.37	0.20	-0.49	-0.37
b	-0.43	0.14	0.14	-0.89	0.54	-0.89	-0.54
IMP	0.09	-0.71	-0.71	0.20	-0.31	-0.09	-0.09
C	0.03	0.03	0.03	-0.20	0.14	-0.09	0.09
SM	-0.49	-0.43	-0.43	-0.14	0.26	0.14	-0.54
Ex	0.14	-0.66	-0.66	0.60	-0.31	0.66	0.20
Kg	0.37	0.60	0.60	0.26	-0.14	0.43	0.54
Cg	-0.03	-0.54	-0.54	0.54	-0.14	0.77	0.09

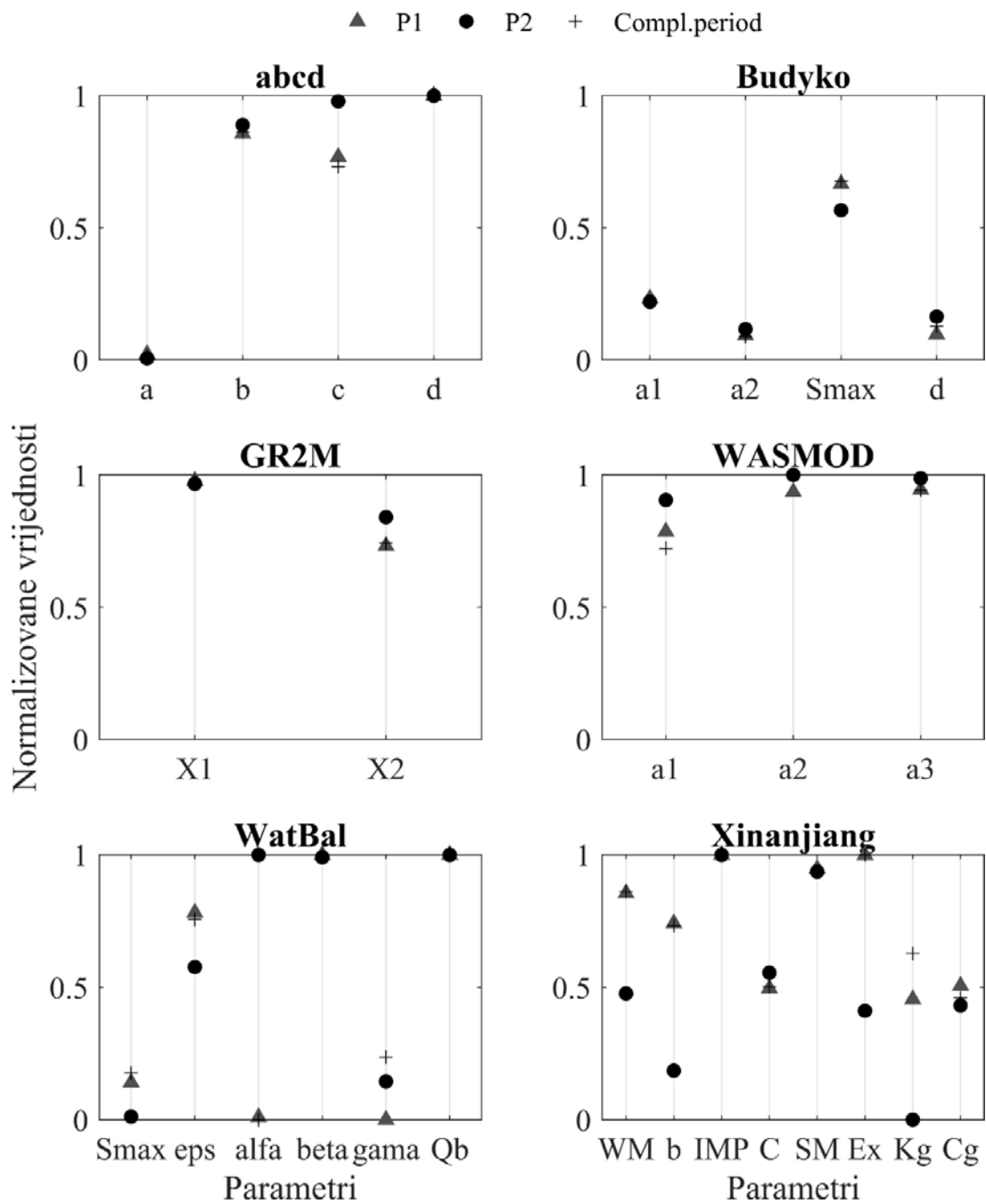


Слика VII-6. Дијаграм апсолутних вриједности Спирмановог коефицијента корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима на сливу Топлица и Тиреловом протоколу.

ПРИЛОГ VIII. Конзистентност оцјена параметара модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

Табела VIII-1. Вриједности IC статистике за параметре модела добијене калибрацијом на Вимера сливу и према DSST протоколу.

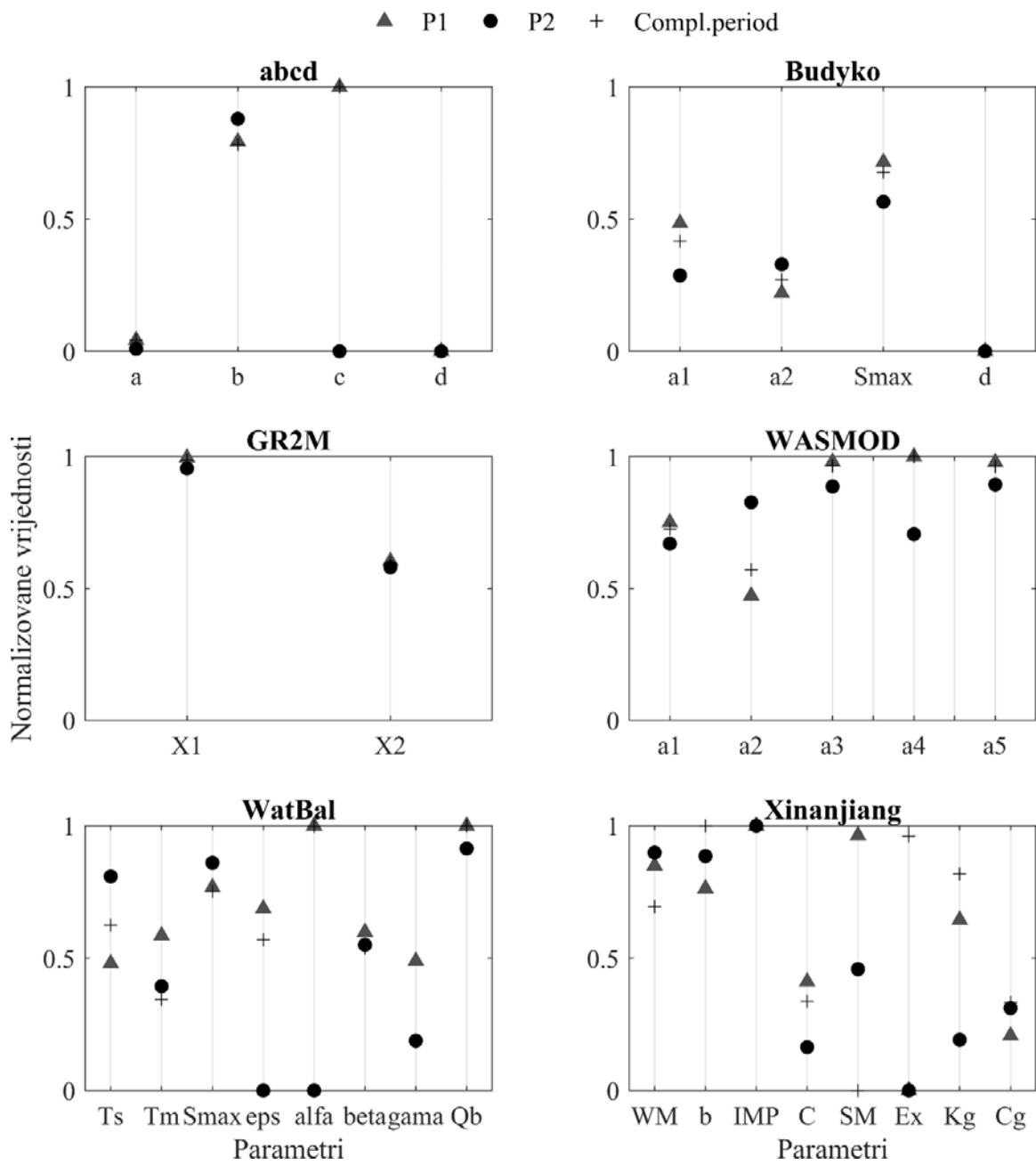
Модел	Параметар	IC вриједност	Средња вр. IC	Модел	Параметар	IC вриједност	Средња вр. IC
abcd	a	0.984	0.926	WatBal	Smax	0.836	0.731
	b	0.968			eps	0.795	
	c	0.752			alfa	0.000	
	d	1.000			beta	0.991	
Budyko	a1	0.985	0.944		gama	0.765	
	a2	0.971			Qb	1.000	
	Smax	0.889		WM	0.616		
	d	0.933		b	0.444		
GR2M	X1	0.989	0.941	Xinanjiang	IMP	1.000	0.712
	X2	0.892			C	0.941	
WASMOD	a1	0.817	0.902		SM	0.988	
	a2	0.936			Ex	0.412	
	a3	0.954			Kg	0.373	
					Cg	0.926	



Слика VIII-1. Нормализоване вриједности параметара модела на сливу Вимере при DSST протоколу.

Табела VIII-2. Вриједности IC статистике за параметре модела добијене калибрацијом на сливу Камп и према DSST протоколу.

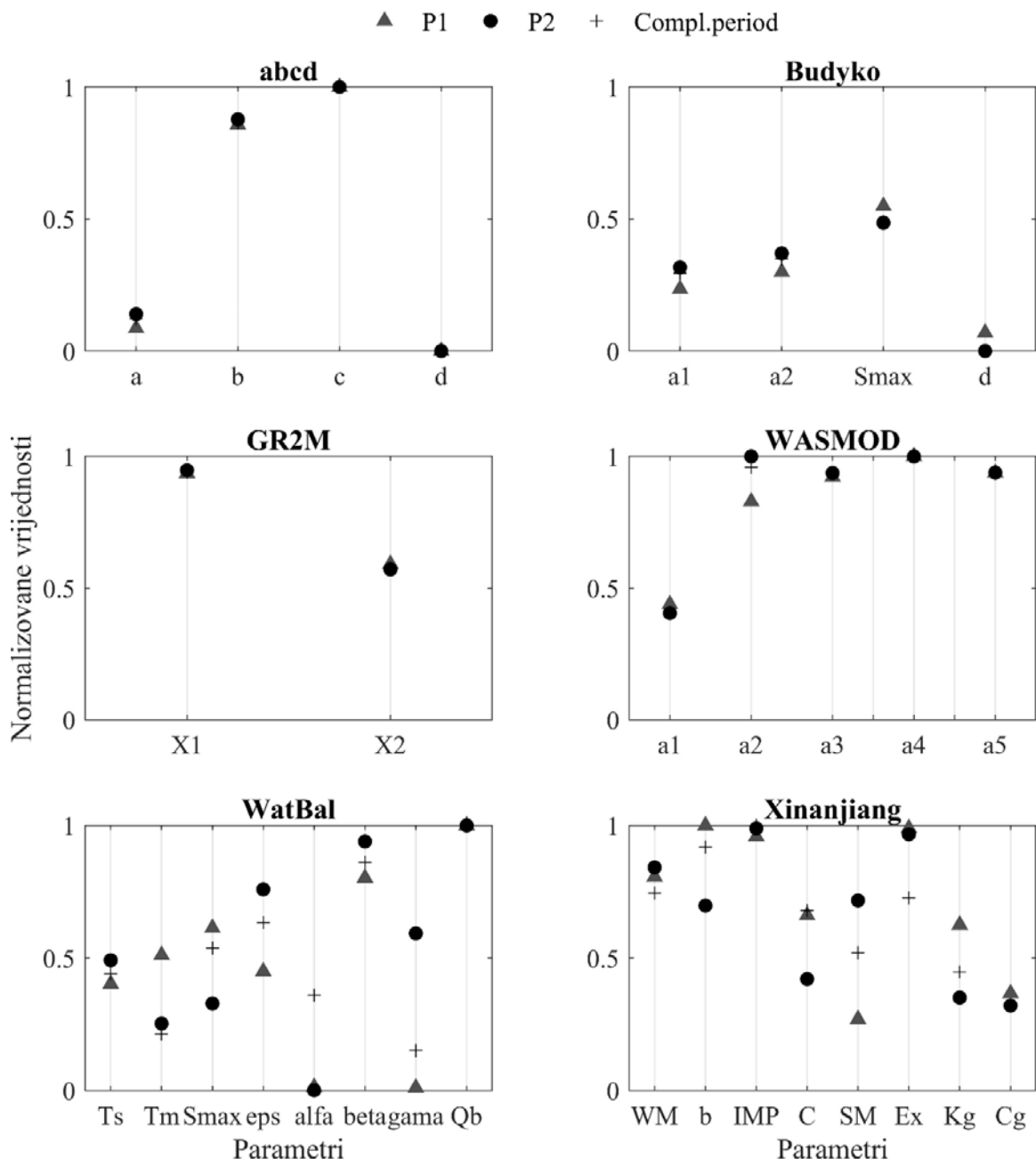
Модел	Параметар	IC	Средња вр. IC	Модел	Параметар	IC	Средња вр. IC
abcd	a	0.967	0.717	WatBal	Ts	0.672	0.648
	b	0.903			Tm	0.759	
	c	0.000			Smax	0.891	
	d	1.000			eps	0.312	
Budyko	a1	0.802	0.886		alfa	0.000	
	a2	0.891			beta	0.940	
	Smax	0.850			gama	0.693	
	d	1.000			Qb	0.914	
GR2M	X1	0.959	0.968		WM	0.795	
	X2	0.976			b	0.763	
WASMOD	a1	0.920	0.819	Xinanjiang	IMP	1.000	0.579
	a2	0.645			C	0.753	
	a3	0.907			SM	0.036	
	a4	0.706			Ex	0.038	
	a5	0.915			Kg	0.374	
					Cg	0.874	



Слика VIII-2. Нормализоване вриједности параметара модела на сливу Камп при DSST протоколу.

Табела VIII-3. Вриједности IC статистике за параметре модела добијене калибрацијом на сливу Топлице и према DSST протоколу.

Модел	Параметар	IC	Средња вр. IC	Модел	Параметар	IC	Средња вр. IC
abcd	a	0.946	0.982	WatBal	Ts	0.911	0.742
	b	0.980			Tm	0.702	
	c	1.000			Smax	0.715	
	d	1.000			eps	0.690	
Budyko	a1	0.918	0.929		alfa	0.641	
	a2	0.929			beta	0.863	
	Smax	0.937			gama	0.418	
	d	0.931			Qb	1.000	
GR2M	X1	0.988	0.984		WM	0.903	
	X2	0.979			b	0.698	
WASMOD	a1	0.967	0.956	Xinanjiang	IMP	0.958	0.783
	a2	0.829			C	0.741	
	a3	0.985			SM	0.552	
	a4	1.000			Ex	0.737	
	a5	0.998			Kg	0.725	
					Cg	0.952	



Слика VIII-3. Нормализоване вриједности параметара модела на сливу Топлице при DSST протоколу.

ПРИЛОГ IX. Конзистентности компоненти водног биланса у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)

Табела IX-1. Релативни опсег симулираних компоненти водног биланса SRrel и средње вриједности RMAD за слив Вимере и Тирелов протокол. Сиви редови су најбољи резултати (највећа конзистентност).

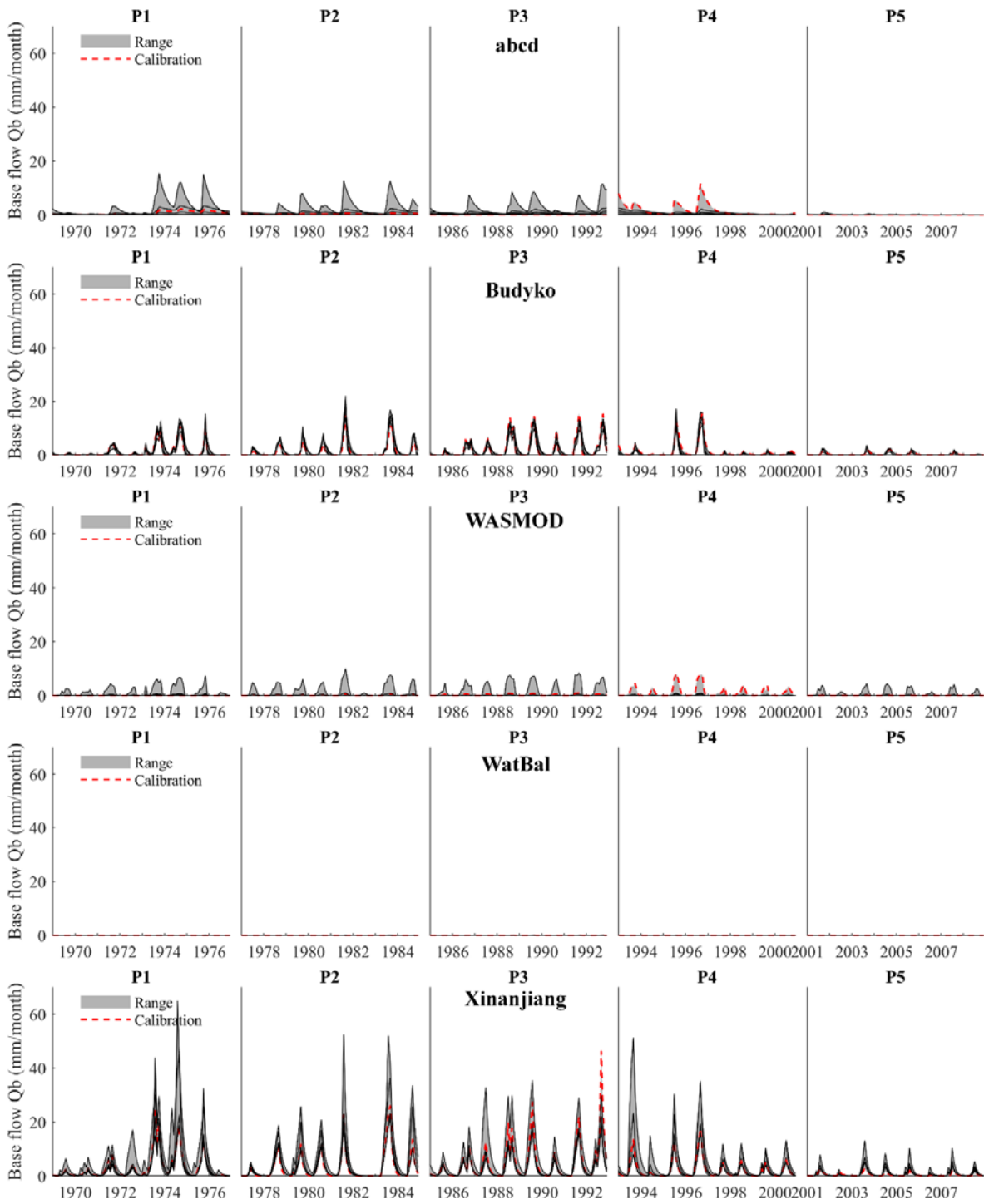
Модел	SRrel						RMADsr
	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
Евапотранспирација ET							
<i>abcd</i>	0.15	0.21	0.22	0.18	0.20	0.21	0.16
Budyko	0.05	0.06	0.07	0.06	0.04	0.07	0.05
GR2M	0.22	0.39	0.35	0.39	0.35	0.38	0.28
WASMOD	0.24	0.30	0.27	0.32	0.10	0.29	0.18
WatBal	0.54	0.31	0.57	0.42	0.64	0.54	0.40
Xinanjiang	0.87	1.13	0.93	0.74	1.22	1.05	0.76
Запремина воде у тлу S							
<i>abcd</i>	0.60	0.84	0.86	0.92	0.95	0.92	0.71
Budyko	0.09	0.15	0.16	0.12	0.08	0.14	0.11
GR2M	1.22	1.14	0.89	1.18	0.80	1.19	0.92
WASMOD	0.96	0.83	0.77	0.79	0.20	0.83	0.50
WatBal	0.45	0.27	0.43	0.33	0.28	0.83	0.29
Xinanjiang	3.14	1.16	1.03	1.38	0.47	1.55	0.96
Запремина подземних вода G							
<i>abcd</i>	2.20	7.85	77.30	1.60	13.25	1.08	19.07
Budyko	0.75	0.70	0.84	0.20	0.61	0.66	0.69
GR2M	0.79	0.68	0.70	0.82	0.55	0.77	0.67
Groundwater recharge R							
<i>abcd</i>	1.29	2.87	34.60	0.13	9.10	0.78	9.99
Budyko	0.32	0.26	0.32	0.12	0.36	0.27	0.30
Xinanjiang	1.02	0.74	0.48	0.97	0.80	0.75	1.10
Базни отицај Qb							
<i>abcd</i>	5.07	18.16	165.28	0.43	15.66	3.23	26.73
Budyko	0.43	0.46	0.39	0.25	0.59	0.39	0.53
WASMOD	5.82E+10	11.40	6.53	0.08	49.29	4.44E+10	1.80E+04
WatBal	3.32E+06	2.01E+08	0.75	844.48	3.02E+06	2.07E-01	1.50E+07
Xinanjiang	1.31	0.89	0.76	1.43	1.67	1.09	2.08
Директни отицај Qd							
<i>abcd</i>	0.46	0.45	0.47	0.55	1.36	0.47	0.90
Budyko	0.18	0.23	0.44	0.34	0.75	0.29	0.61
WASMOD	0.29	0.51	0.70	0.73	1.48	0.50	1.20
WatBal	0.53	0.46	0.55	0.48	1.41	0.54	1.33
Xinanjiang	0.22	0.47	1.62	0.52	2.85	0.37	1.56
Укупни отицај Q							
<i>abcd</i>	0.45	0.49	0.50	0.44	1.13	0.47	0.43
Budyko	0.21	0.30	0.42	0.31	0.77	0.32	0.39
GR2M	0.47	0.48	0.60	0.60	0.90	0.56	0.69
WASMOD	0.33	0.56	0.73	0.53	1.19	0.55	0.69
WatBal	0.53	0.45	0.55	0.47	1.20	0.55	0.80
Xinanjiang	0.71	0.53	0.67	0.85	1.38	0.62	0.61

Табела IX-2. Релативни опсег симулираних компоненти водног биланса SRrel и средње вриједности RMAD за слив Камп и и Тирелов протокол. Сиви редови су најбољи резултати (највећа конзистентност).

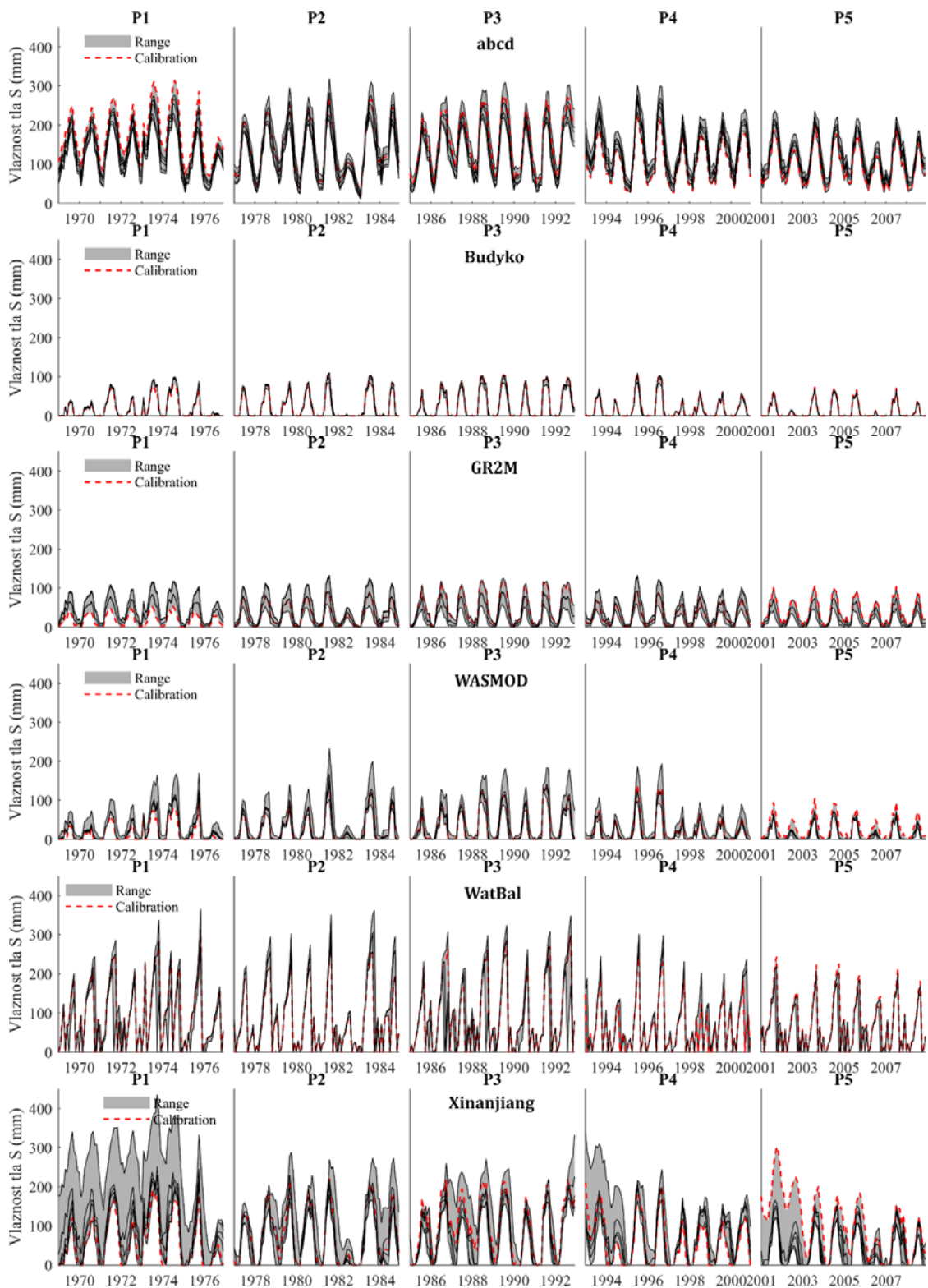
Модел	P1	P2	P3	P4	P5	CP	RMADsr
Евапотранспирација ET							
<i>abcd</i>	0.07	0.07	0.09	0.09	0.09	0.09	0.05
Budyko	0.06	0.04	0.06	0.06	0.05	0.06	0.03
GR2M	0.11	0.08	0.12	0.10	0.12	0.12	0.07
WASMOD	0.19	0.17	0.21	0.12	0.18	0.19	0.14
WatBal	0.77	0.86	0.88	0.86	0.74	0.90	0.55
Xinanjiang	0.35	0.28	0.31	0.31	0.24	0.34	0.19
Влажност тла S							
<i>abcd</i>	4.74	5.37	4.96	4.54	5.75	5.02	3.47
Budyko	0.82	0.46	0.84	0.99	0.81	0.88	0.49
GR2M	1.68	1.10	1.96	1.91	1.93	2.04	1.11
WASMOD	12.91	10.91	11.91	3.14	8.48	9.22	109.08
WatBal	1.07	1.26	1.27	0.54	1.55	9.22	0.60
Xinanjiang	7.21	5.88	7.93	11.16	6.45	3.32	4.51
Запремина подземне воде G							
<i>abcd</i>	1.23	1.56	186.96	157.08	1.87	175.66	56.17
Budyko	0.81	0.68	1.25	1.30	1.23	1.21	0.66
GR2M	0.27	0.24	0.28	0.20	0.25	0.26	0.16
Допуна подземних аквифера R							
<i>abcd</i>	0.84	1.08	134.65	97.03	1.26	122.85	37.85
Budyko	0.81	0.68	1.25	1.30	1.23	1.21	0.66
Xinanjiang	0.93	0.46	0.59	0.77	0.55	0.73	0.50
Базни отицај Qb							
<i>abcd</i>	1.23	1.56	186.96	157.08	1.87	175.66	56.17
Budyko	0.82	0.66	1.25	1.30	1.22	1.20	0.65
WASMOD	2.17	9.05	1.68	25.08	14.67	24.54	6.81
WatBal	0.59	2.40	1.41	9.04E+05	9.13	2098.88	4.52E+04
Xinanjiang	1.34	0.94	1.24	3.16	0.79	1.00	0.94
Површински отицај Qd							
<i>abcd</i>	Inf	Inf	1.30	0.95	4.65	1.22	23.13
Budyko	1.17	1.29	0.76	0.41	0.75	0.65	0.64
WASMOD	0.94	0.86	0.78	0.50	0.65	0.72	0.48
WatBal	1.28	1.55	1.19	0.60	1.35	1.21	0.71
Xinanjiang	2.03	3.30	0.78	0.40	2.36	1.23	0.87
Укупни отицај Q							
<i>abcd</i>	0.33	0.32	0.33	0.29	0.29	0.31	0.26
Budyko	0.54	0.50	0.52	0.36	0.48	0.48	0.41
GR2M	0.25	0.22	0.24	0.13	0.23	0.21	0.17
WASMOD	0.81	0.83	0.70	0.48	0.67	0.72	0.55
WatBal	0.94	1.00	0.84	0.61	0.81	0.72	0.65
Xinanjiang	1.30	0.93	0.72	0.64	0.77	0.87	0.74

Табела IX-3. Релативни опсег симулираних компоненти водног биланса SRrel и средње вриједности RMAD за слив Топлице и Тирелов протокол. Сиви редови су најбољи резултати (највећа конзистентност).

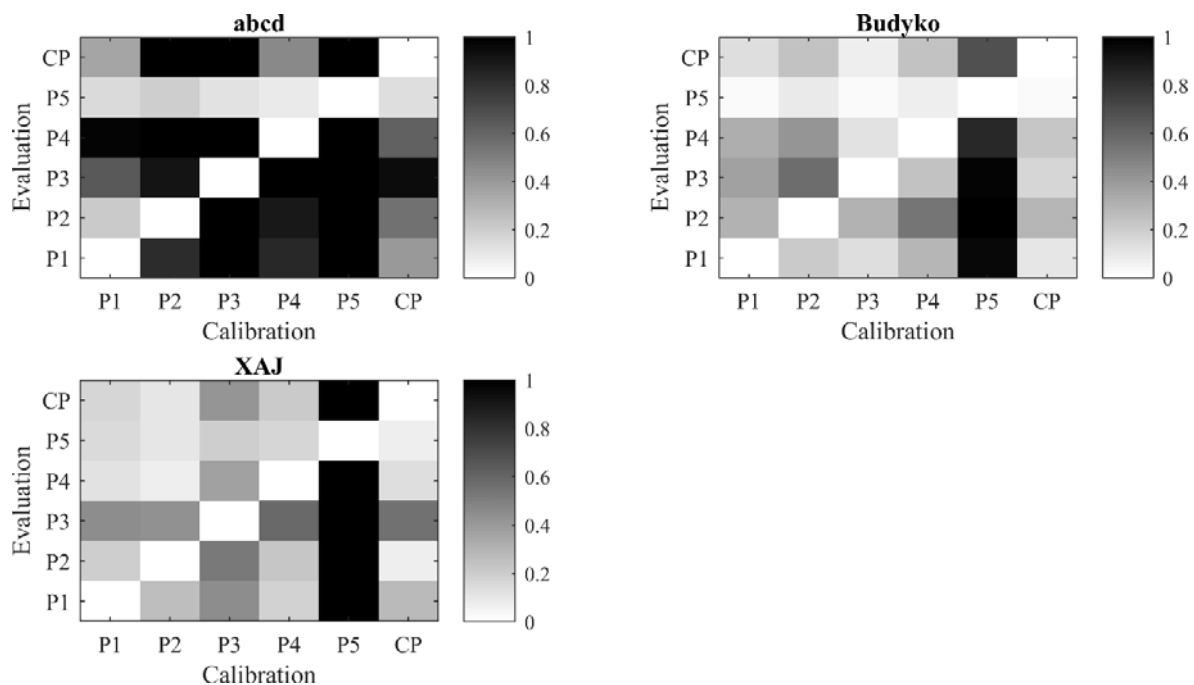
Модел	P1	P2	P3	P4	P5	CP	RMADsr
Евапотранспирација ET							
<i>abcd</i>	0.17	0.16	0.22	0.18	0.14	0.19	0.12
Budyko	0.20	0.21	0.23	0.21	0.12	0.21	0.13
GR2M	0.14	0.14	0.18	0.16	0.12	0.16	0.10
WASMOD	0.25	0.19	0.30	0.25	0.19	0.26	0.19
WatBal	0.55	0.79	0.92	1.31	0.66	0.94	0.54
Xinanjiang	0.60	0.56	0.64	0.36	0.46	0.60	0.33
Запремина воде у тлу S							
<i>abcd</i>	1.46	1.64	1.76	1.69	0.94	1.52	0.98
Budyko	0.47	0.53	0.64	0.59	0.40	0.52	0.38
GR2M	0.75	0.88	0.91	0.99	0.49	0.81	0.53
WASMOD	0.75	1.14	1.15	1.33	0.88	1.03	0.68
WatBal	0.63	0.70	0.86	0.79	0.64	1.03	0.52
Xinanjiang	1.47	3.17	1.84	2.56	1.04	2.13	1.31
Запремина подземних вода G							
<i>abcd</i>	26.75	0.02	23.84	22.25	27.93	24.05	3.85
Budyko	0.75	1.10	0.93	0.28	0.62	0.81	0.39
GR2M	0.44	0.53	0.36	0.43	0.22	0.44	0.24
Допуна подземља R							
<i>abcd</i>	20.16	0.02	17.84	17.32	22.55	18.74	2.96
Budyko	0.48	0.78	0.58	0.34	0.40	0.53	0.29
Xinanjiang	0.77	0.64	0.82	0.48	1.55	0.88	0.47
Базни отицај Qb							
<i>abcd</i>	26.75	0.02	23.84	22.25	27.93	24.05	3.85
Budyko	0.49	0.76	0.57	0.40	0.37	0.52	0.29
WASMOD	3.28	12.47	1.77	59.14	1.51	46.03	13.61
WatBal	2022.21	1.81E+06	1.08	3.87	0.39	2.67	240917
Xinanjiang	1.17	1.23	1.14	0.66	1.87	1.27	0.72
Директни отицај Qd							
<i>abcd</i>	0.44	0.41	0.32	0.38	0.44	0.44	0.26
Budyko	0.71	0.36	0.82	0.66	1.20	0.82	0.46
WASMOD	0.66	0.50	0.56	0.48	0.65	0.60	0.36
WatBal	0.79	0.82	0.83	0.88	0.81	0.85	0.57
Xinanjiang	2.10	0.62	2.45	3.55	1.91	0.76	1.34
Укупни отицај Q							
<i>abcd</i>	0.39	0.36	0.33	0.31	0.35	0.38	0.29
Budyko	0.66	0.66	0.69	0.46	0.56	0.63	0.48
GR2M	0.45	0.48	0.35	0.38	0.29	0.43	0.32
WASMOD	0.61	0.47	0.46	0.46	0.60	0.57	0.42
WatBal	0.48	0.51	0.62	0.73	0.60	0.57	0.50
Xinanjiang	1.33	1.12	1.14	0.71	1.71	1.15	0.93



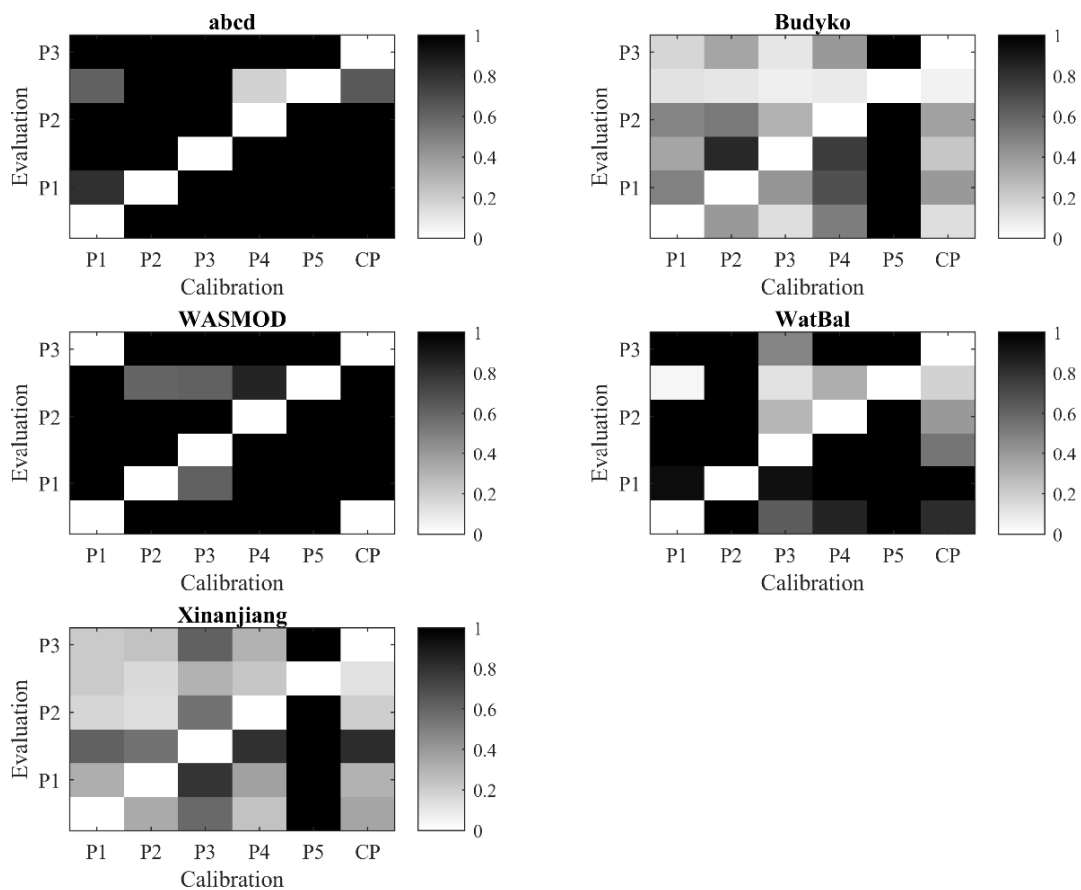
Слика IX-1. Симулиране вриједности базног отицаја на сливу Вимера по Тиреловом протоколу.



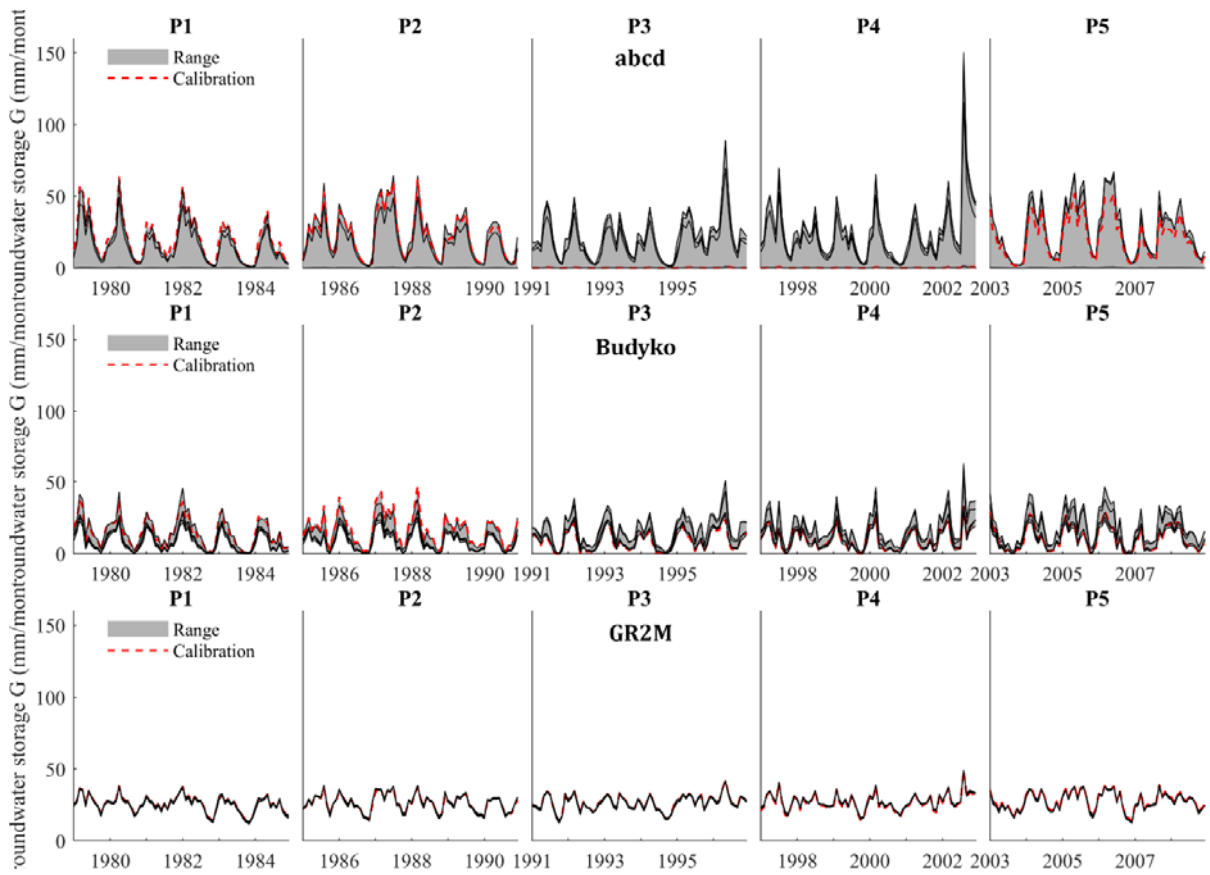
Слика IX-2. Симулиране вриједности влажности тла на сливу Вимера по Тиреловом протоколу.



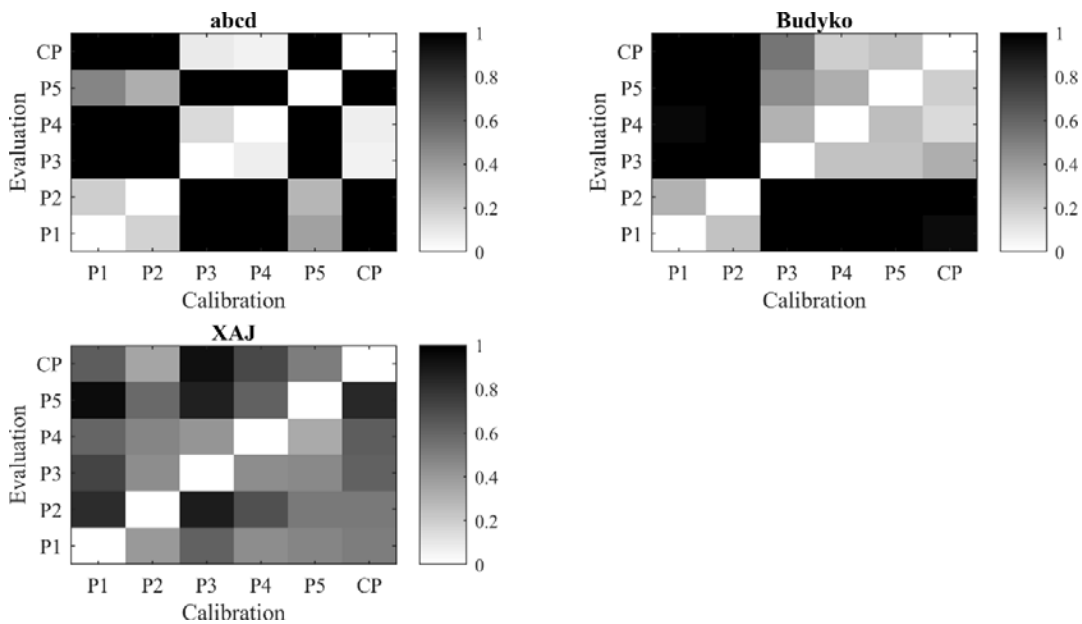
Слика IX-3. Вриједности RMAD за допуну подземља на сливу Вимере по Тиреловом протоколу.



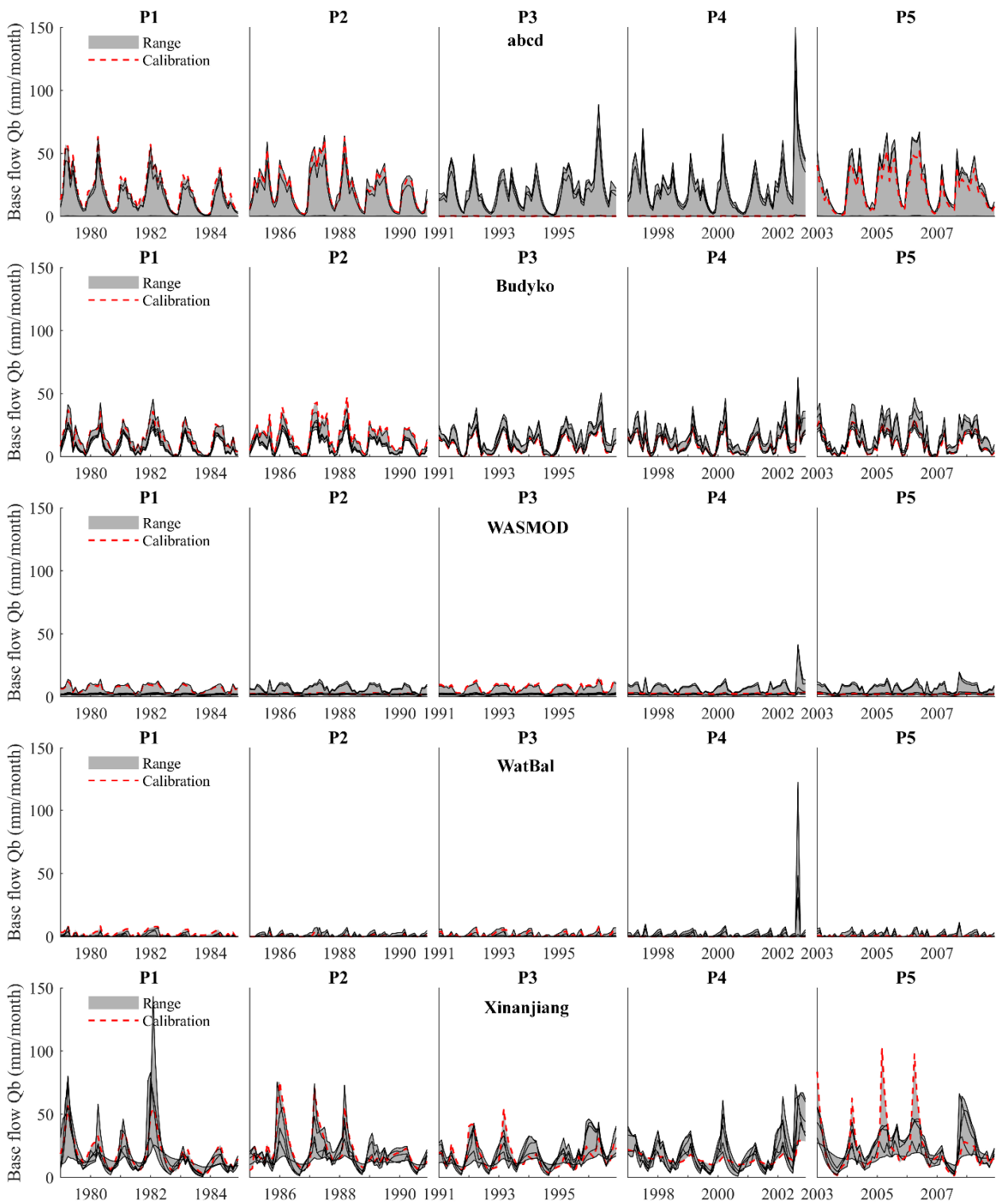
Слика IX-4. Вриједности RMAD за базни отицај на сливу Вимере по Тиреловом протоколу.



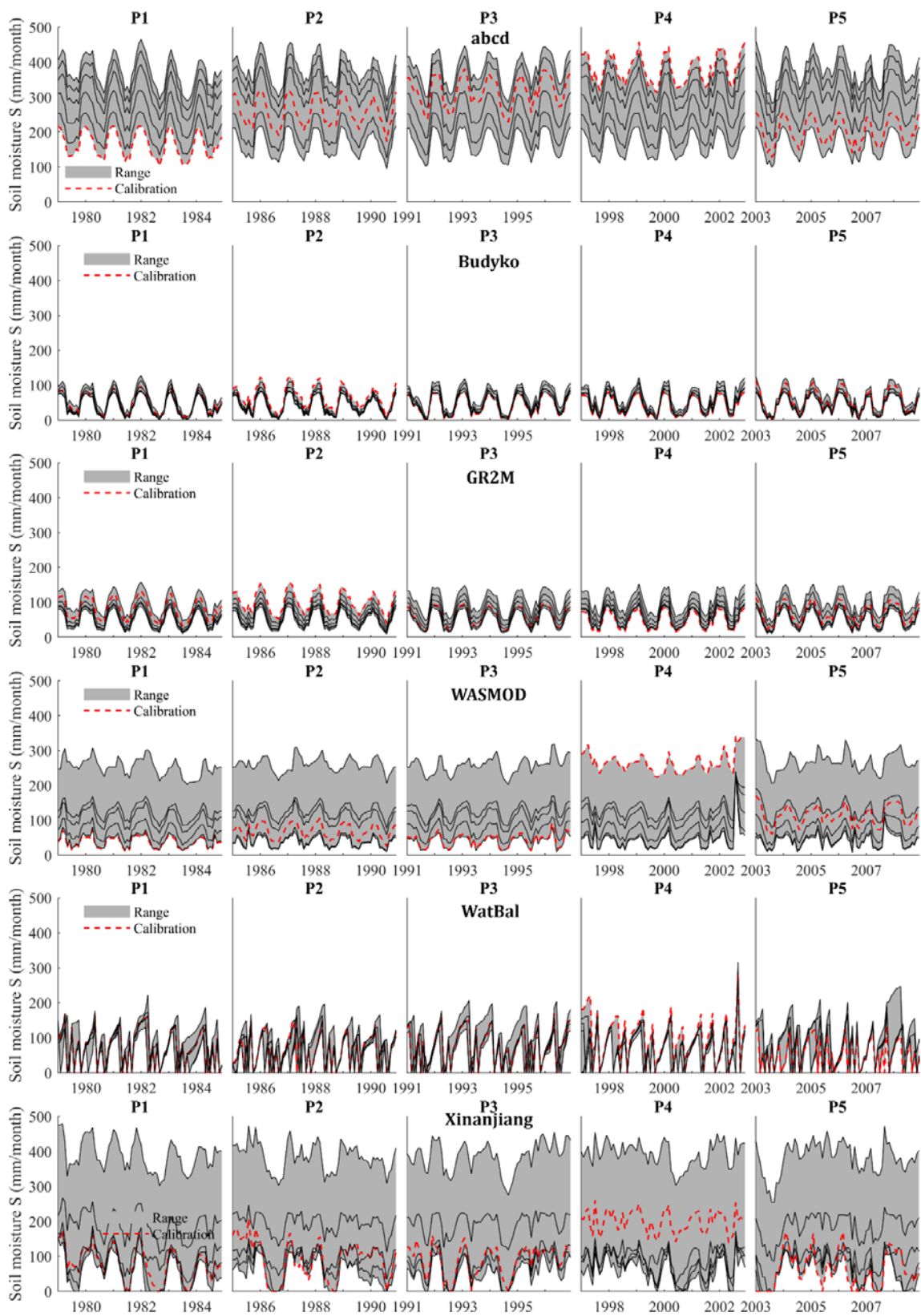
Слика IX-5. Симулиране вриједности запремине подземне воде на сливу Камп по Тиреловом протоколу.



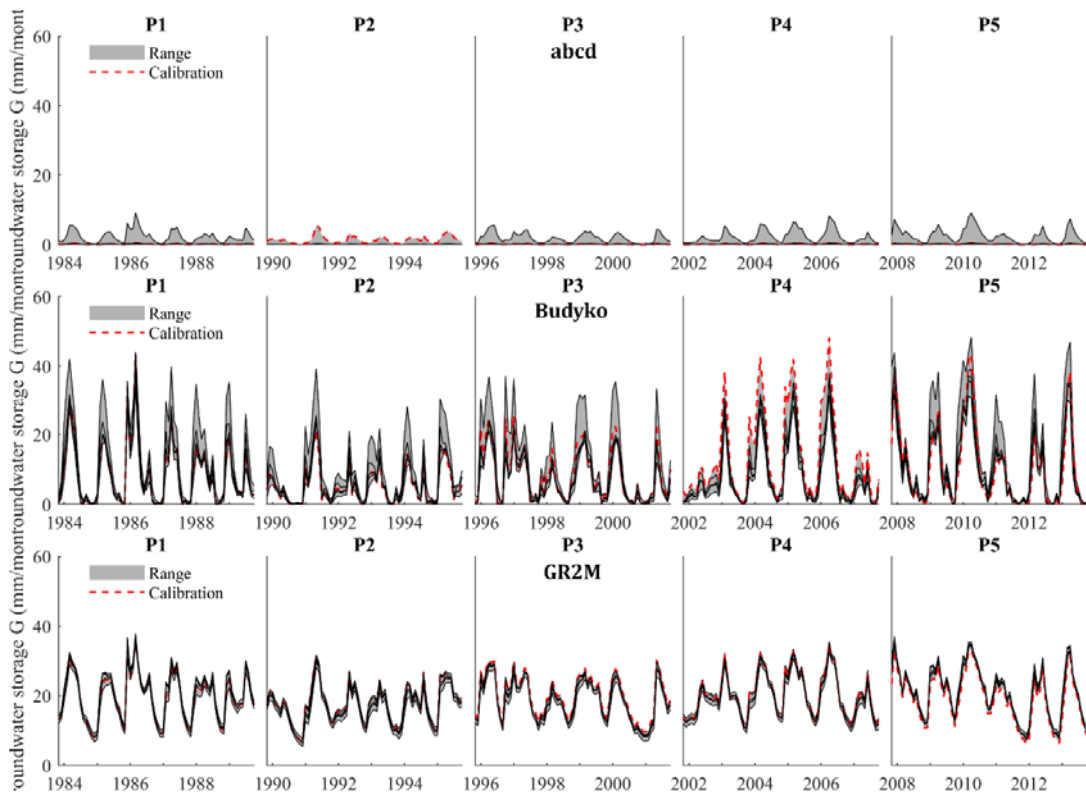
Слика IX-6. Вриједности RMAD за допуну подземља на сливу Камп по Тиреловом протоколу.



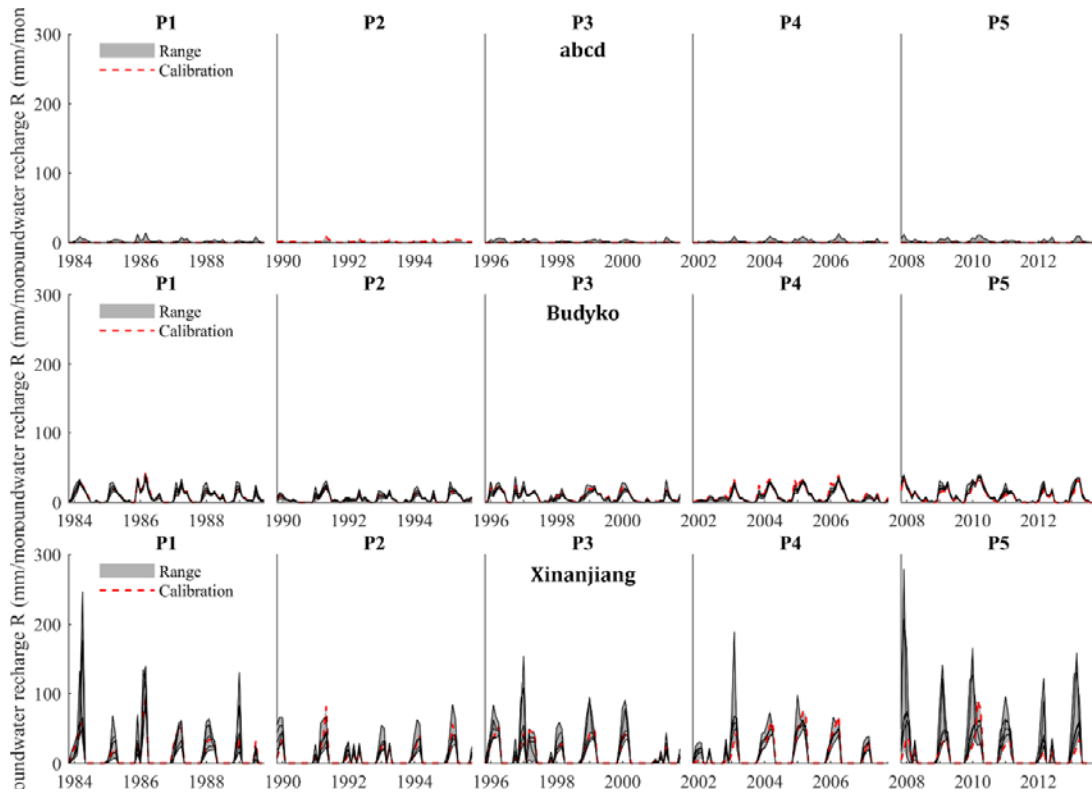
Слика IX-7. Симулиране вриједности базног отицаја на сливу Камп по Тиреловом протоколу.



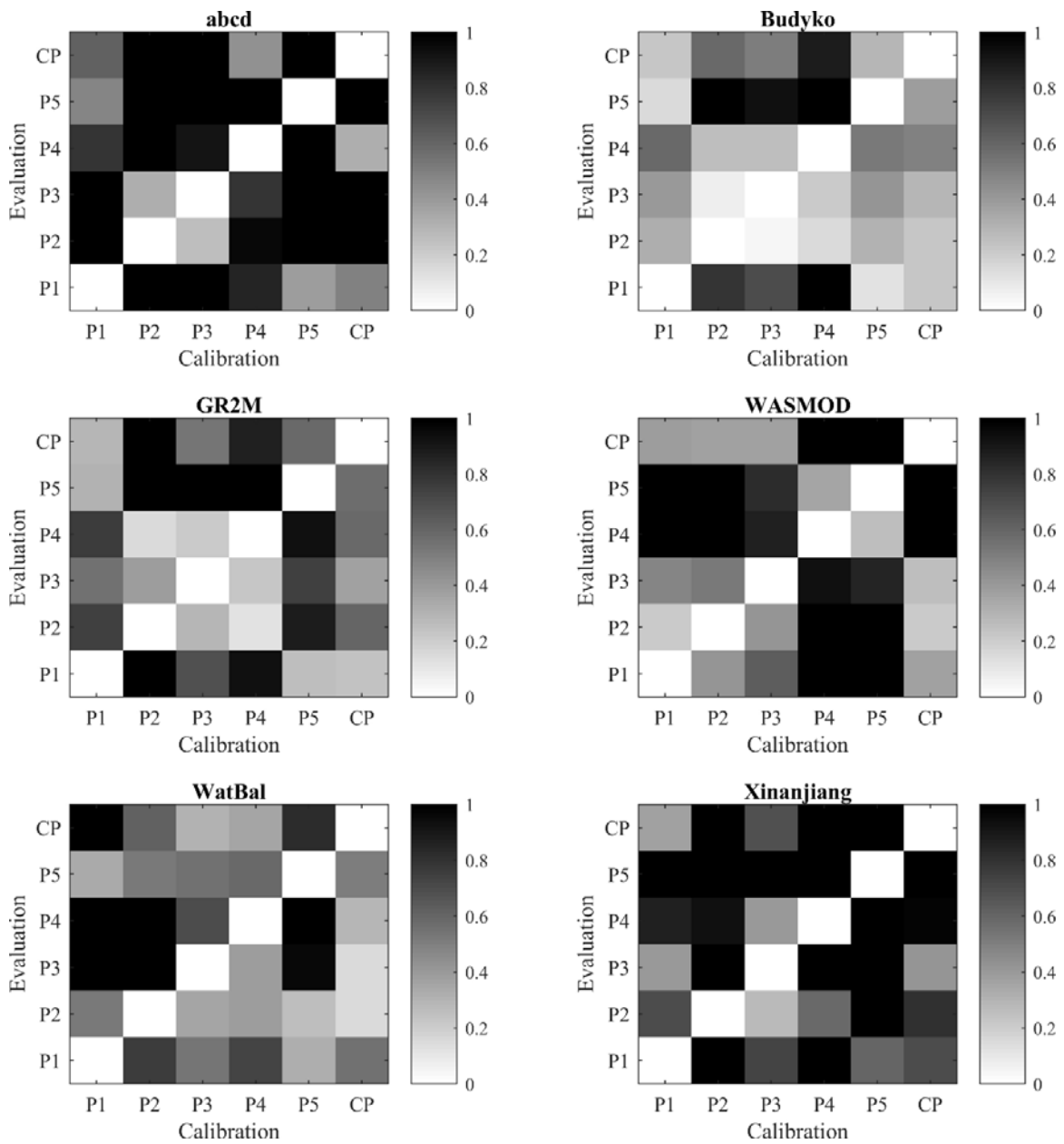
Слика IX-8. Симулиране вриједности влажности тла на сливу Камп по Тиреловом протоколу.



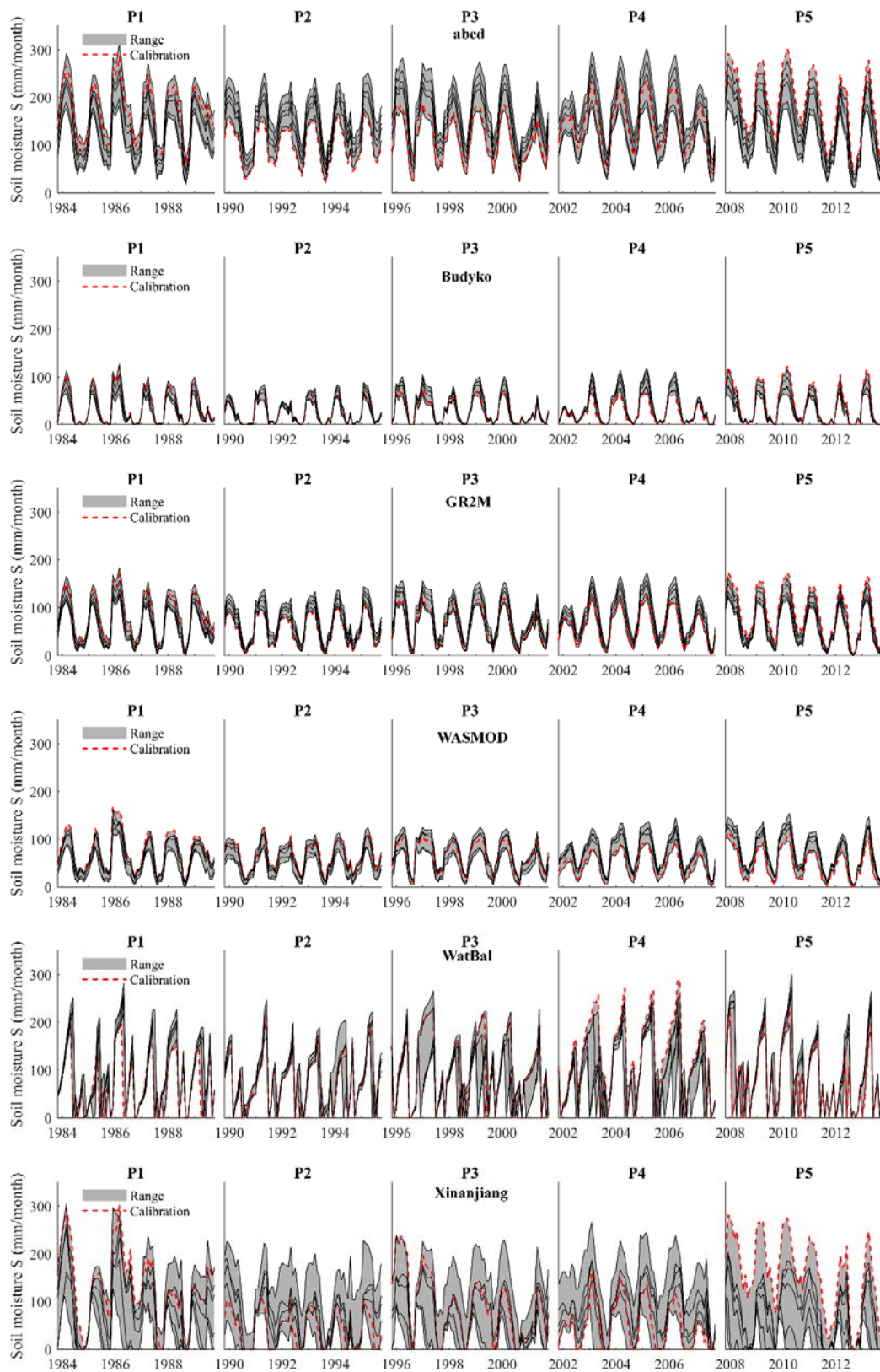
Слика IX-9. Симулиране вриједности G на сливу Топлица по Тиреловом протоколу.



Слика IX-10. Симулиране вриједности R на сливу Топлица по Тиреловом протоколу.



Слика IX-11. Вриједности RMAD за влажност тла на сливу Топлица по Тиреловом протоколу.



Слика IX-12. Симулиране вриједности S на сливу Топлица по Тиреловом протоколу.

ПРИЛОГ X. Конзистентности компоненти водног биланса у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)

Табела X-1. Релативни опсег симулираних компоненти водног биланса SRrel и средње вриједности RMAD за слив Вимере и DSST протокол.

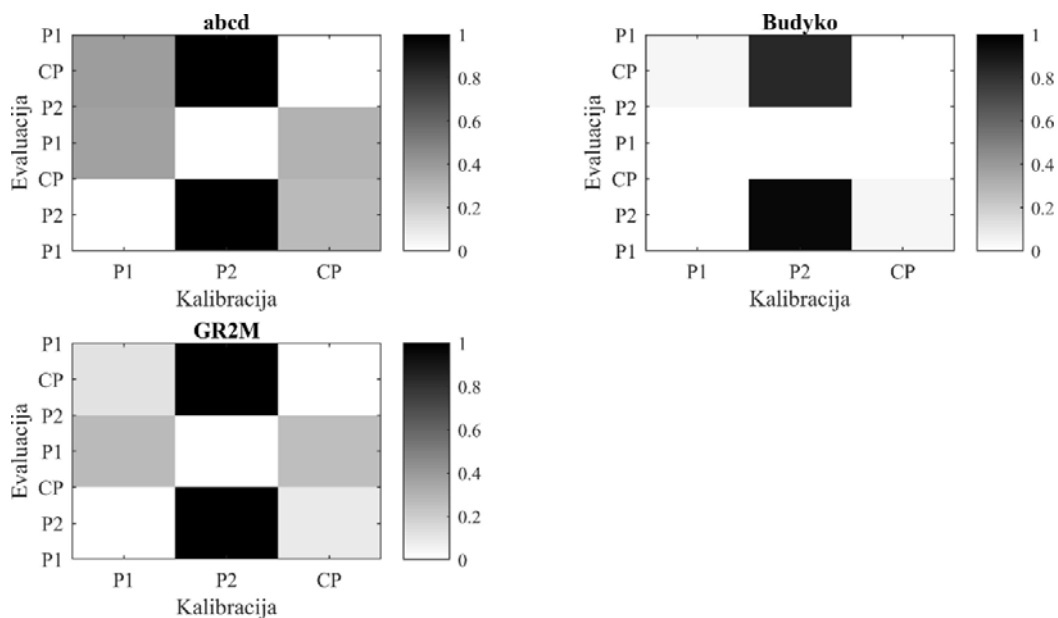
Модел	SRrel			RMADsr
	P1	P2	CP	
ET				
<i>abcd</i>	0.10	0.02	0.11	0.09
Budyko	0.03	0.00	0.03	0.03
GR2M	0.06	0.02	0.08	0.07
WASMOD	0.27	0.05	0.25	0.25
WatBal	0.16	0.03	0.12	0.16
Xinanjiang	0.39	0.04	0.36	0.34
S				
<i>abcd</i>	0.38	0.08	0.44	0.41
Budyko	0.09	0.01	0.08	0.09
GR2M	0.21	0.05	0.26	0.21
WASMOD	0.87	0.08	0.83	0.72
WatBal	0.15	0.00	0.13	0.13
Xinanjiang	2.57	0.01	2.06	1.31
G				
<i>abcd</i>	1.95	0.57	1.10	9.90
Budyko	0.09	0.02	0.09	0.30
GR2M	0.47	0.11	0.54	0.70
R				
<i>abcd</i>	0.43	0.45	0.28	13.50
Budyko	0.07	0.01	0.06	0.20
Xinanjiang	0.38	0.09	0.31	0.90
Qb				
<i>abcd</i>	1.95	0.57	1.10	9.86
Budyko	0.08	0.01	0.07	0.25
WASMOD	2.40E-13	3.34E+12	1.35E+12	1.78E+12
WatBal	1.14E+00	5.15E+06	9.67E-02	9.76E+06
Xinanjiang	0.50	0.18	0.45	1.51
Qd				
<i>abcd</i>	0.26	0.15	0.24	0.93
Budyko	0.12	0.10	0.13	0.47
WASMOD	0.33	0.15	0.30	1.26
WatBal	74820.33	0.00	3396540	300065
Xinanjiang	0.24	0.09	0.15	1.38
Q				
<i>abcd</i>	0.33	0.16	0.29	1.20
Budyko	0.11	0.09	0.11	0.50
GR2M	0.34	0.17	0.40	1.20
WASMOD	0.33	0.23	0.32	1.30
WatBal	0.36	0.22	0.42	1.40
Xinanjiang	0.36	0.11	0.29	1.30

Табела X-2. Релативни опсег симулираних компоненти водног биланса SRrel и средње вриједности RMAD за слив Камп.

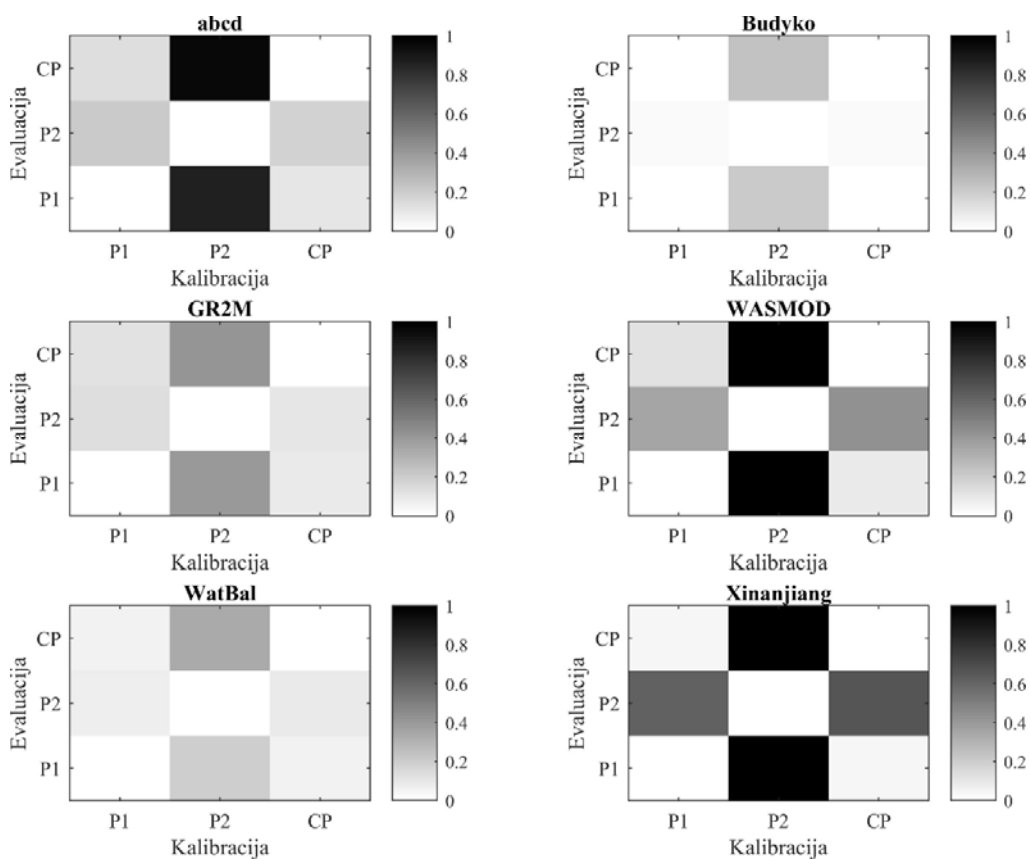
Модел	SRrel			RMADsr
	P1	P2	CP	
Евапотранспирација ET				
<i>abcd</i>	0.03	0.00	0.03	0.03
Budyko	0.03	0.03	0.06	0.05
GR2M	0.09	0.04	0.13	0.11
WASMOD	0.11	0.06	0.17	0.15
WatBal	0.41	0.14	0.36	0.36
Xinanjiang	0.14	0.07	0.17	0.15
Запремина воде у тлу S				
<i>abcd</i>	3.38	0.43	2.84	2.97
Budyko	0.39	0.16	0.54	0.44
GR2M	1.62	0.36	1.88	1.51
WASMOD	4.73	8.21	11.48	10.28
WatBal	0.36	0.26	0.27	0.36
Xinanjiang	8.44	2.56	3.19	5.81
Запремина подземних вода G				
<i>abcd</i>	159.94	0.00	167.82	52.20
Budyko	1.09	0.33	1.27	1.00
GR2M	0.11	0.05	0.15	0.10
Допуна подземља R				
<i>abcd</i>	103.81	0.00	116.20	35.40
Budyko	1.09	0.33	1.27	1.00
Xinanjiang	0.49	0.35	0.42	0.50
Базни отицај Qb				
<i>abcd</i>	159.94	0.00	167.82	52.24
Budyko	1.10	0.33	1.27	1.03
WASMOD	151.37	0.09	160.43	58.20
WatBal	281457.07	0.00	1015.35	24396.00
Xinanjiang	0.82	0.63	0.72	1.02
Директни отицај Qd				
<i>abcd</i>	1.05	Inf	1.18	0.54
Budyko	0.33	0.58	0.68	0.87
WASMOD	0.33	0.12	0.44	0.45
WatBal	0.08	0.26	0.20	0.23
Xinanjiang	0.16	2.74	0.87	1.14
Укупни отицај Q				
<i>abcd</i>	0.19	0.03	0.19	0.20
Budyko	0.22	0.17	0.38	0.36
GR2M	0.08	0.05	0.12	0.12
WASMOD	0.34	0.11	0.43	0.42
WatBal	0.35	0.30	0.43	0.33
Xinanjiang	0.27	0.51	0.46	0.45

Табела X-3. Релативни опсег симулираних компоненти водног биланса SRrel и средње вриједности RMAD за слив Топлице.

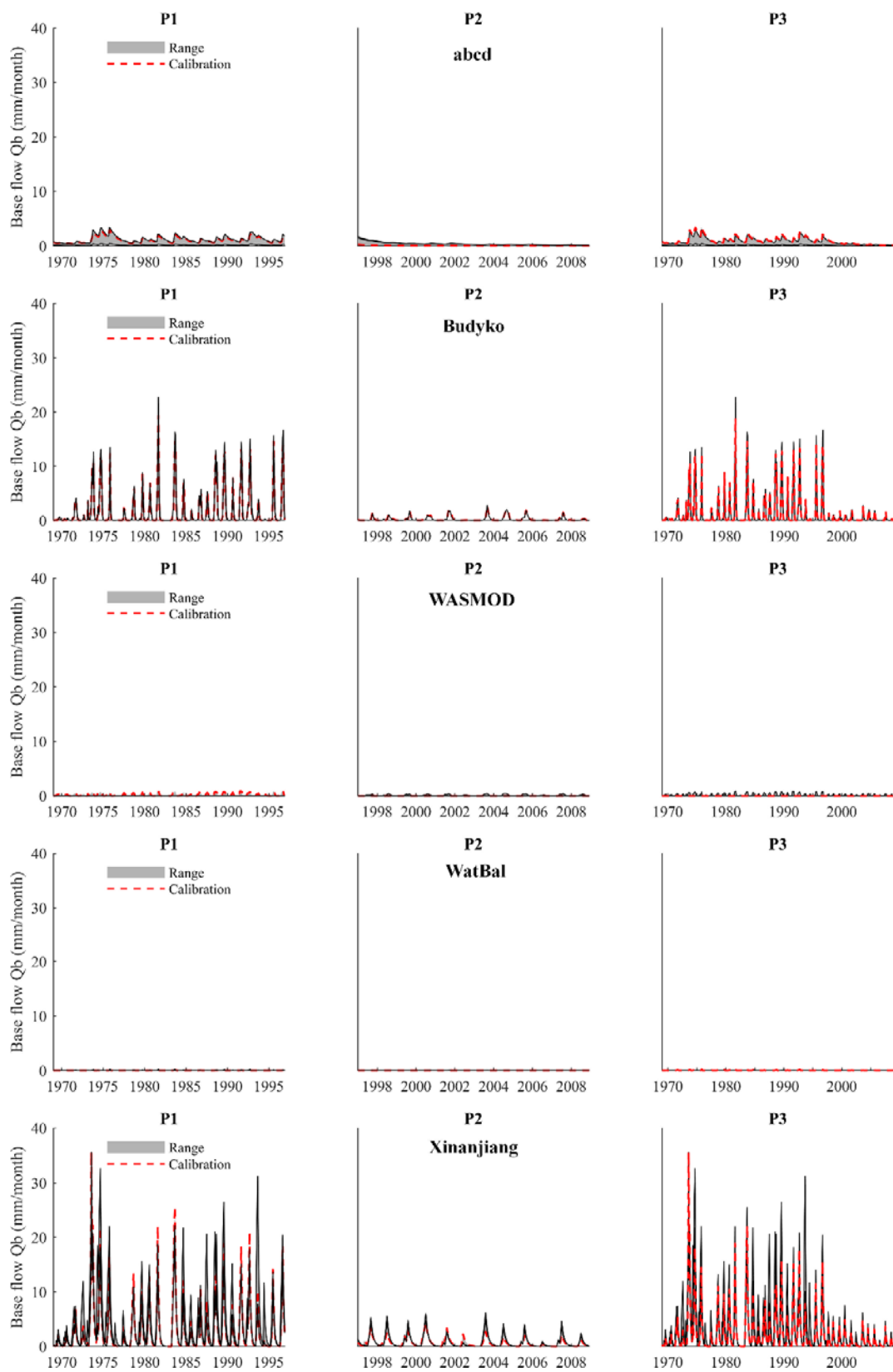
Модел	SRrel			RMADsr
	P1	P2	CP	
Евапотранспирација ET				
<i>abcd</i>	0.03	0.05	0.08	0.06
Budyko	0.04	0.07	0.11	0.08
GR2M	0.03	0.01	0.04	0.04
WASMOD	0.02	0.06	0.08	0.06
WatBal	0.27	0.29	0.41	0.36
Xinanjiang	0.35	0.07	0.38	0.34
Запремина влажности тла S				
<i>abcd</i>	0.21	0.26	0.47	0.38
Budyko	0.05	0.07	0.11	0.09
GR2M	0.14	0.08	0.22	0.19
WASMOD	0.04	0.30	0.32	0.25
WatBal	0.26	0.25	0.41	0.33
Xinanjiang	1.42	0.60	1.04	1.48
Запремина подземне воде G				
<i>abcd</i>	0.09	0.17	0.25	0.20
Budyko	0.04	0.08	0.12	0.10
GR2M	0.06	0.12	0.18	0.10
Допуна подземља R				
<i>abcd</i>	0.07	0.13	0.19	0.20
Budyko	0.05	0.12	0.16	0.10
Xinanjiang	0.14	0.09	0.20	0.20
Базни отицај Qb				
<i>abcd</i>	0.09	0.17	0.25	0.20
Budyko	0.05	0.12	0.16	0.13
WASMOD	0.04	0.30	0.32	0.25
WatBal	1.43	0.07	3.41	1.49
Xinanjiang	0.20	0.22	0.36	0.36
Директни отицај Qd				
<i>abcd</i>	0.07	0.13	0.19	0.15
Budyko	0.09	0.11	0.19	0.16
WASMOD	0.04	0.08	0.12	0.09
WatBal	0.70	1.59	1.64	1.88
Xinanjiang	2.00	0.34	0.40	1.02
Укупни отицај Q				
<i>abcd</i>	0.07	0.13	0.20	0.15
Budyko	0.07	0.16	0.23	0.18
GR2M	0.07	0.10	0.17	0.14
WASMOD	0.04	0.09	0.12	0.09
WatBal	0.17	0.27	0.30	0.27
Xinanjiang	0.25	0.18	0.33	0.36



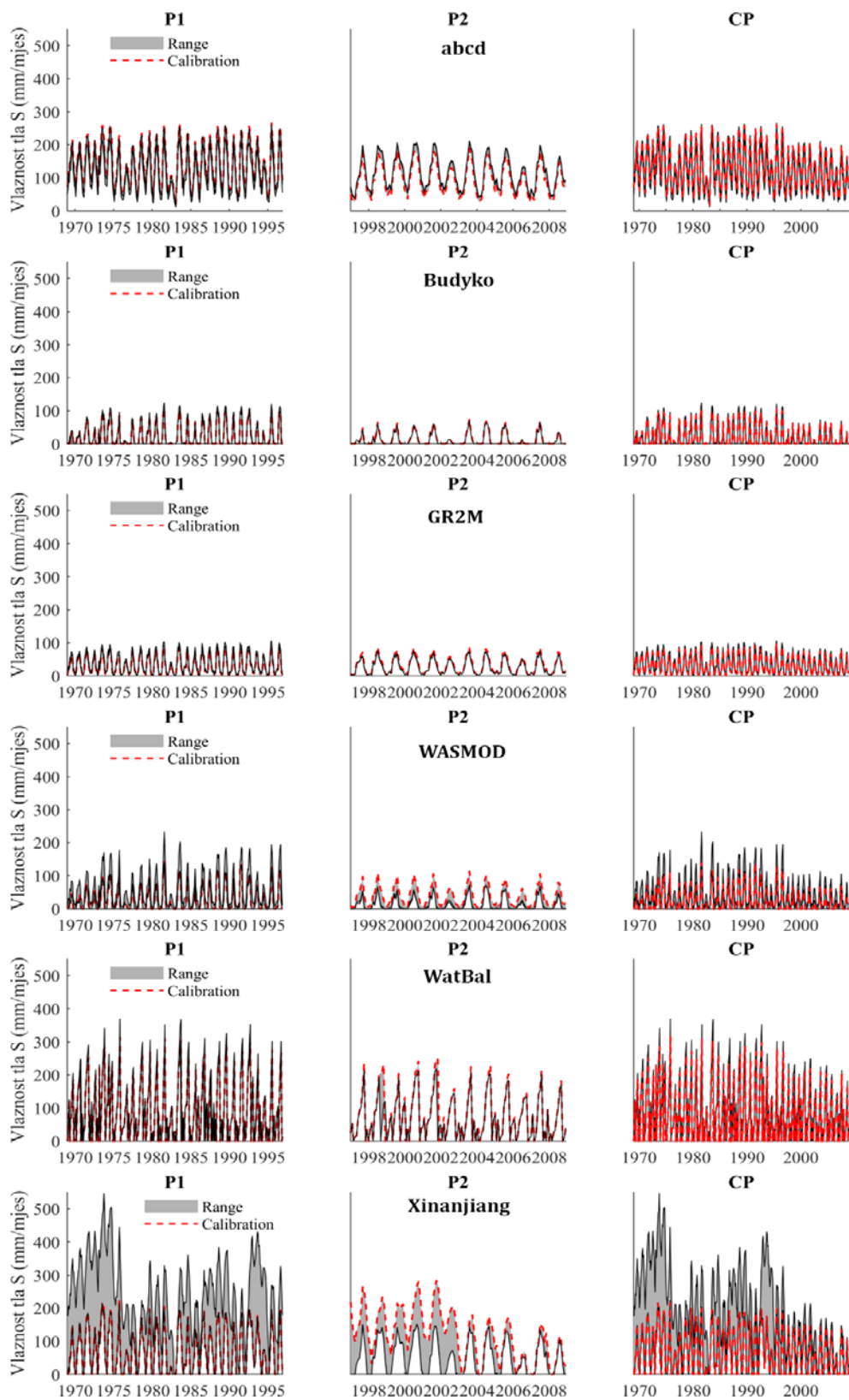
Слика X-1. Вриједности RMAD за запремину подземних вода на сливу Вимера по DSST протоколу.



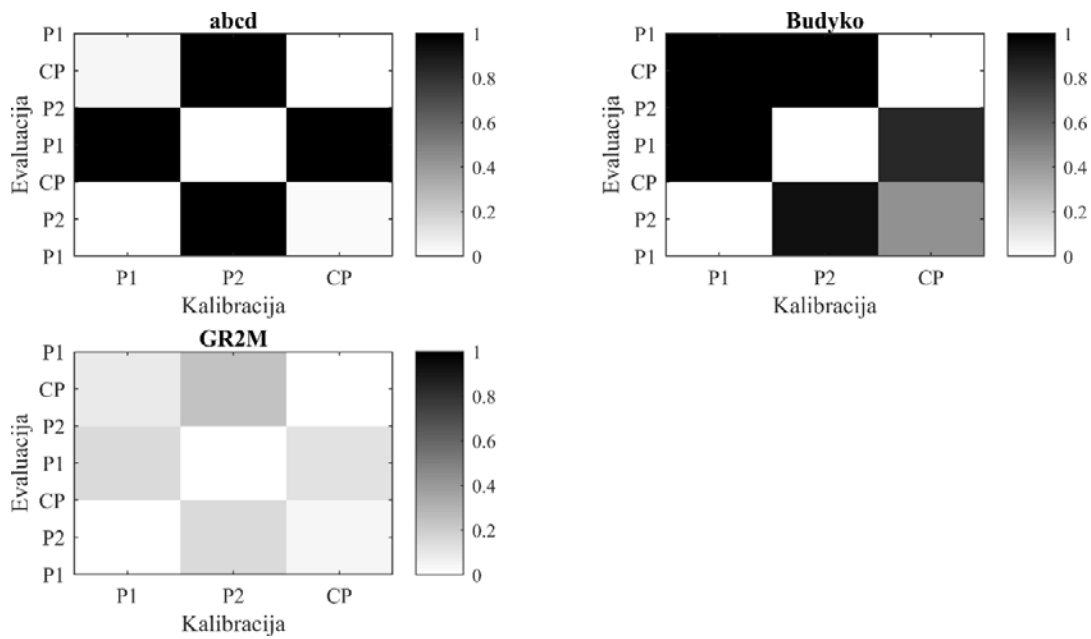
Слика X-2. Вриједности RMAD за влажност тла на сливу Вимера по DSST протоколу.



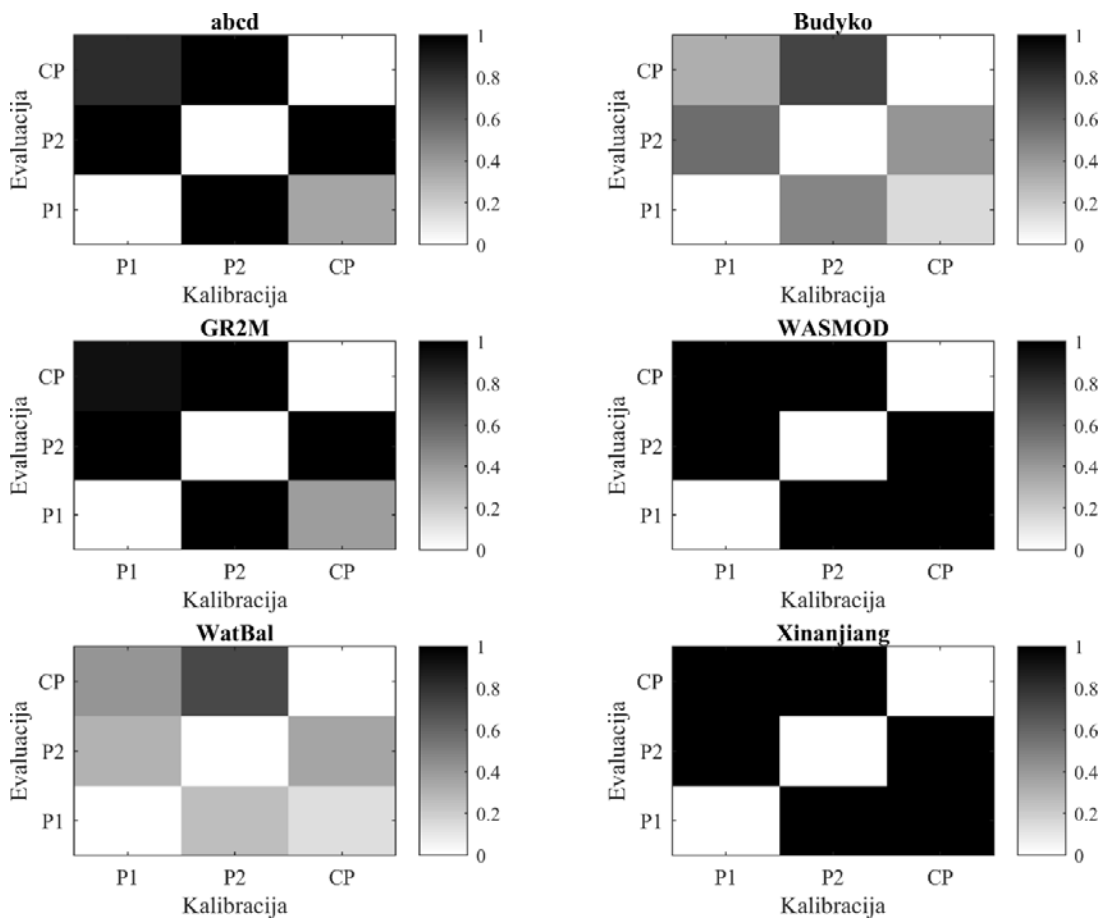
Слика X-3. Симулиране вриједности Q_b на сливу Вимера по DSST протоколу.



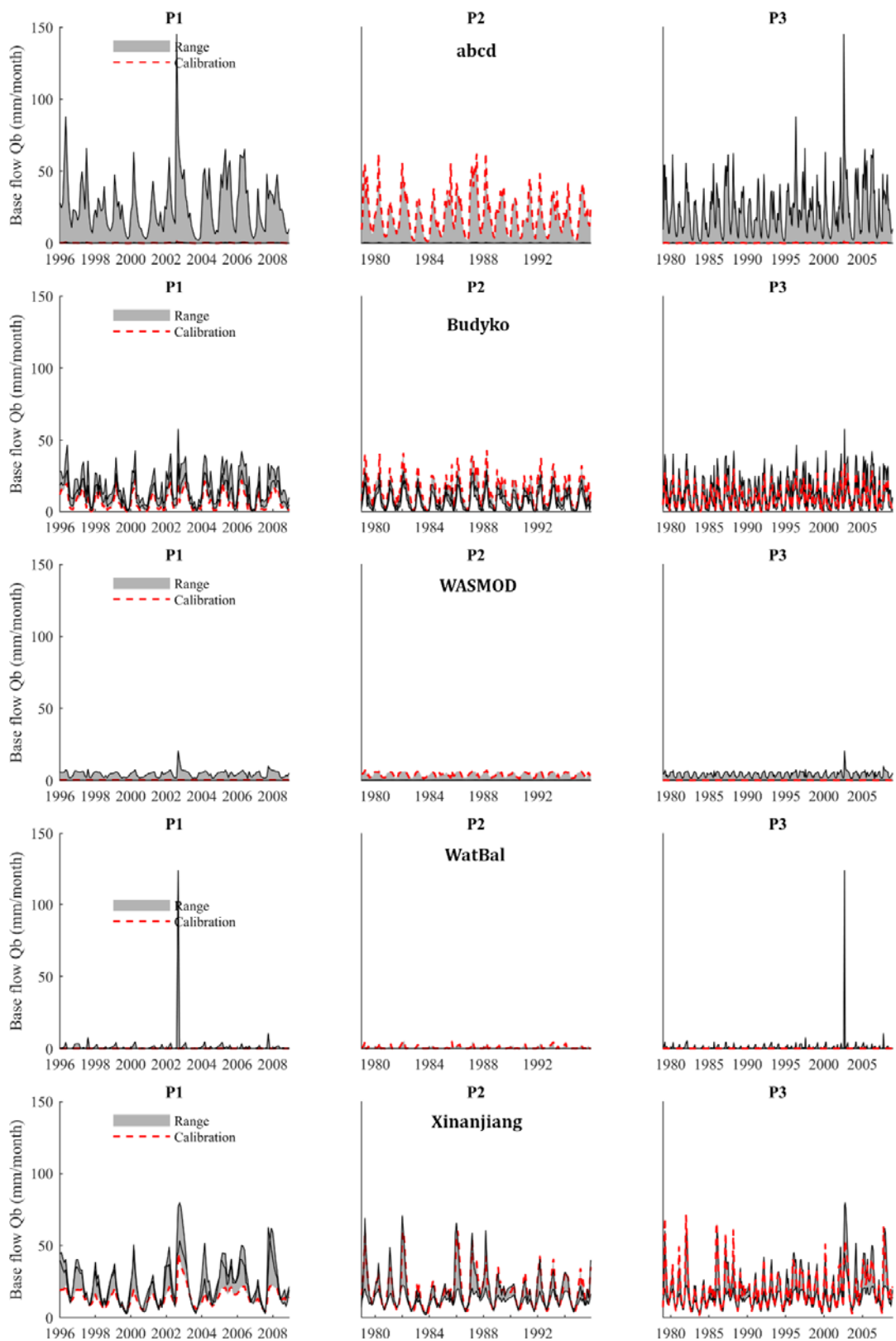
Слика X-4. Симулиране вриједности S на сливу Вимера по DSST протоколу.



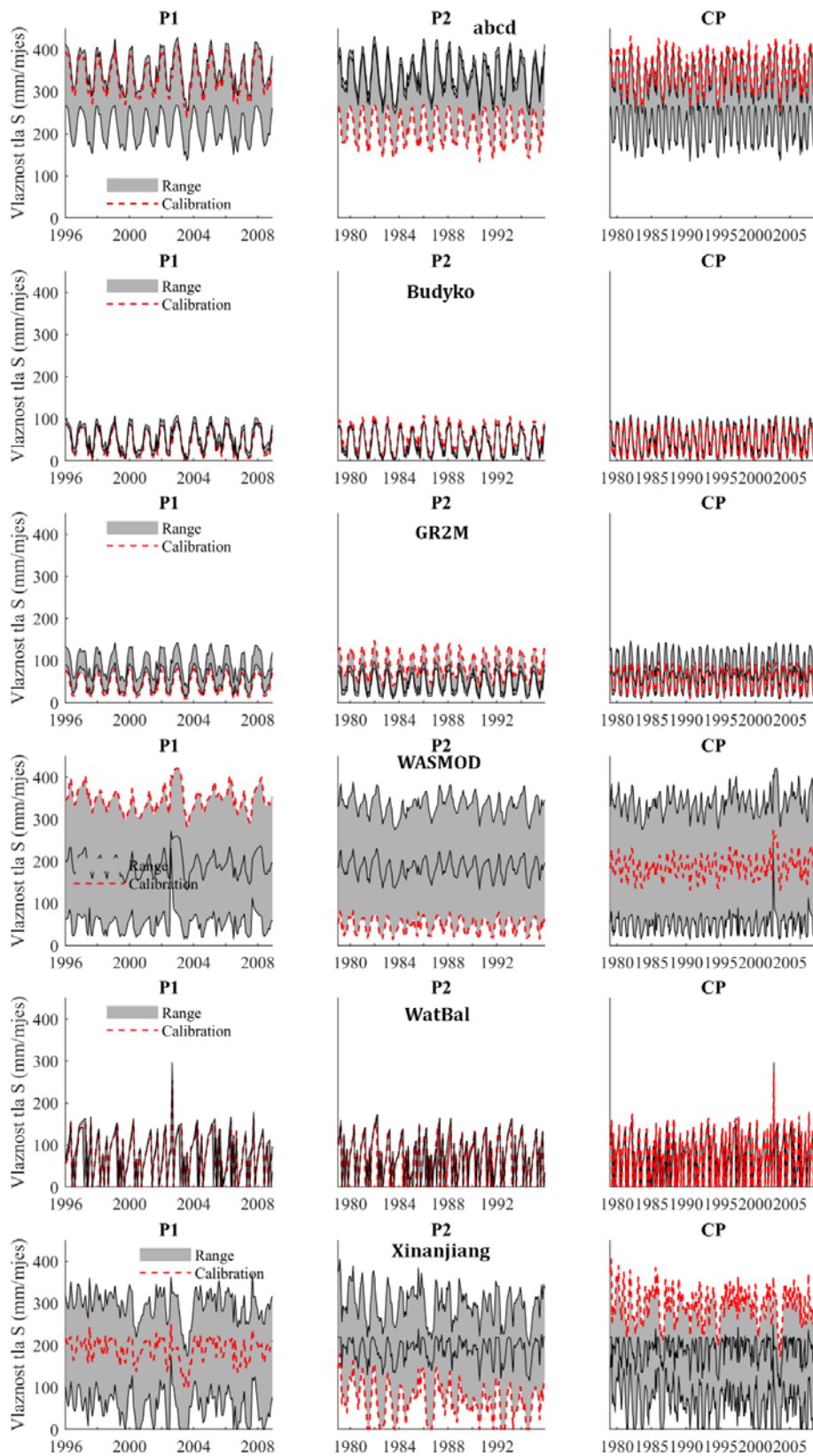
Слика X-5. Вриједности RMAD за G на сливу Камп по DSST протоколу



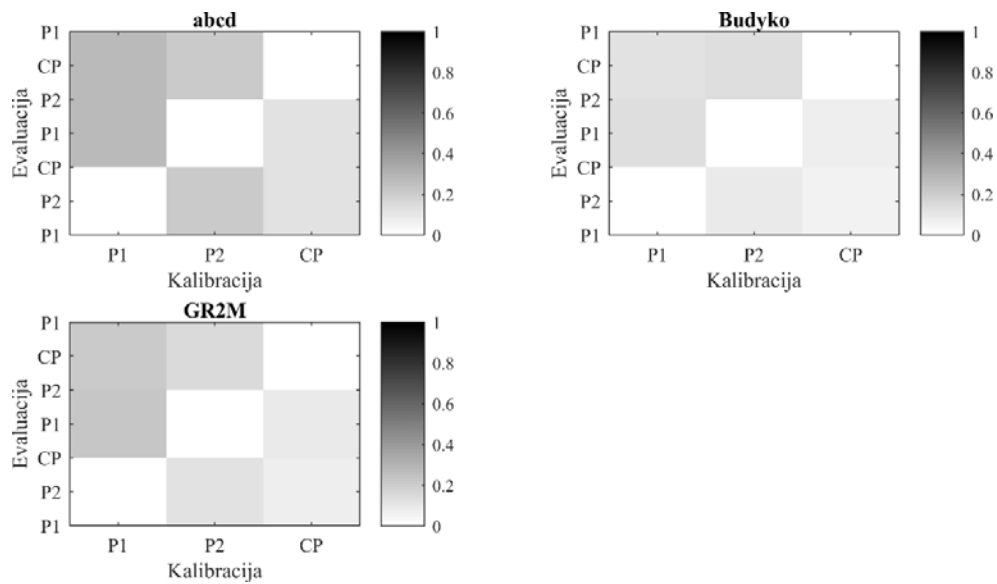
Слика X-6. Вриједности RMAD за влажност тла на сливу Камп по DSST протоколу.



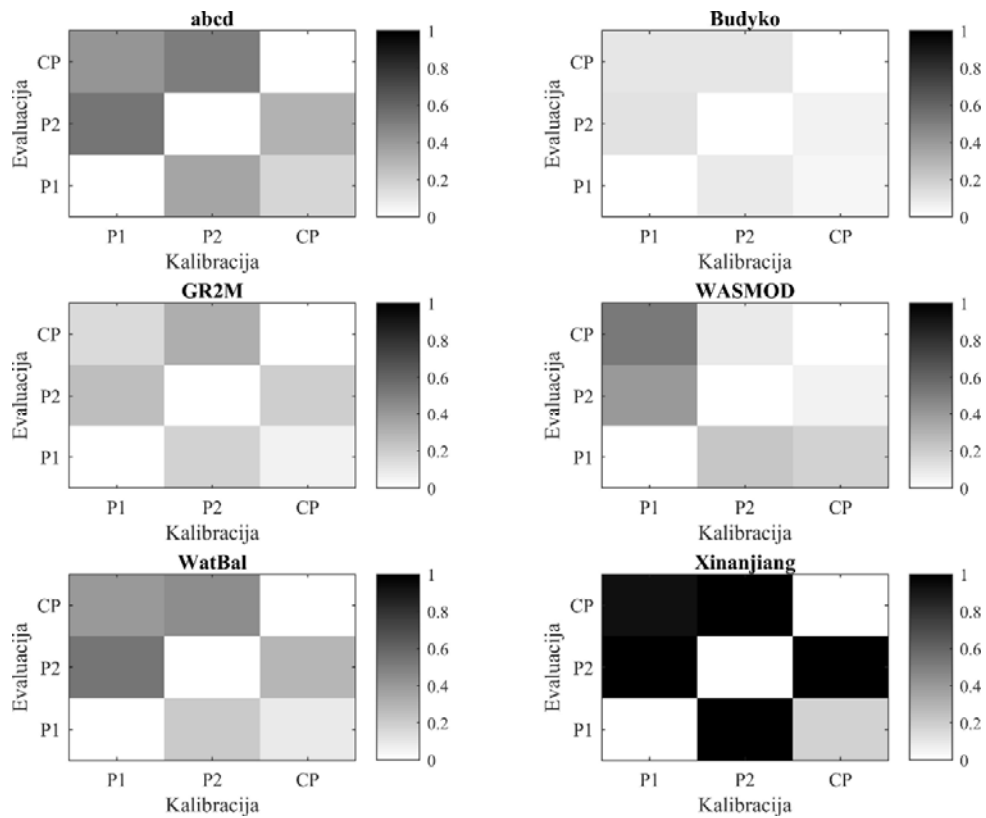
Слика X-7. Симулиране вриједности базног отицаја на сливу Камп по DSST протоколу.



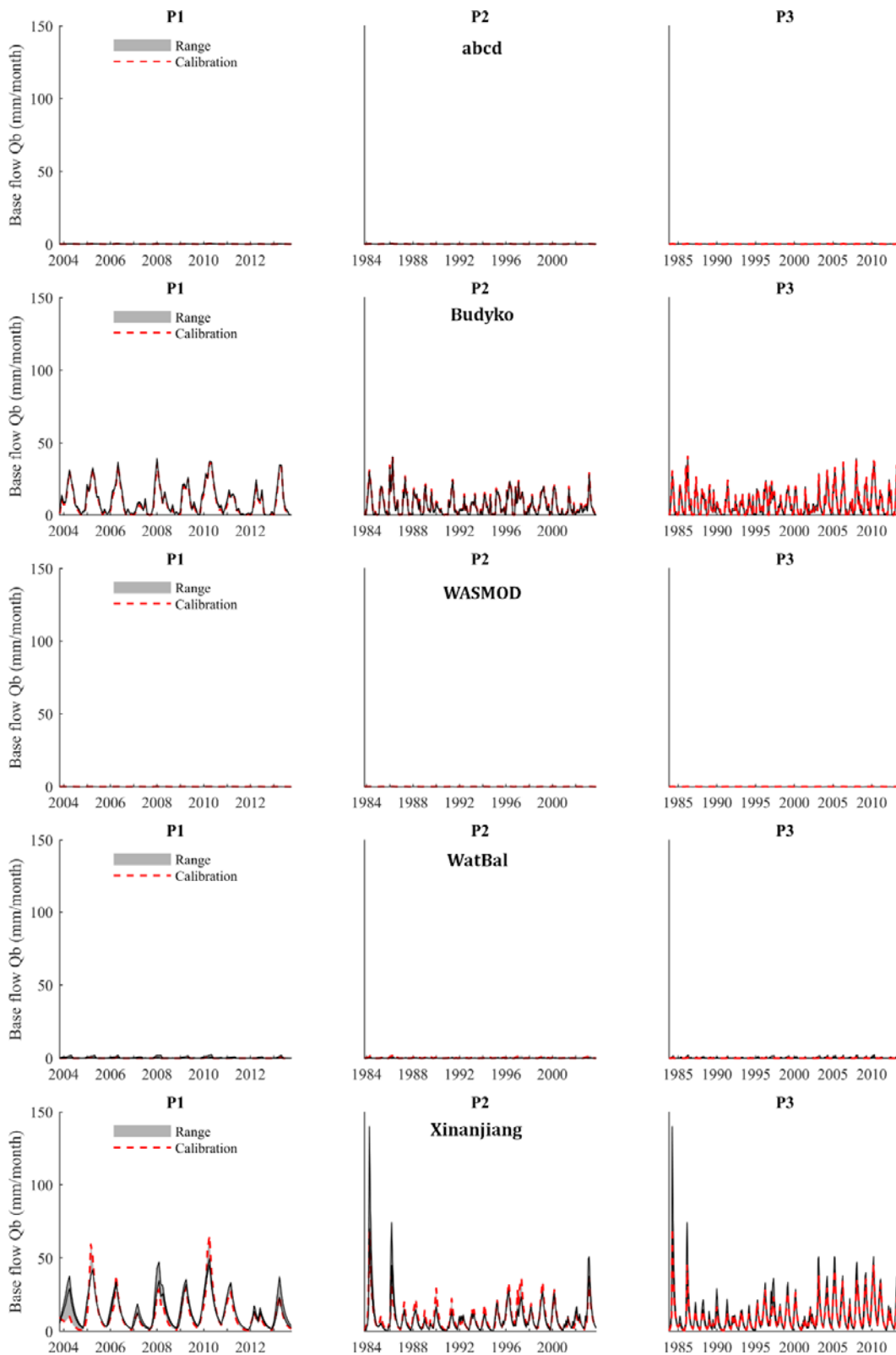
Слика X-8. Симулиране вриједности S на сливу Камп по DSST протоколу.



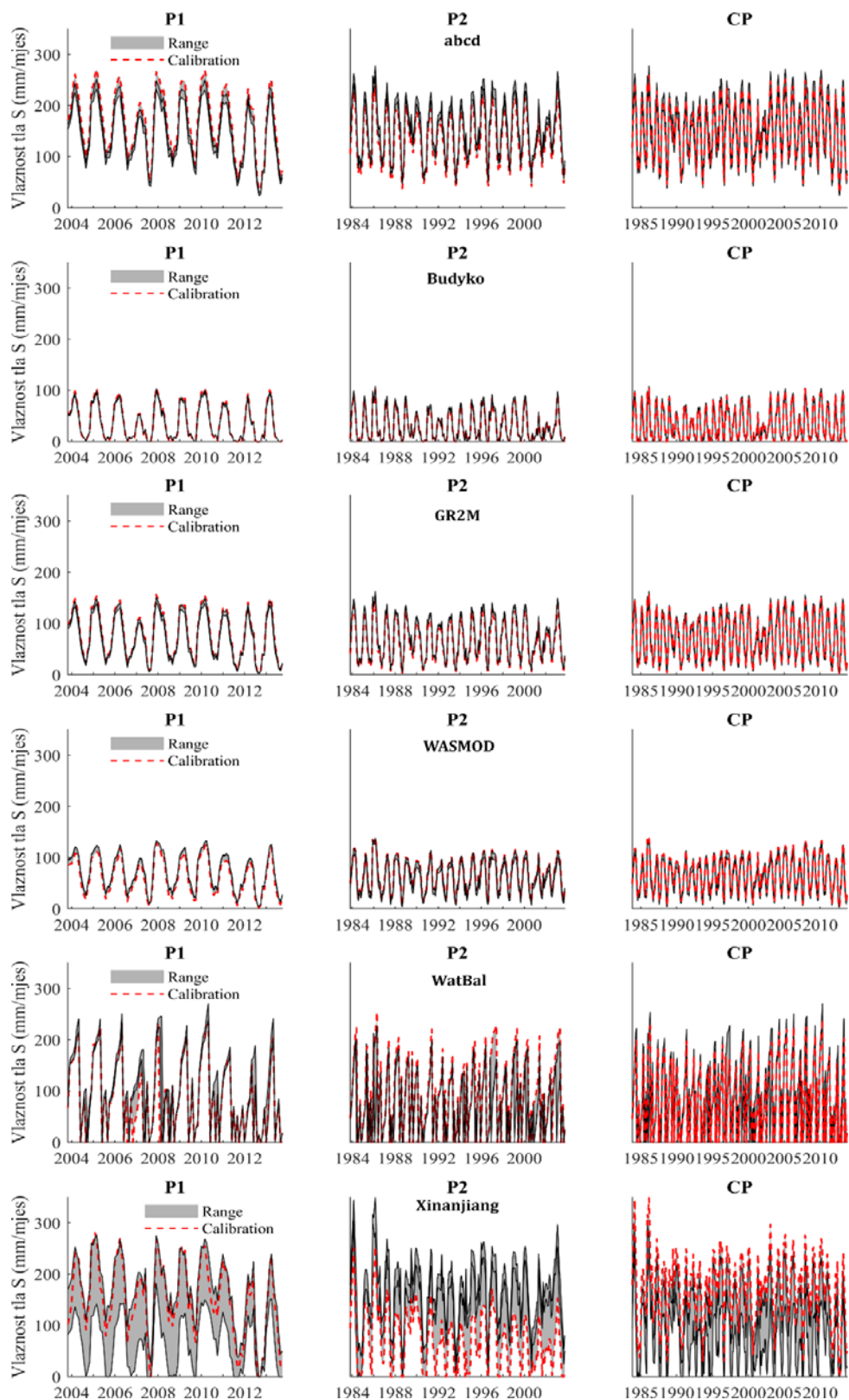
Слика X-9. Вриједности RMAD за G на сливу Топлице по DSST протоколу.



Слика X-10. Вриједности RMAD за влажност тла на сливу Топлице по DSST протоколу.

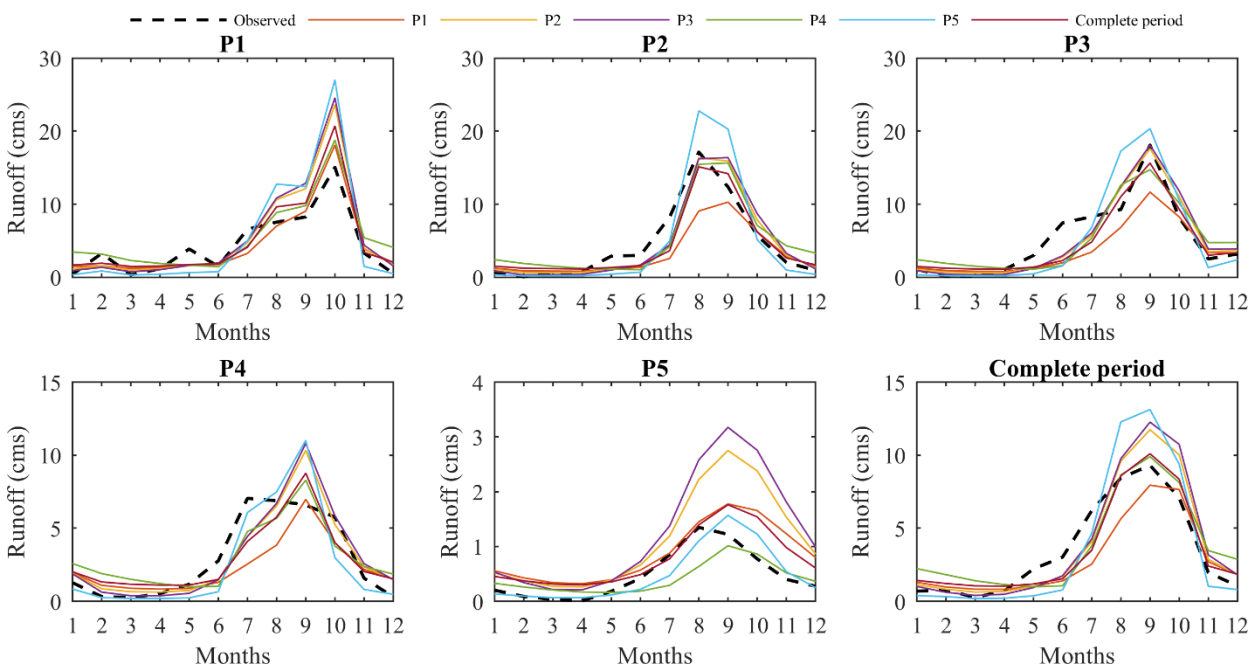


Слика X-11. Симулиране вриједности базног отицаја на сливу Топлице по DSST протоколу.

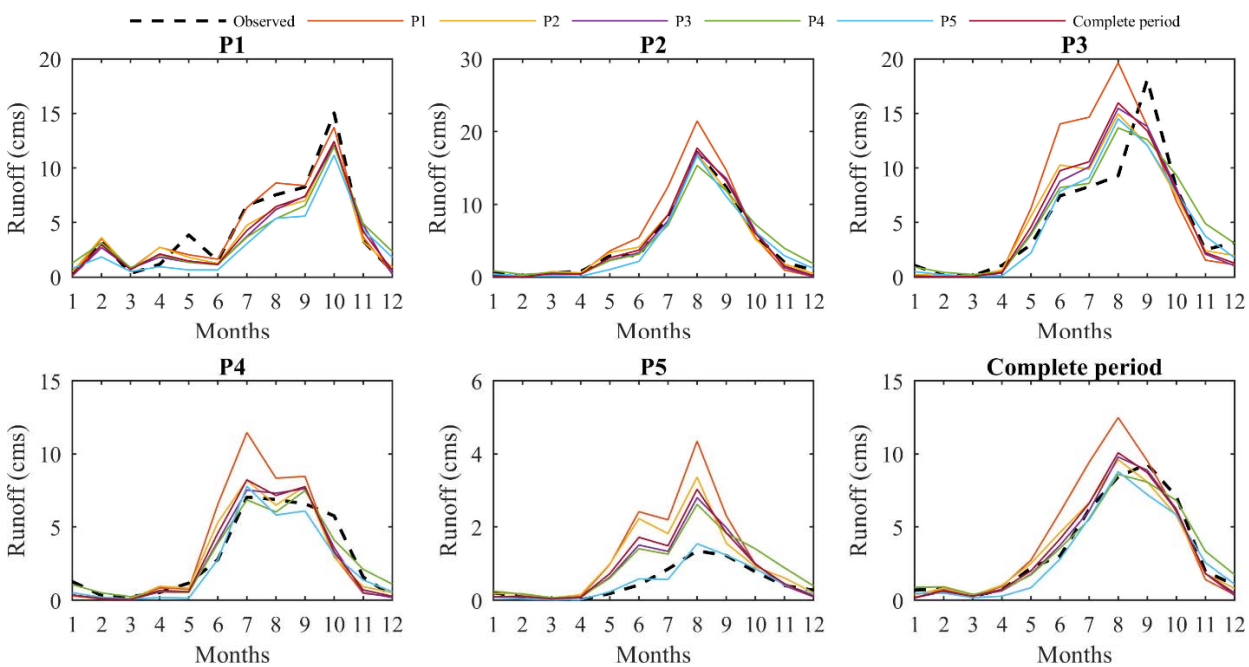


Слика X-12. Симулиране вриједности S на сливу Топлица по DSST протоколу.

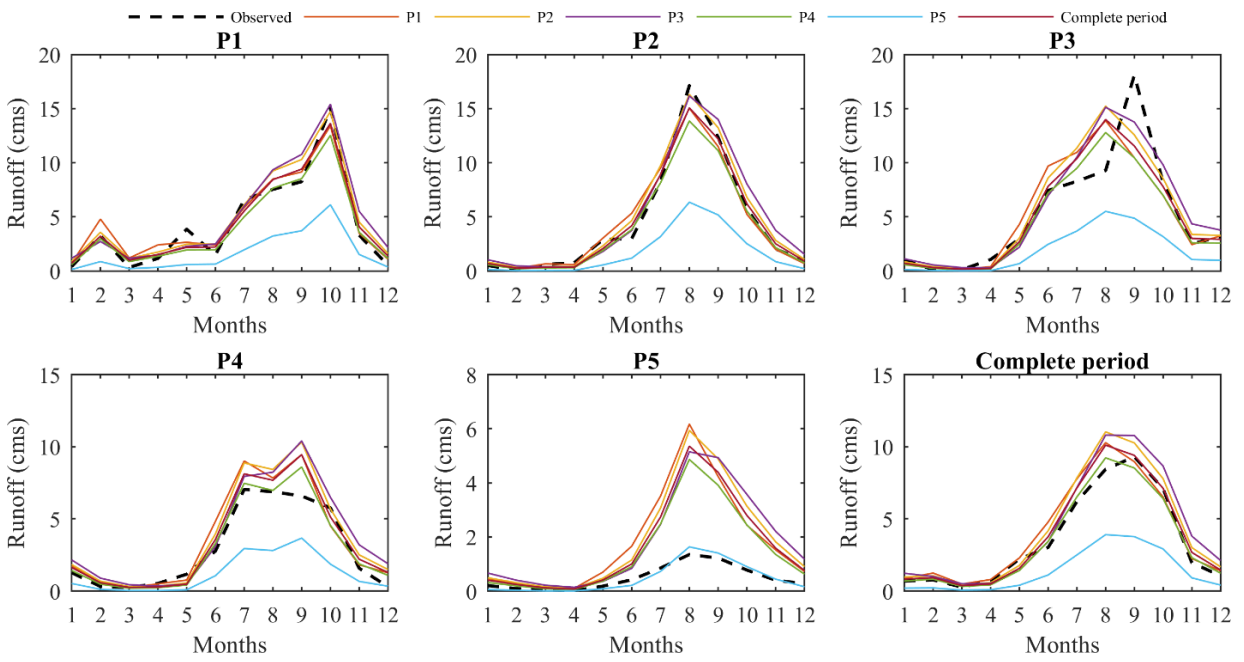
ПРИЛОГ XI. Субјективна оцјена ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 1 (ПМ1)



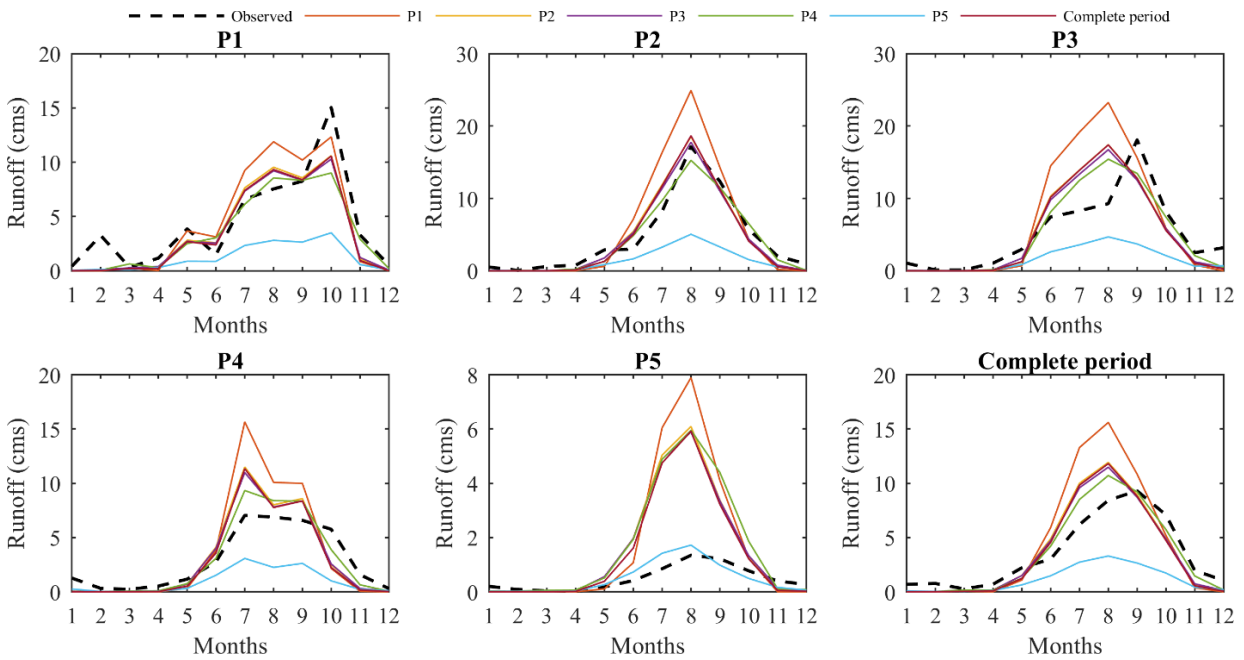
Слика XI-1. Унутаргодишња расподјела протицаја *abcd* модела на сливу Вимера.



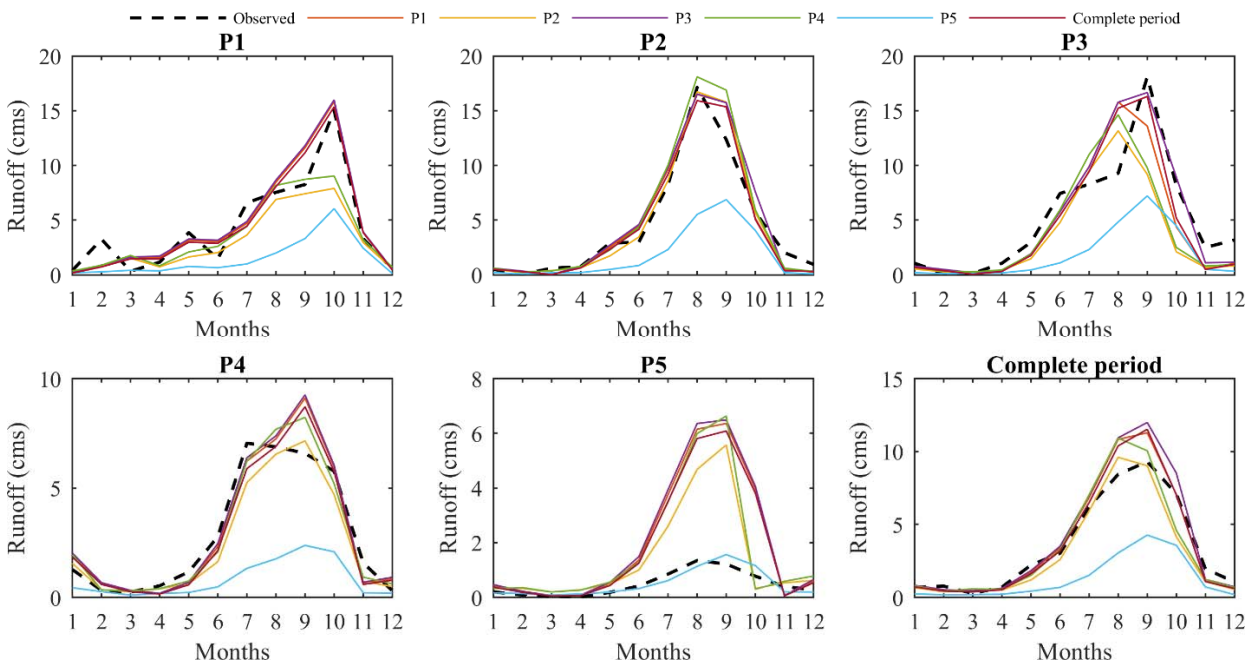
Слика XI-2. Унутаргодишња расподјела протицаја Вудуко модела на сливу Вимера.



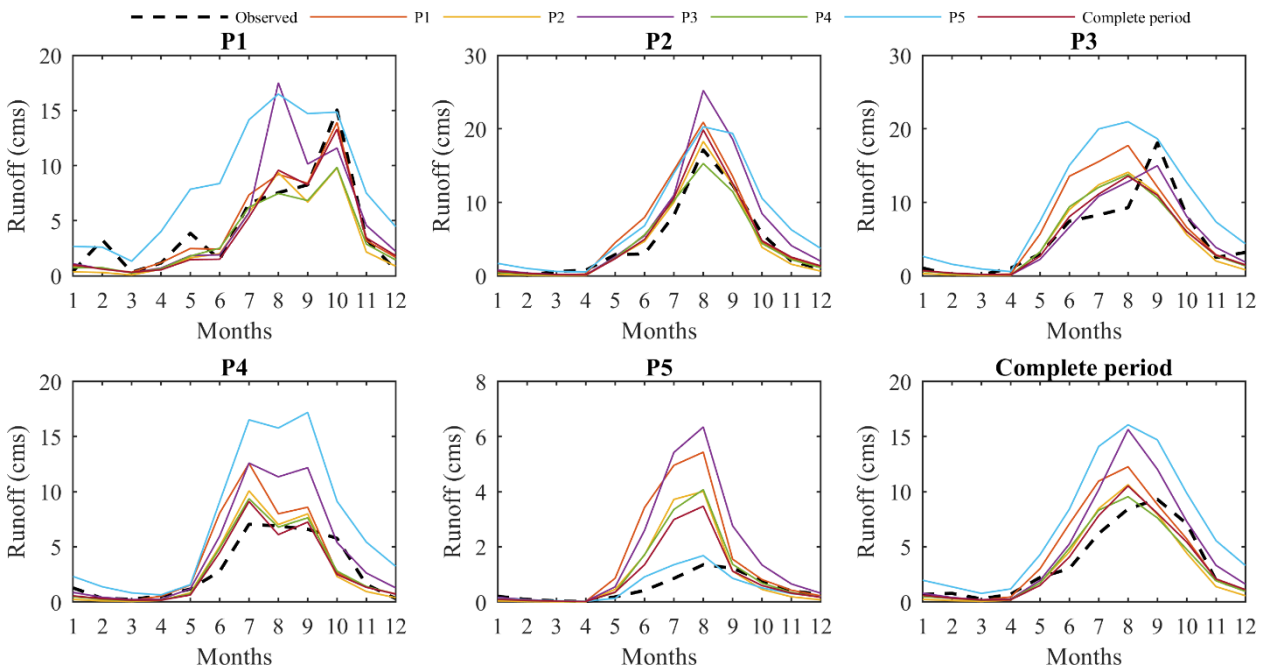
Слика XI-3. Унутаргодишња расподјела протицаја GR2M модела на сливу Вимера.



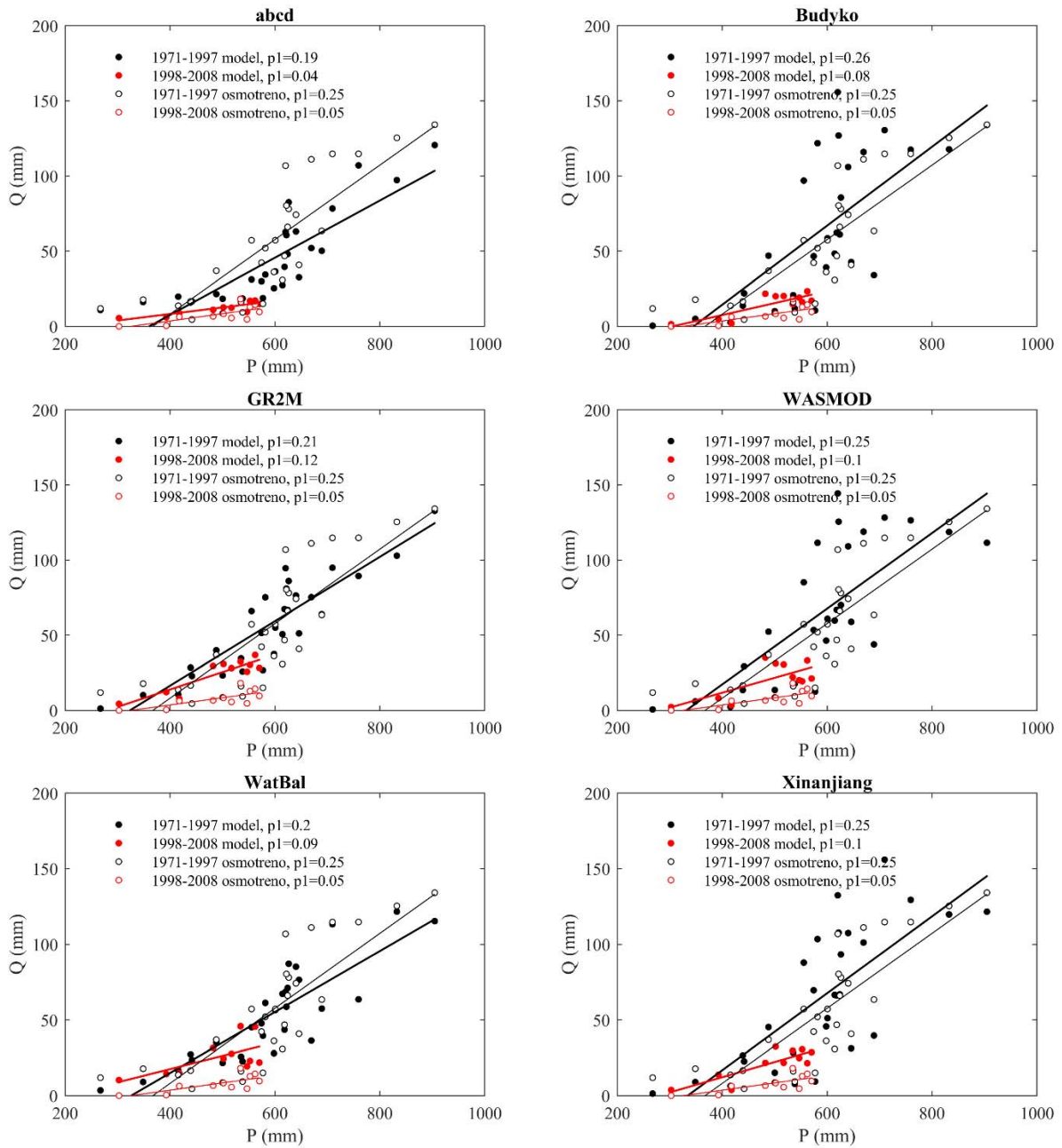
Слика XI-4. Унутаргодишња расподјела протицаја WASMOD-а на сливу Вимера.



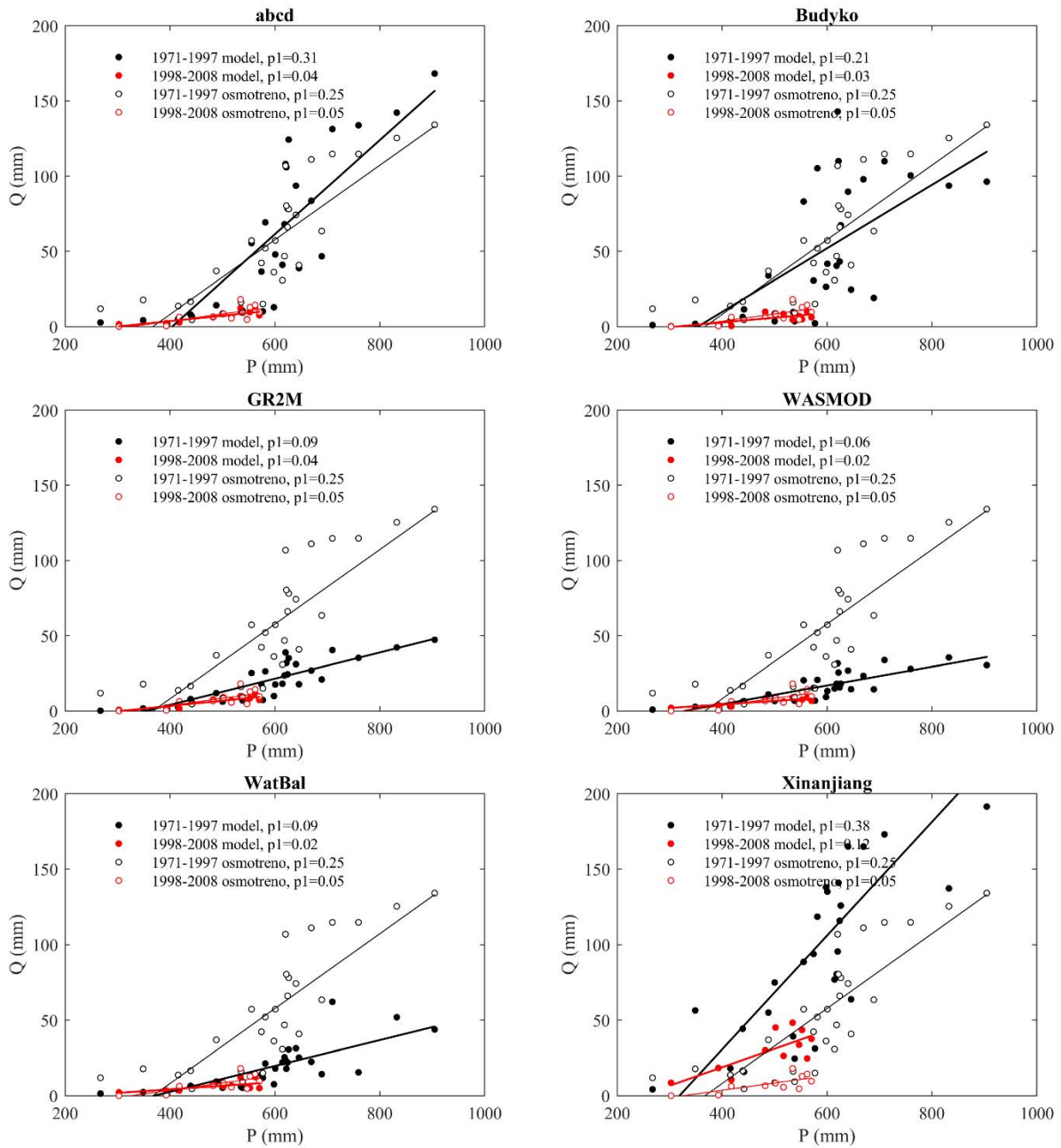
Слика XI-5. Унутаргодишња расподјела протичаја WatBal модела на сливу Вимера.



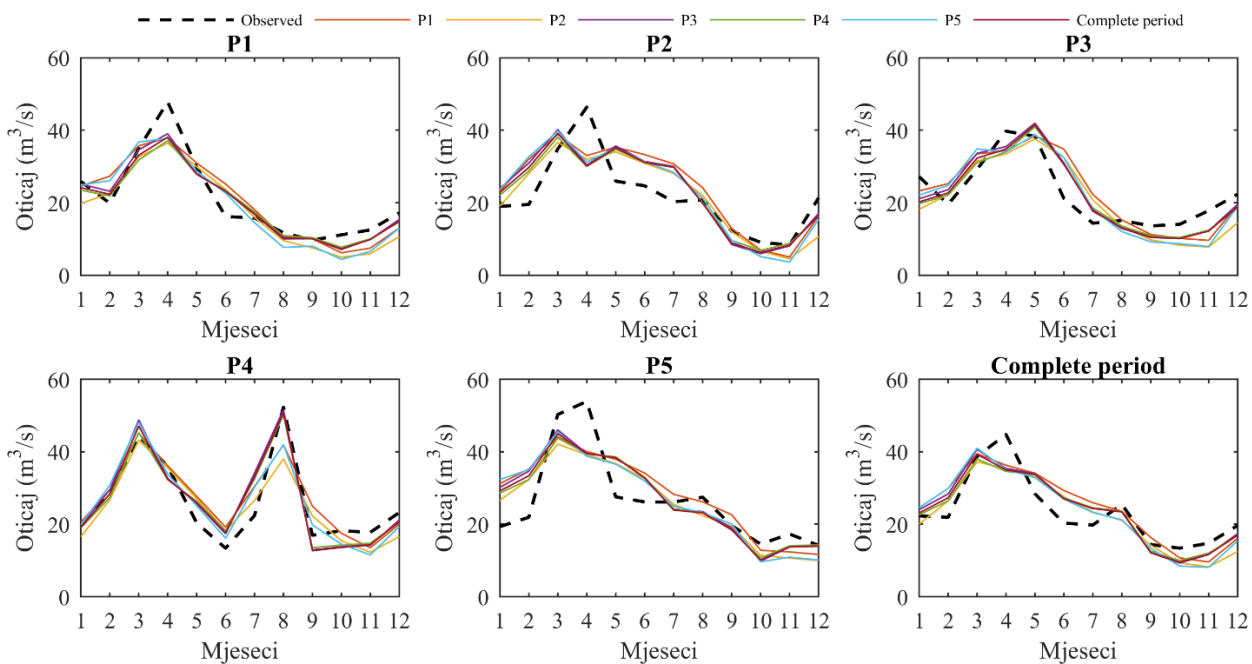
Слика XI-6. Унутаргодишња расподјела протичаја Xinanjiang модела на сливу Вимера.



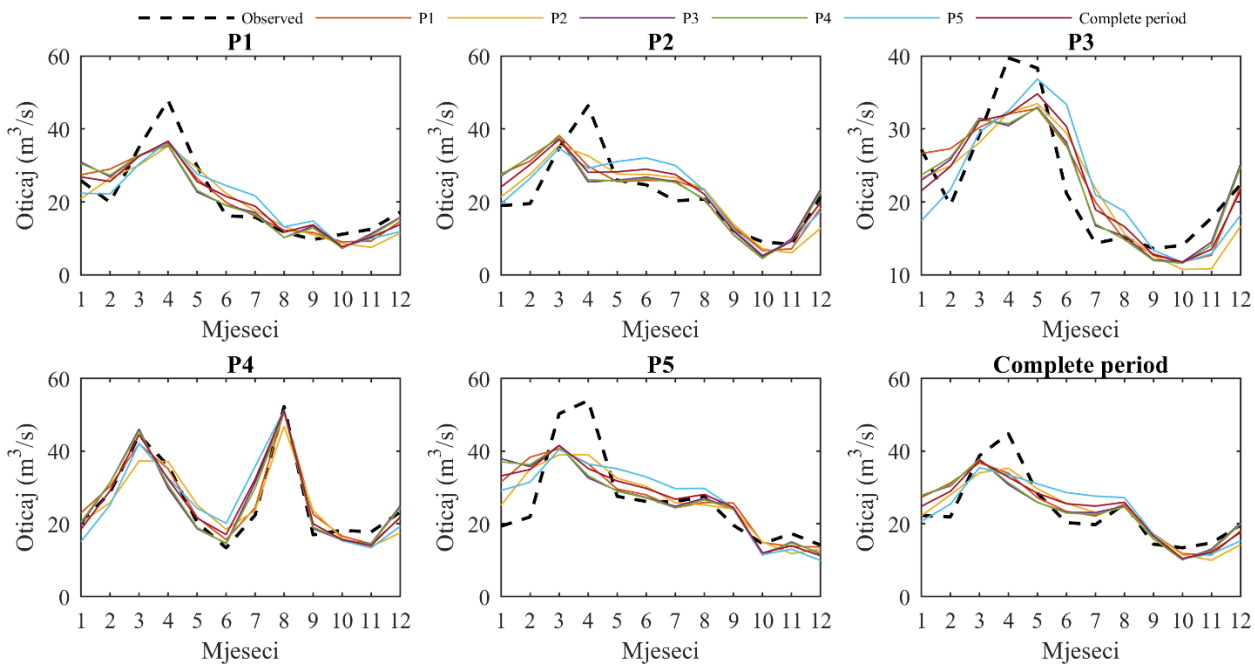
Слика XI-7. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из влажног P1 периода на сливу Вимера.



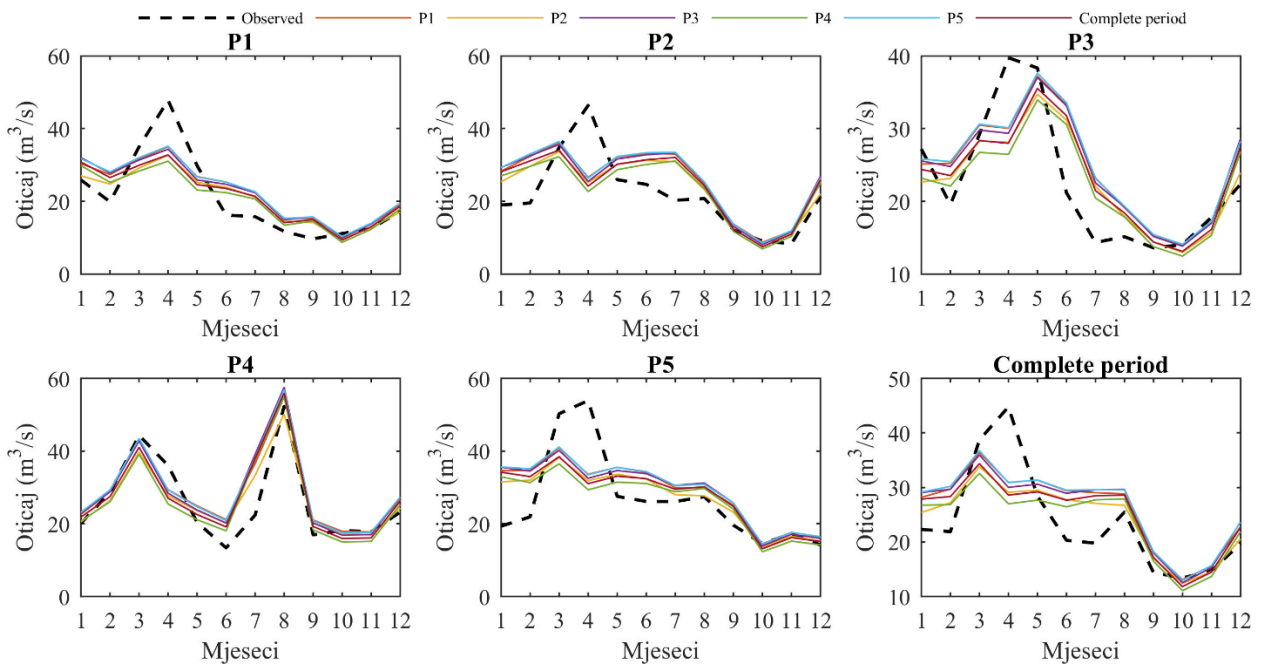
Слика XI-8. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног P5 периода на сливу Вимера.



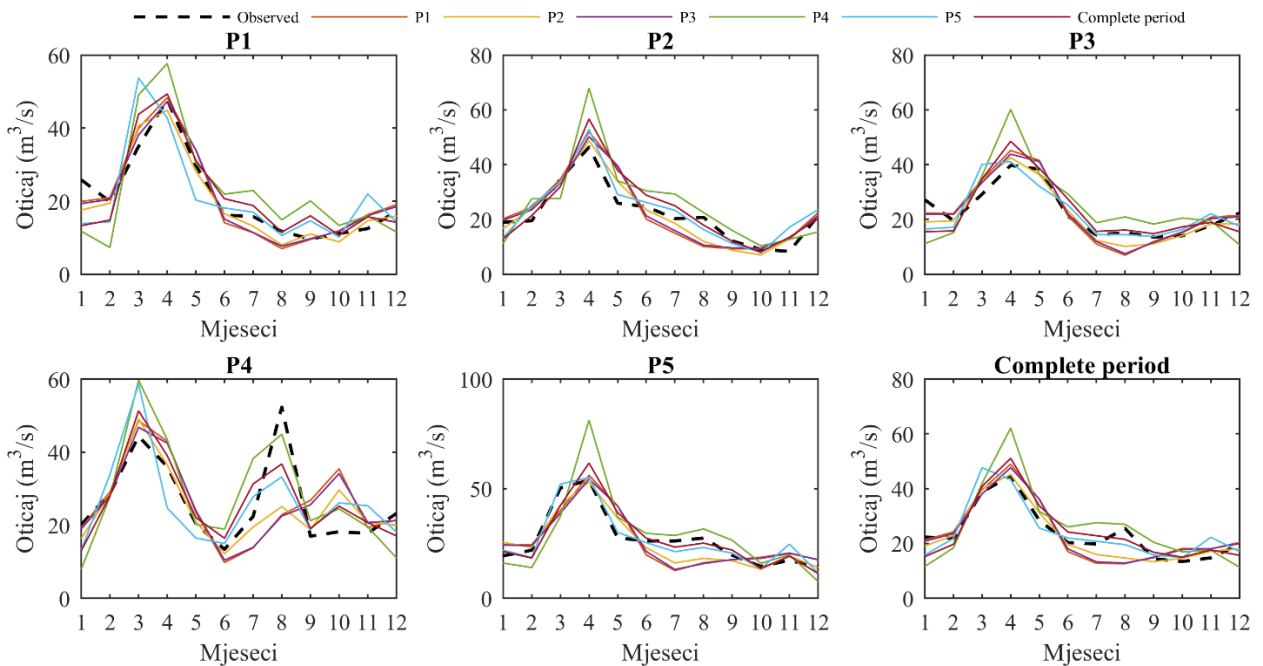
Слика XI-9. Унутаргодишња расподјела протицаја *abcd* модела на сливу Камп.



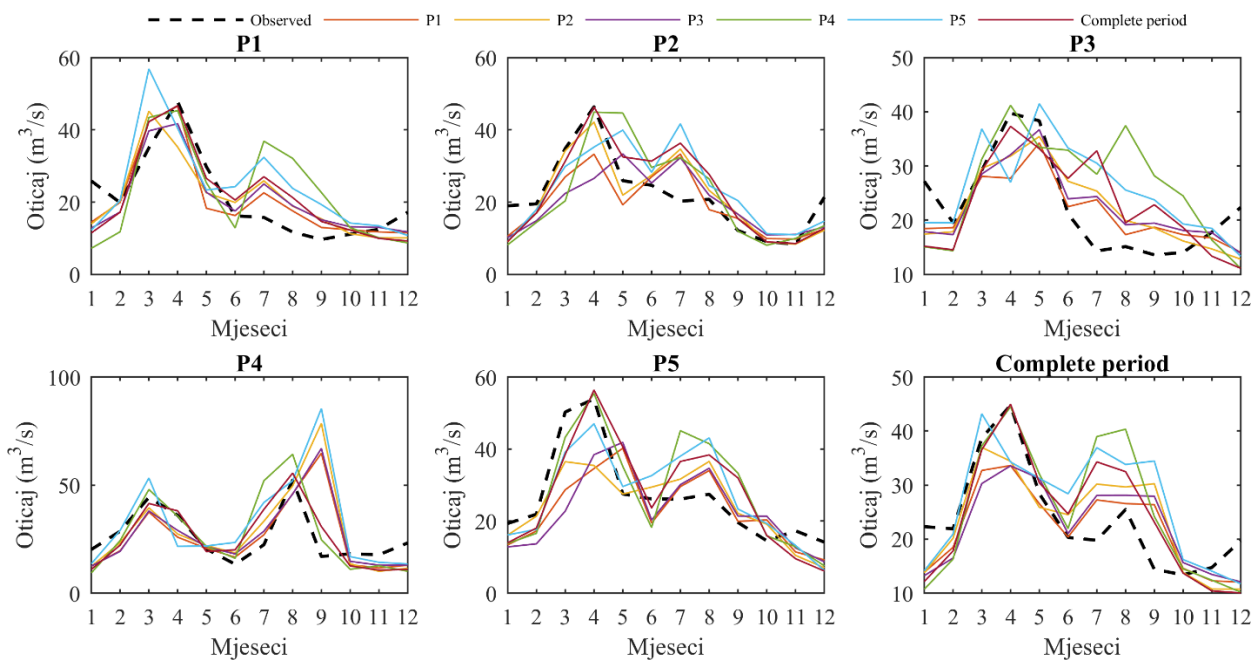
Слика XI-10. Унутаргодишња расподјела протицаја *Vuduko* модела на сливу Камп.



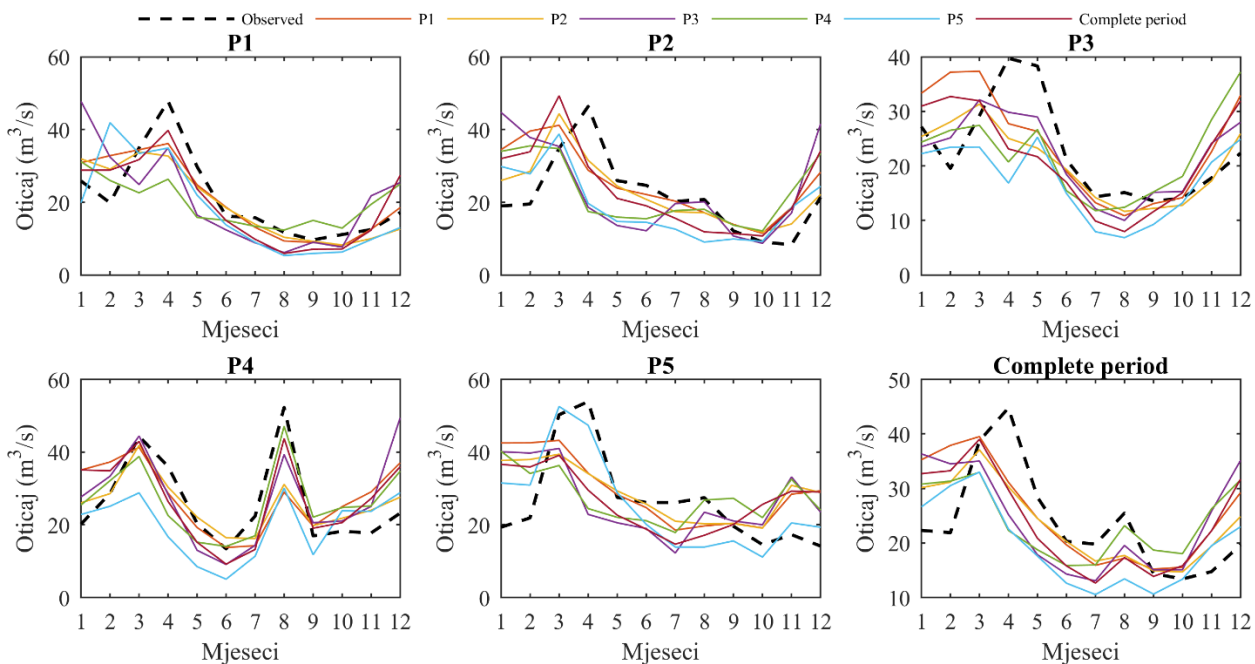
Слика XI-11. Унутаргодишња расподјела протицаја GR2M модела на сливу Камп.



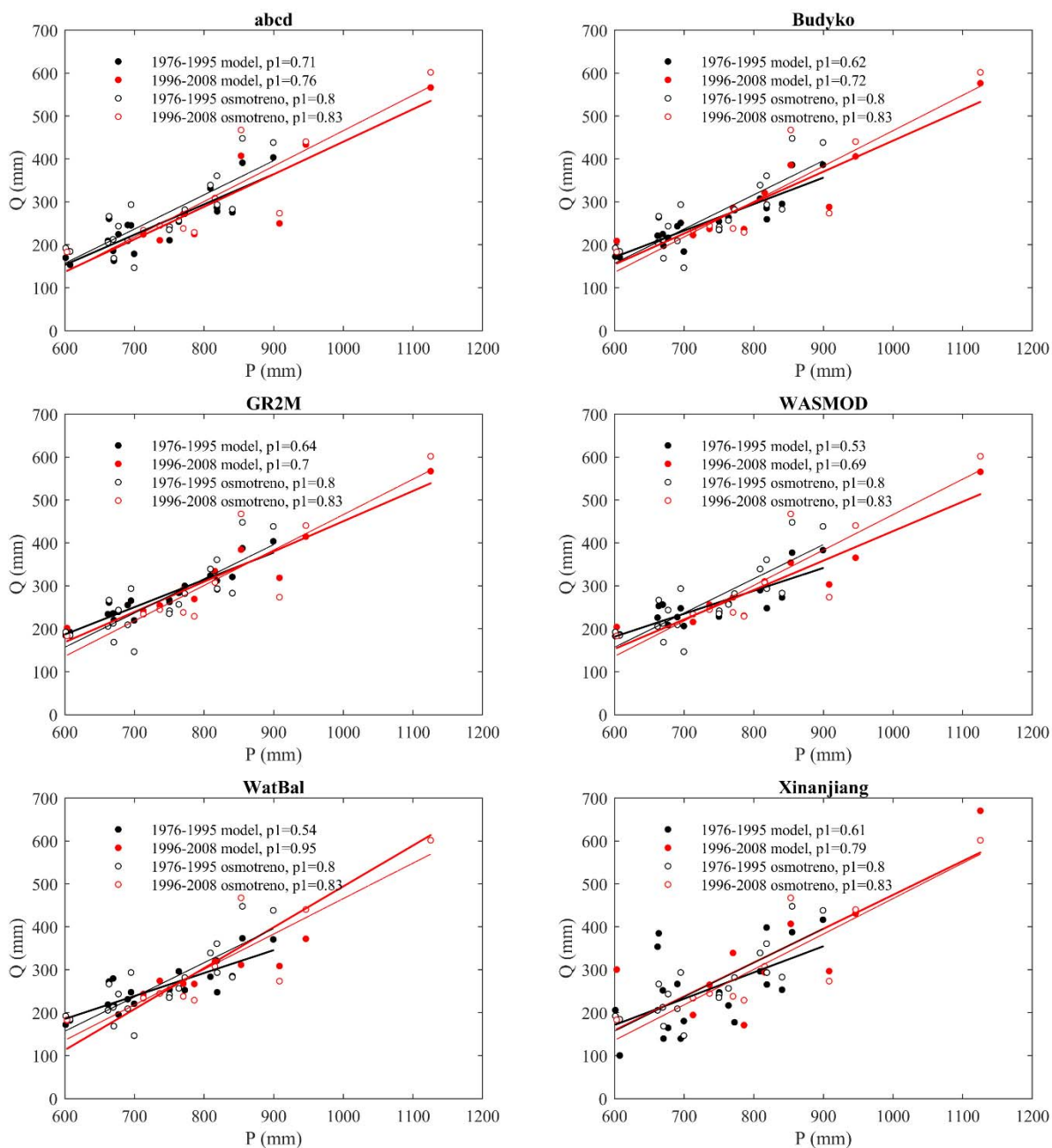
Слика XI-12. Унутаргодишња расподјела протицаја WASMOD-а на сливу Камп.



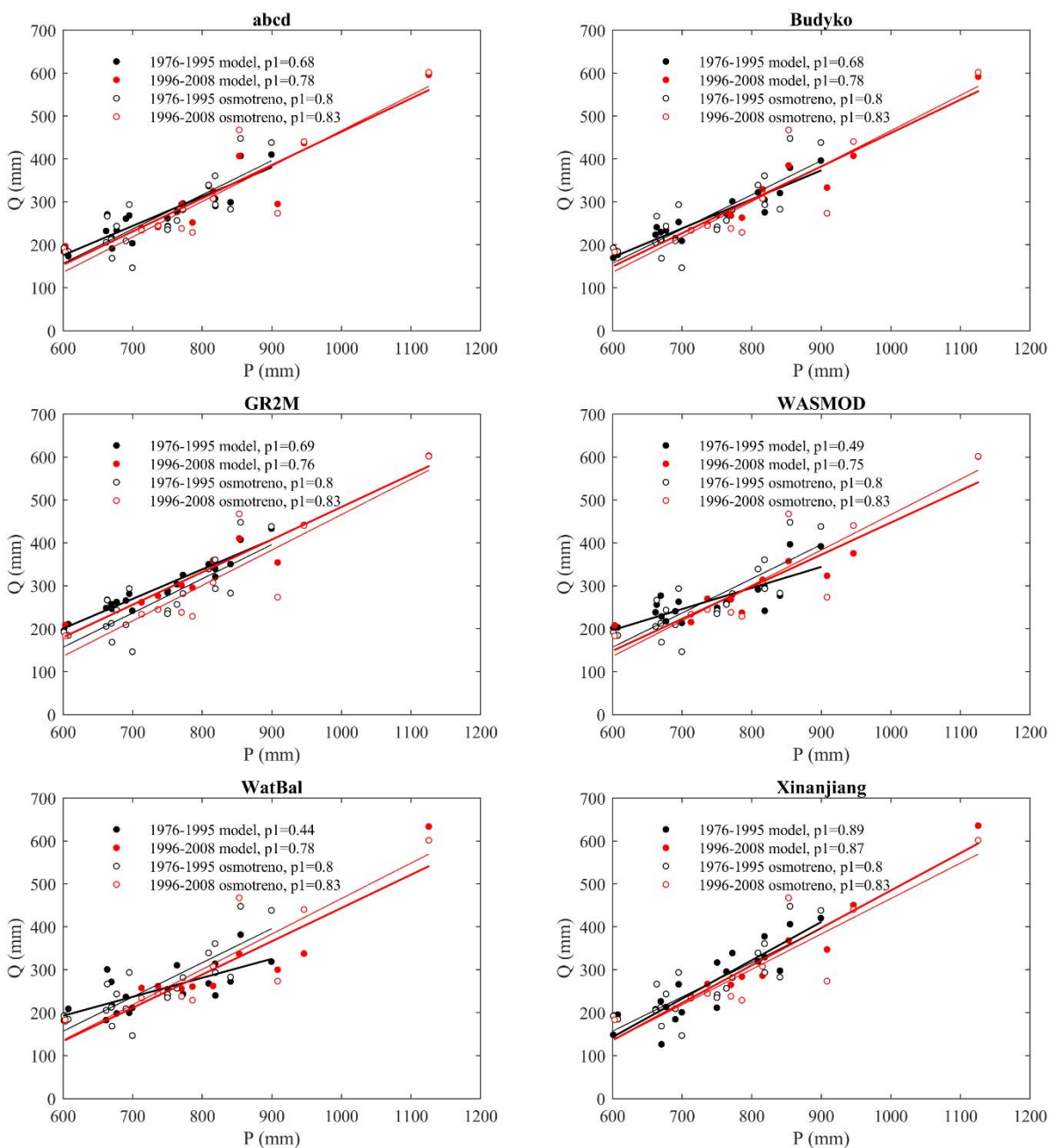
Слика XI-13. Унутаргодишња расподела протицаја WatBal модела на сливу Камп.



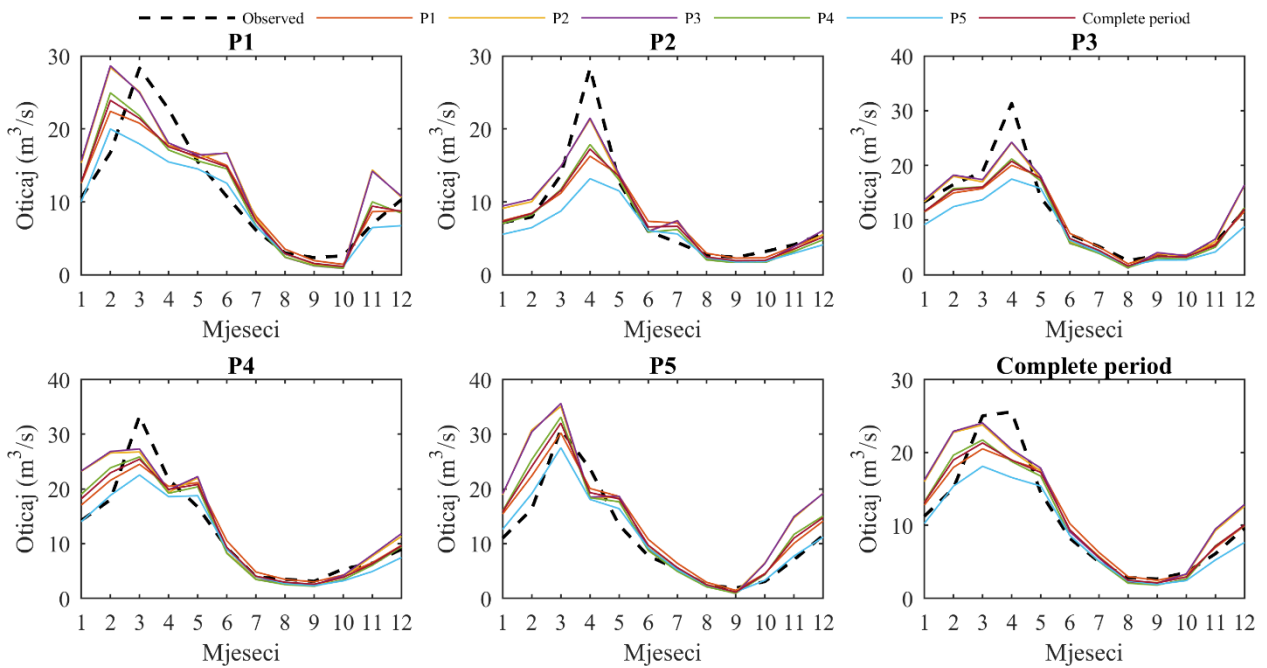
Слика XI-14. Унутаргодишња расподела протицаја Xinanjiang модела на сливу Камп.



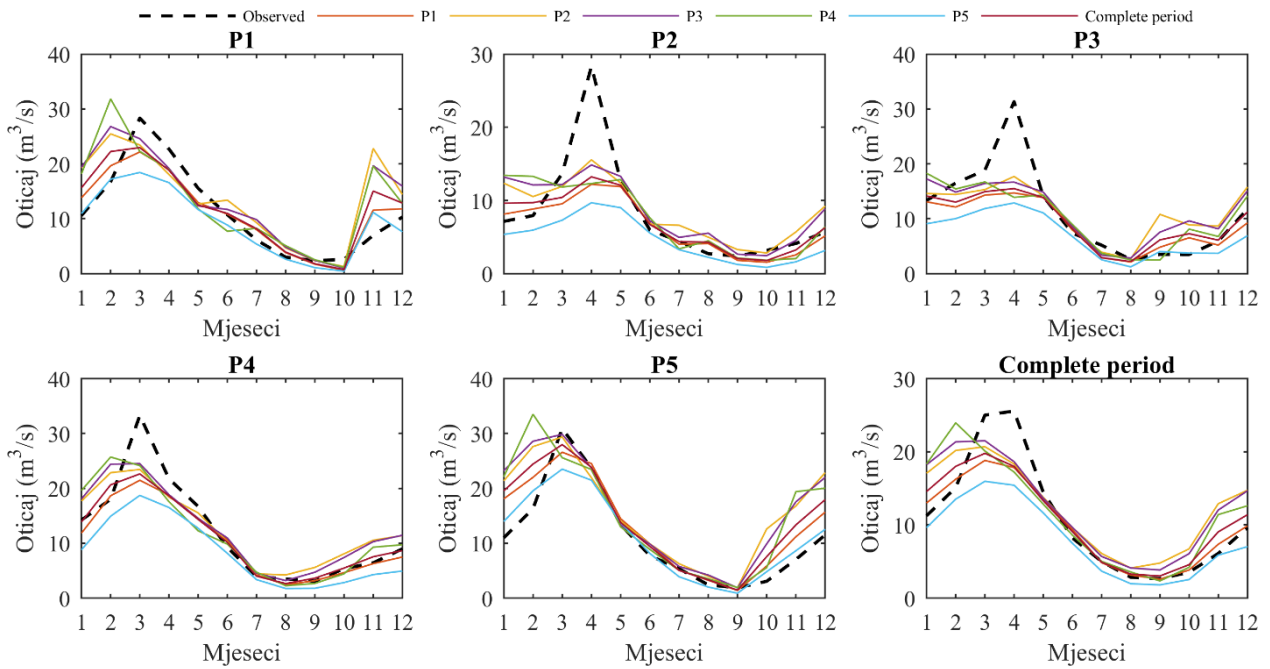
Слика XI-15. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног P2 периода на сливу Камп.



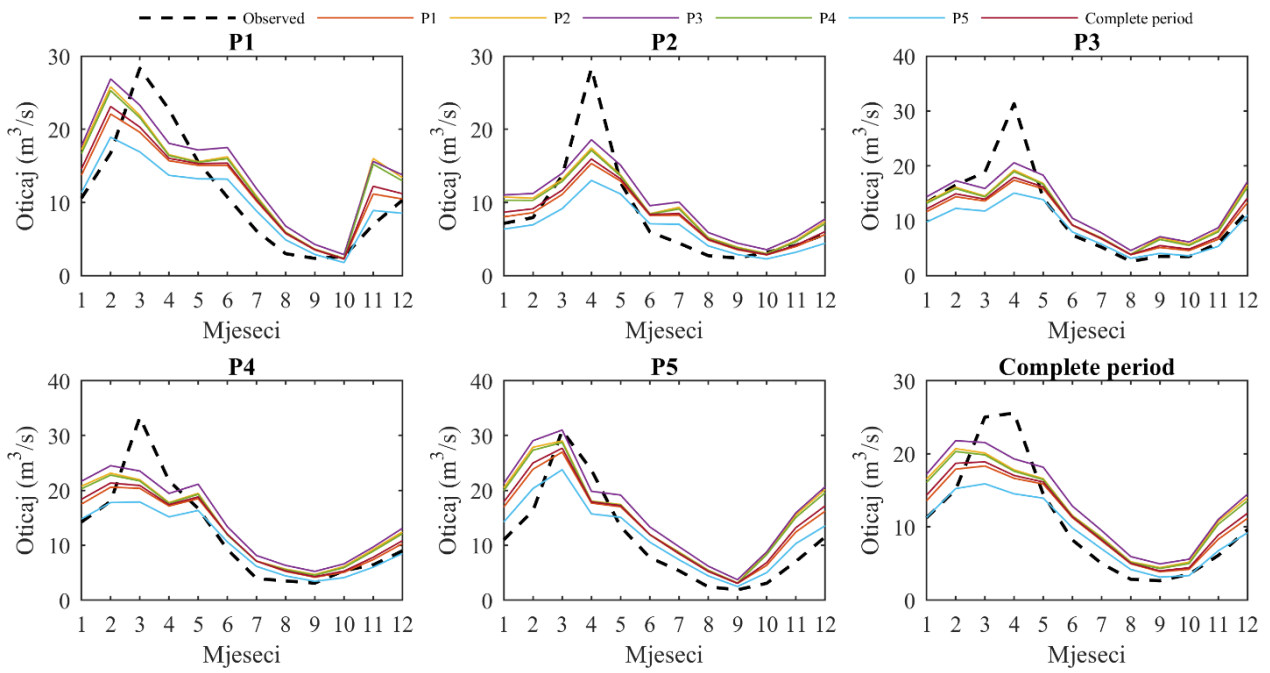
Слика XI-16. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из мјешовитог P3 периода на сливу Камп.



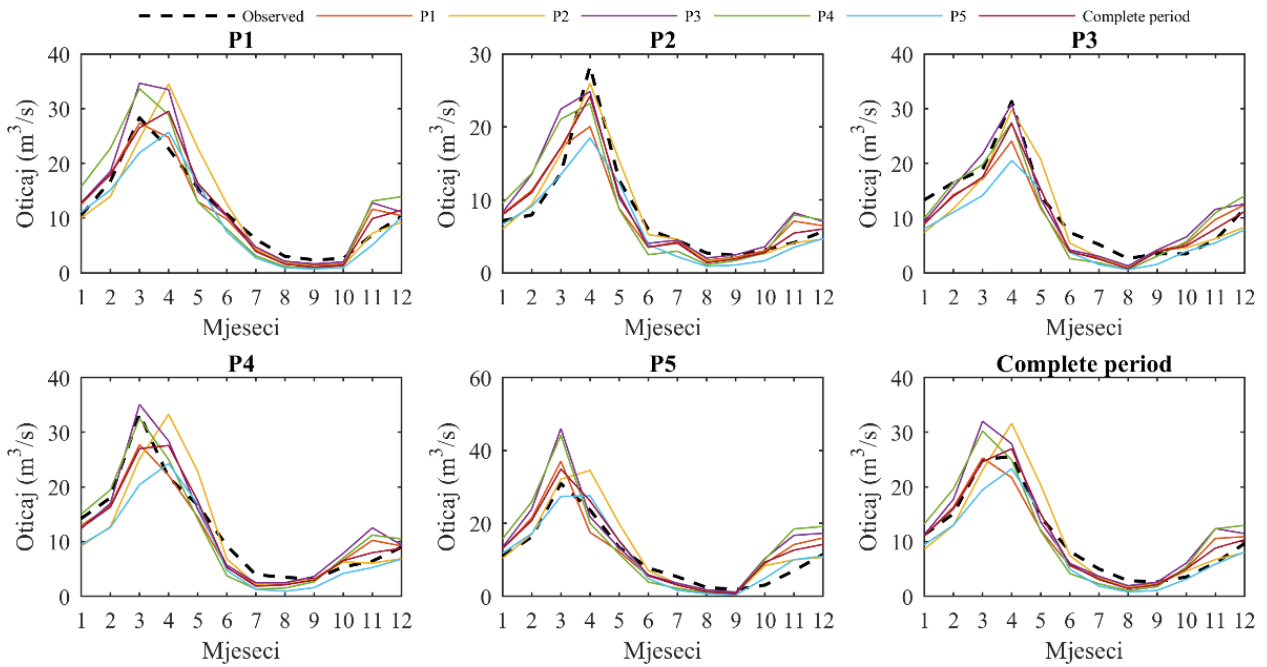
Слика XI-17. Унутаргодишња расподјела протицаја *abcđ* модела на сливу Топлице.



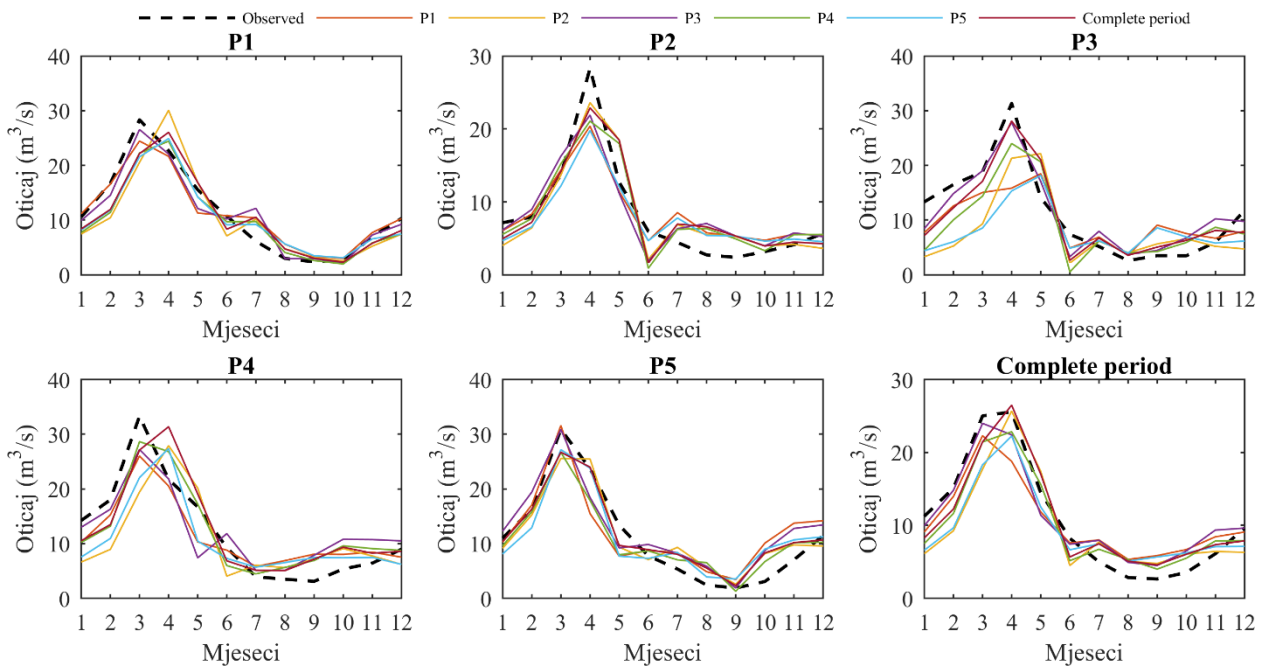
Слика XI-18. Унутаргодишња расподјела протицаја Видуко модела на сливу Топлице.



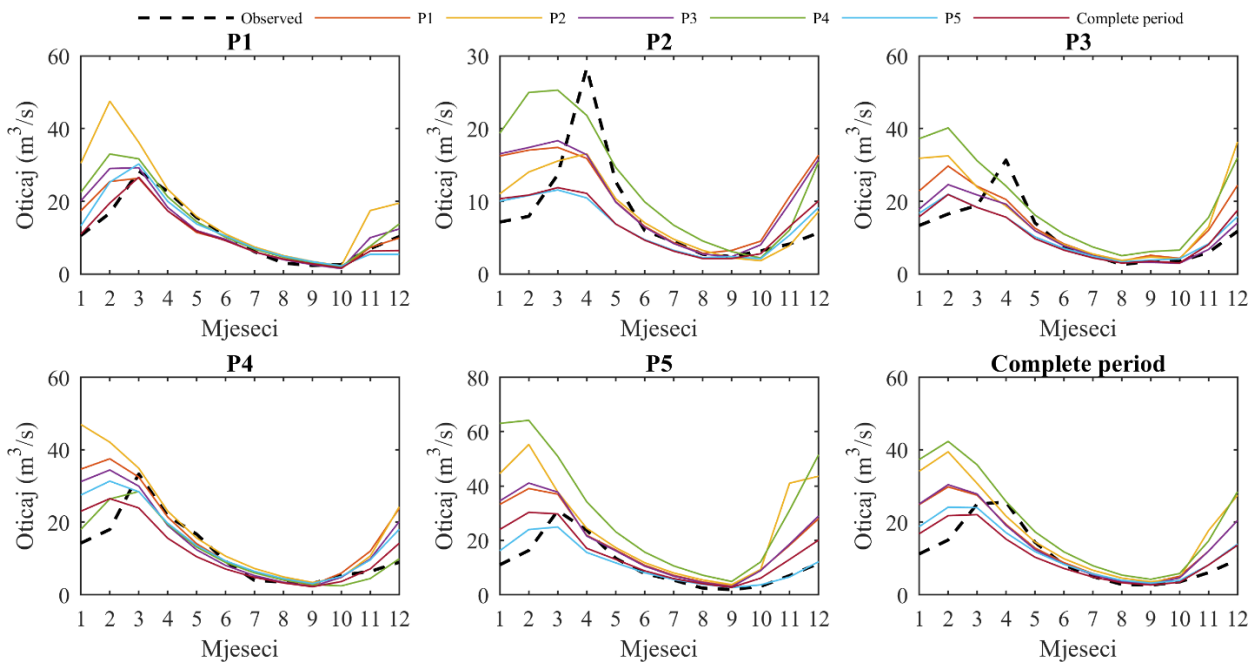
Слика XI-19. Унутаргодишња расподјела протицаја GR2M модела на сливу Топлице.



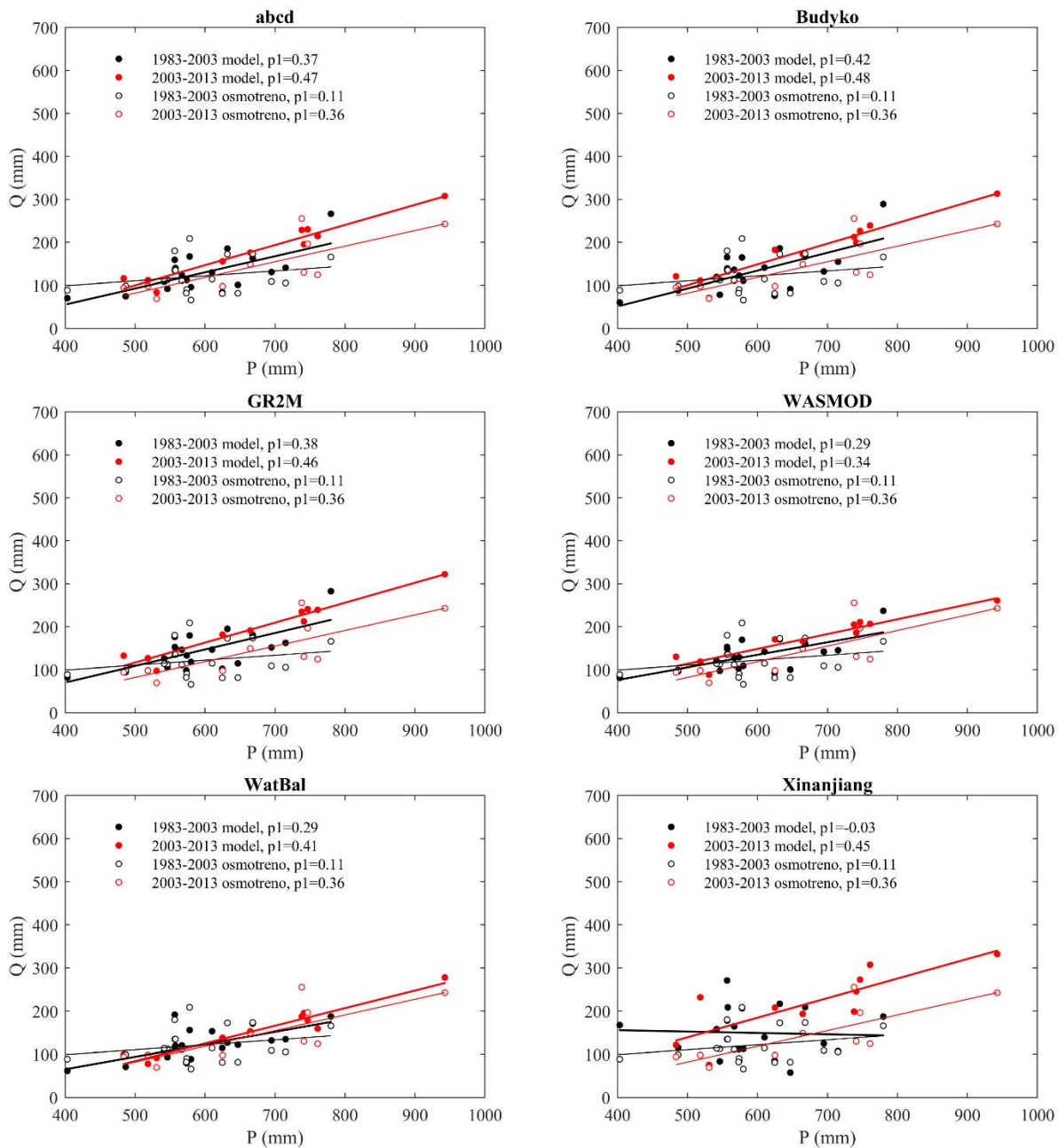
Слика XI-20. Унутаргодишња расподјела протицаја WASMOD-а на сливу Топлице.



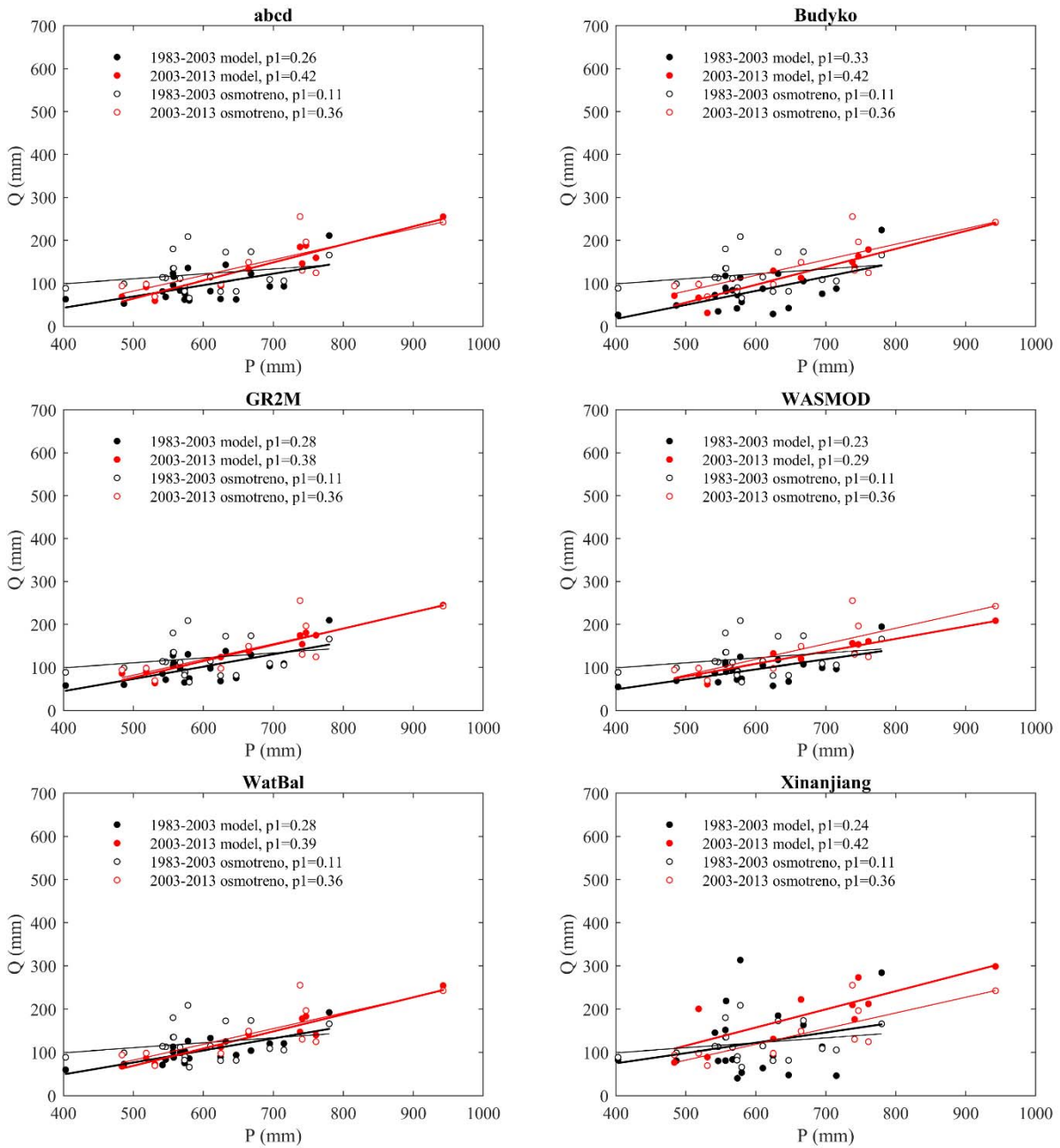
Слика XI-21. Унутаргодишња расподела протицаја WatBal модела на сливу Топлице.



Слика XI-22. Унутаргодишња расподела протицаја Xinanjiang модела на сливу Топлице.

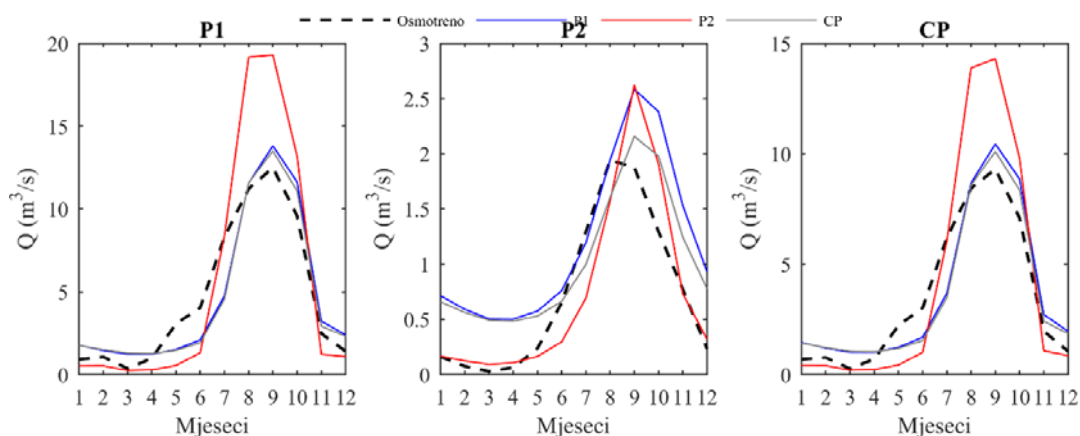


Слика XI-23. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из водног P3 периода на сливу Топлице.

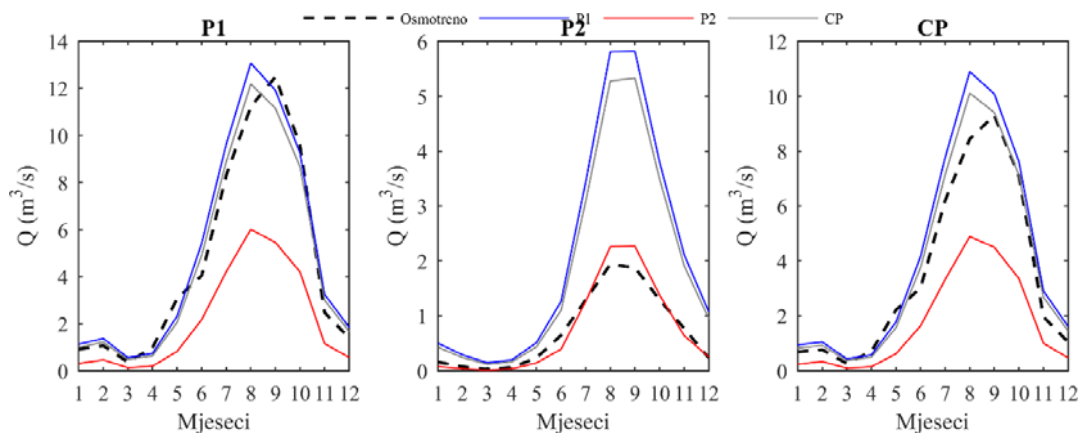


Слика XI-24. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног P5 периода на сливу Топлице.

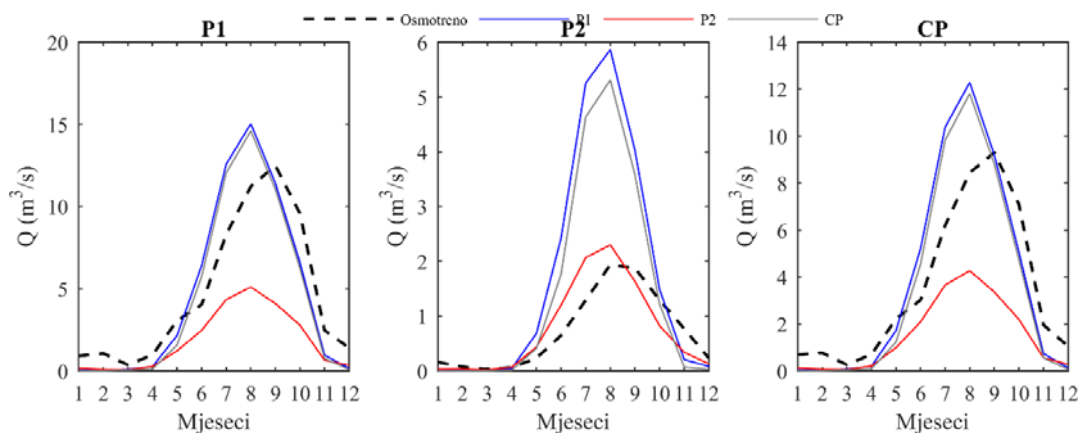
ПРИЛОГ XII. Субјективна оцјена ефикасности модела у једнокритеријумској оптимизацији и приступу моделирању 2 (ПМ2)



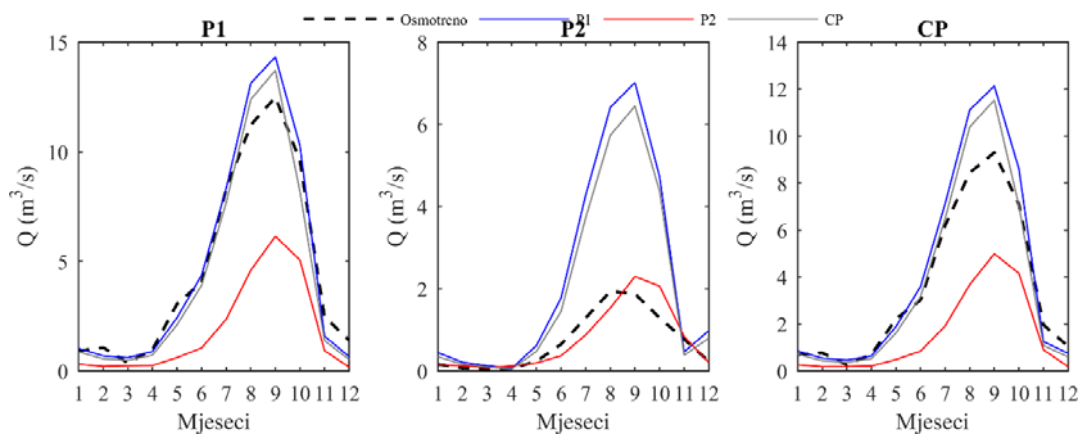
Слика XII-1. Унутаргодишња расподела протицаја *abcd* модела на сливу Вимера.



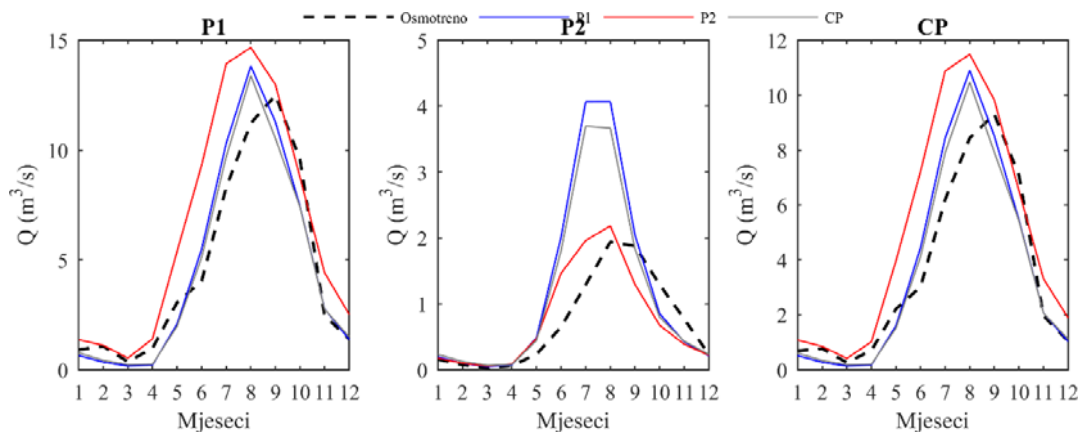
Слика XII-2. Унутаргодишња расподела протицаја GR2M модела на сливу Вимера.



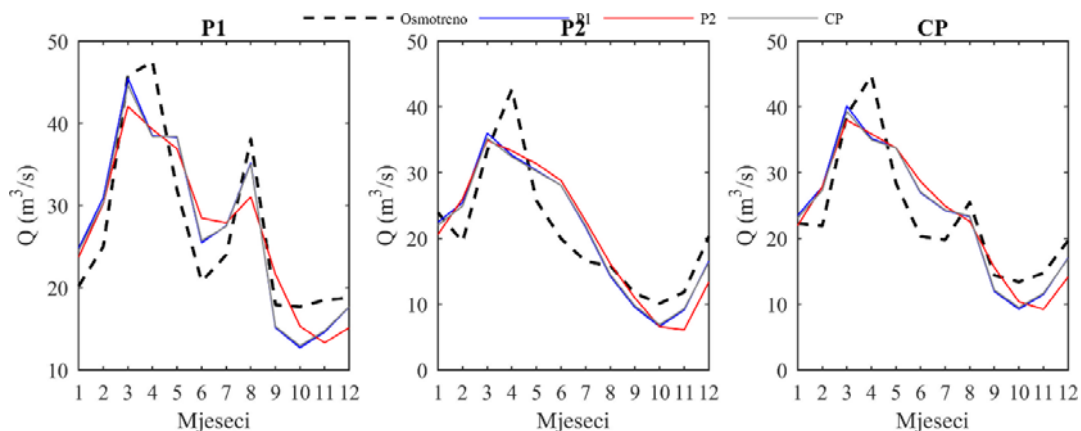
Слика XII-3. Унутаргодишња расподела протицаја WASMOD-а на сливу Вимера.



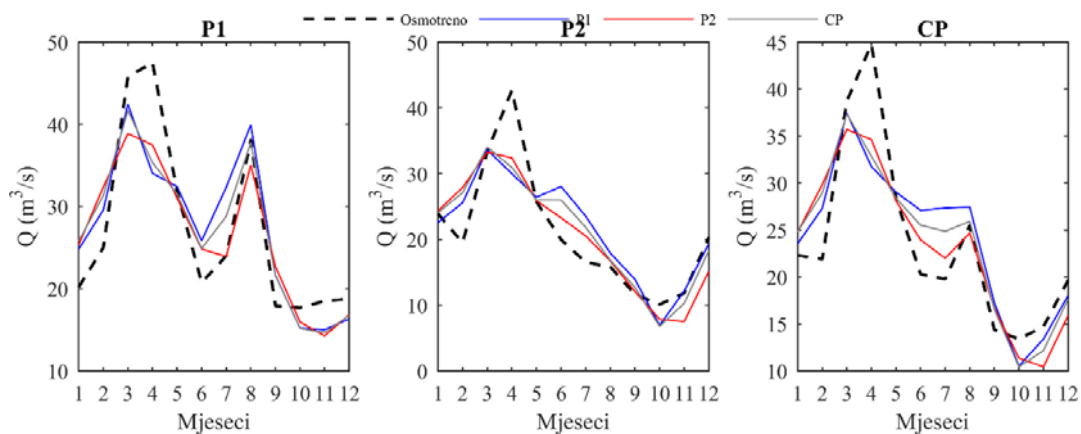
Слика XII-4. Унутаргодишња расподела протицаја WatBal модела на сливу Вимера.



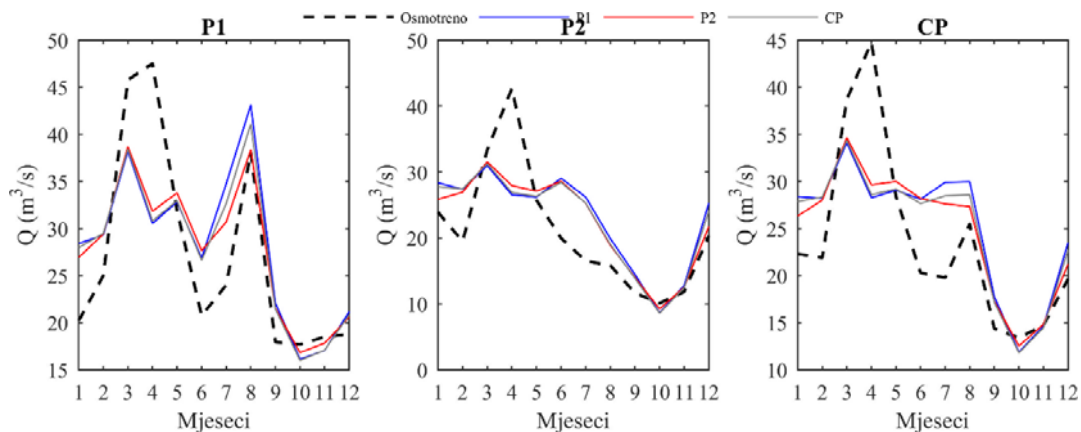
Слика XII-5. Унутаргодишња расподела протицаја Xinanjiang модела на сливу Вимера.



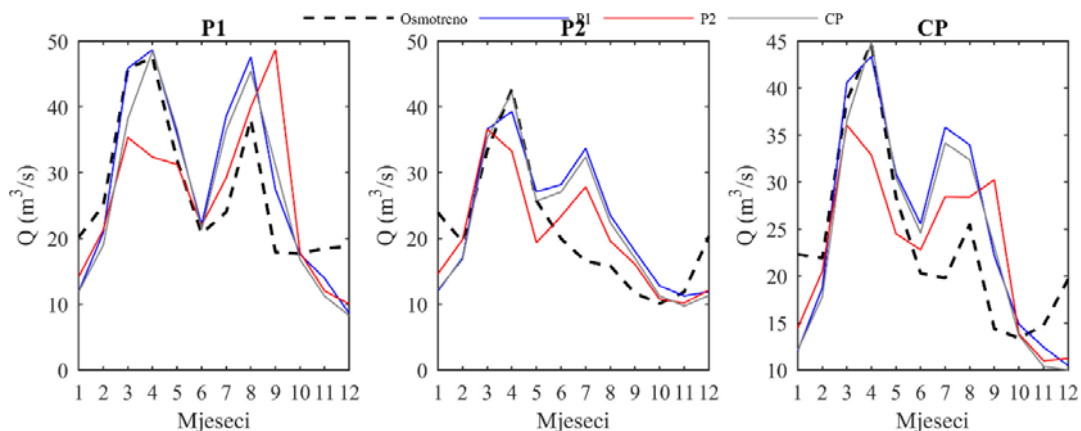
Слика XII-6. Унутаргодишња расподела протицаја abcd модела на сливу Камп.



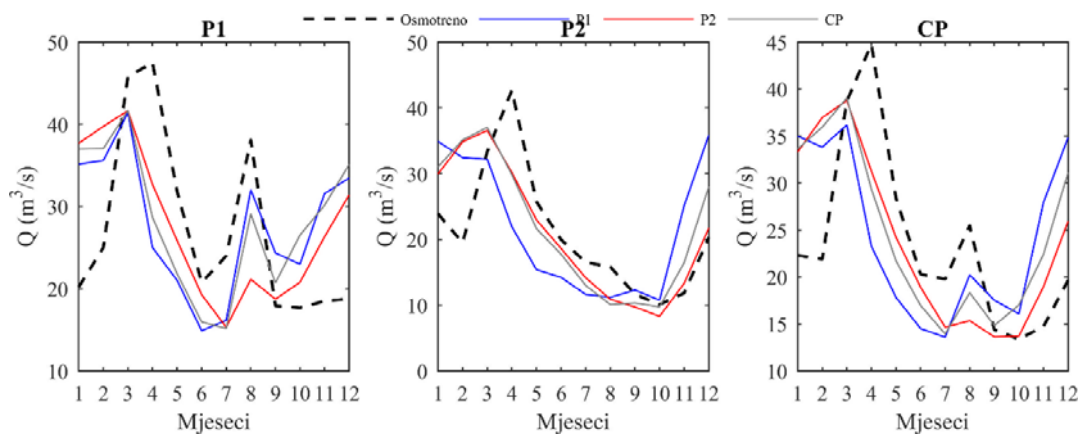
Слика XII-7. Унутаргодишња расподјела протицаја Видуко модела на сливу Камп.



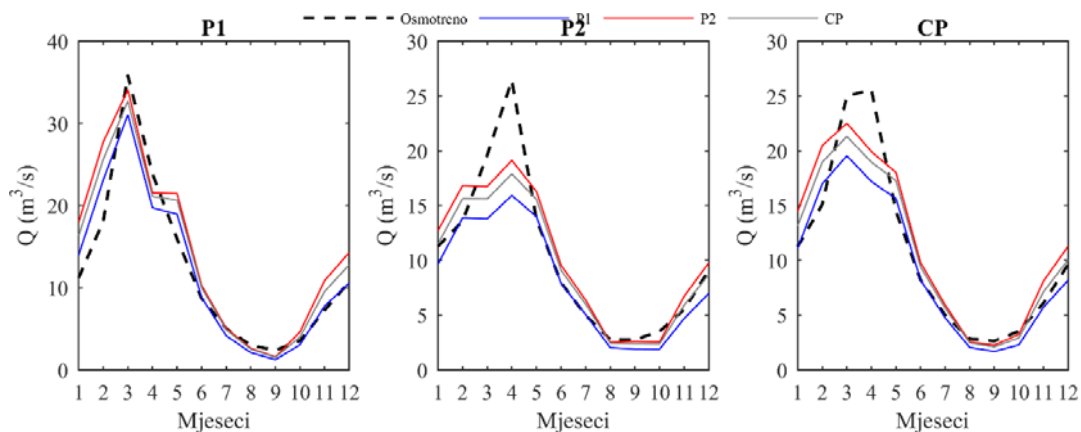
Слика XII-8. Унутаргодишња расподјела протицаја GR2M модела на сливу Камп.



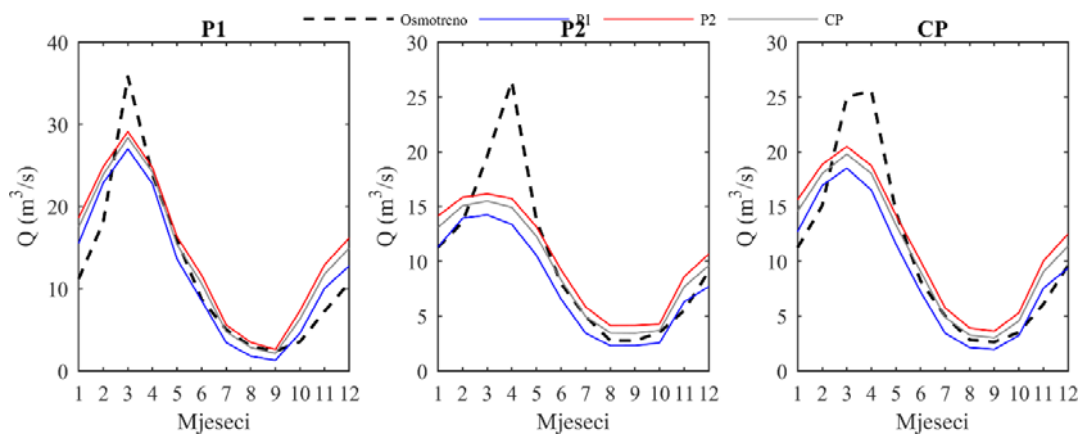
Слика XII-9. Унутаргодишња расподјела протицаја WatBal модела на сливу Камп.



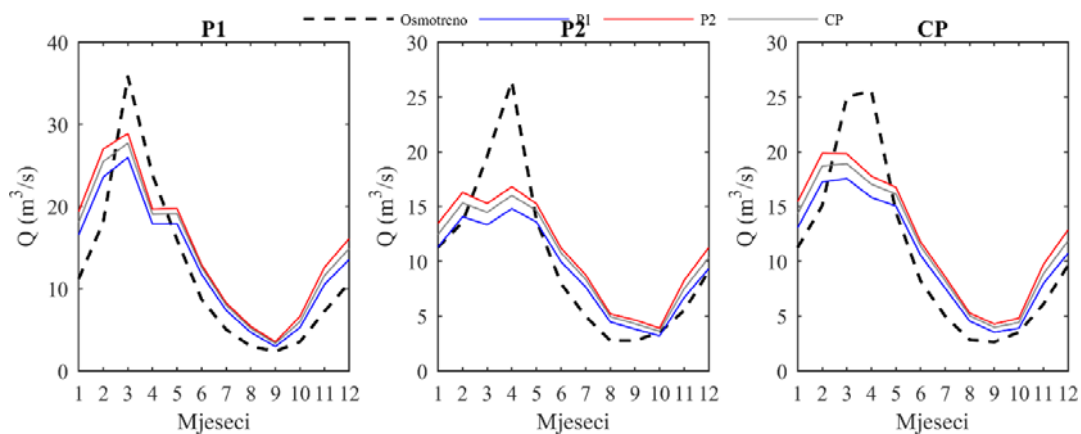
Слика XII-10. Унутаргодишња расподела протицаја Xinanjiang модела на сливу Камп.



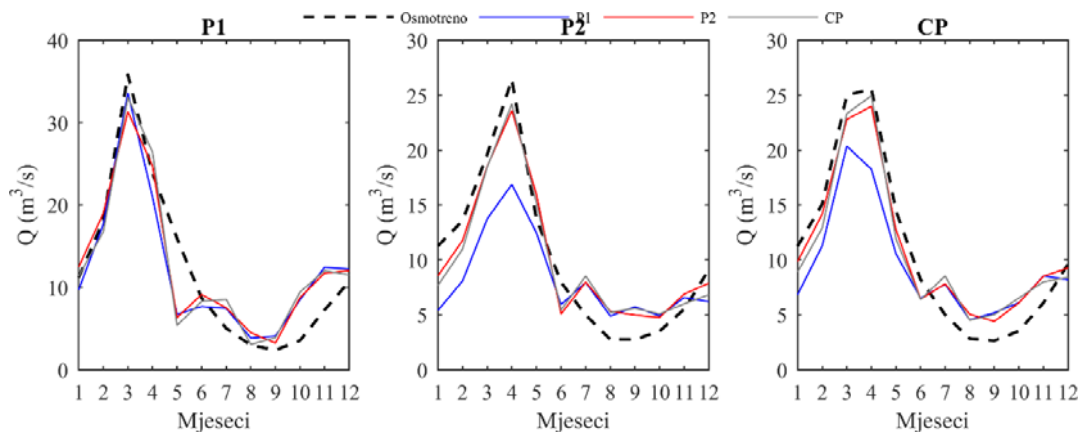
Слика XII-11. Унутаргодишња расподела протицаја abcd модела на сливу Топлице.



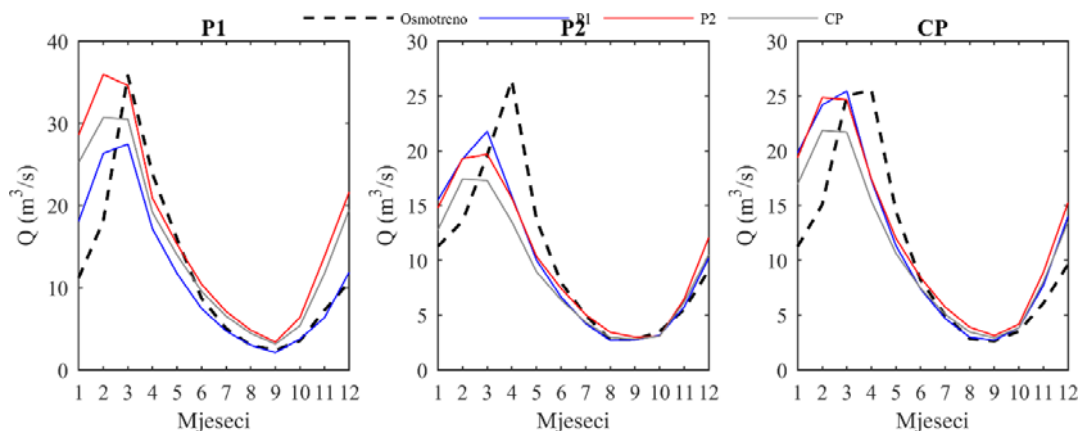
Слика XII-12. Унутаргодишња расподела протицаја Vuduko модела на сливу Топлице.



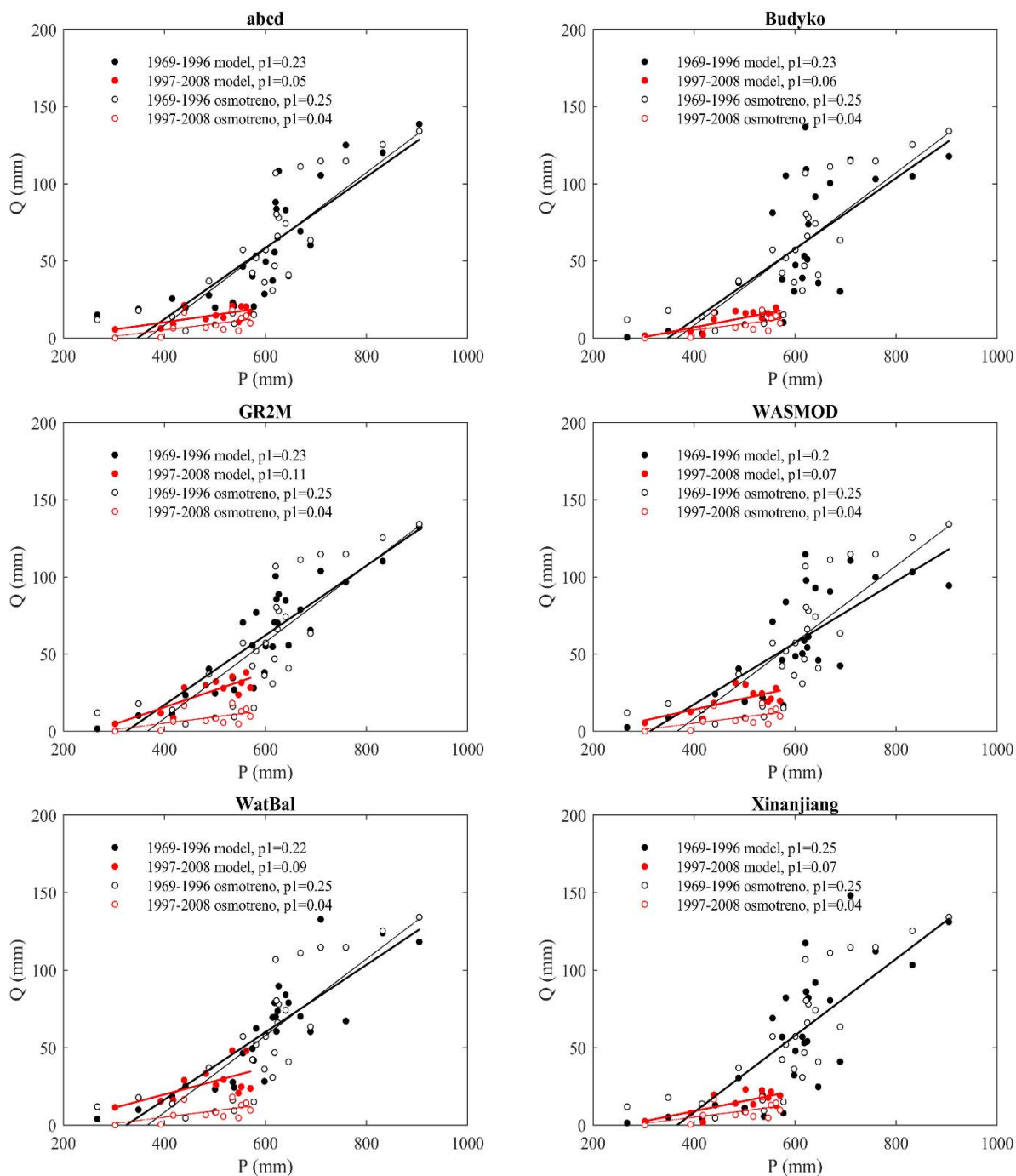
Слика XII-13. Унутаргодишња расподела протицаја GR2M модела на сливу Топлице.



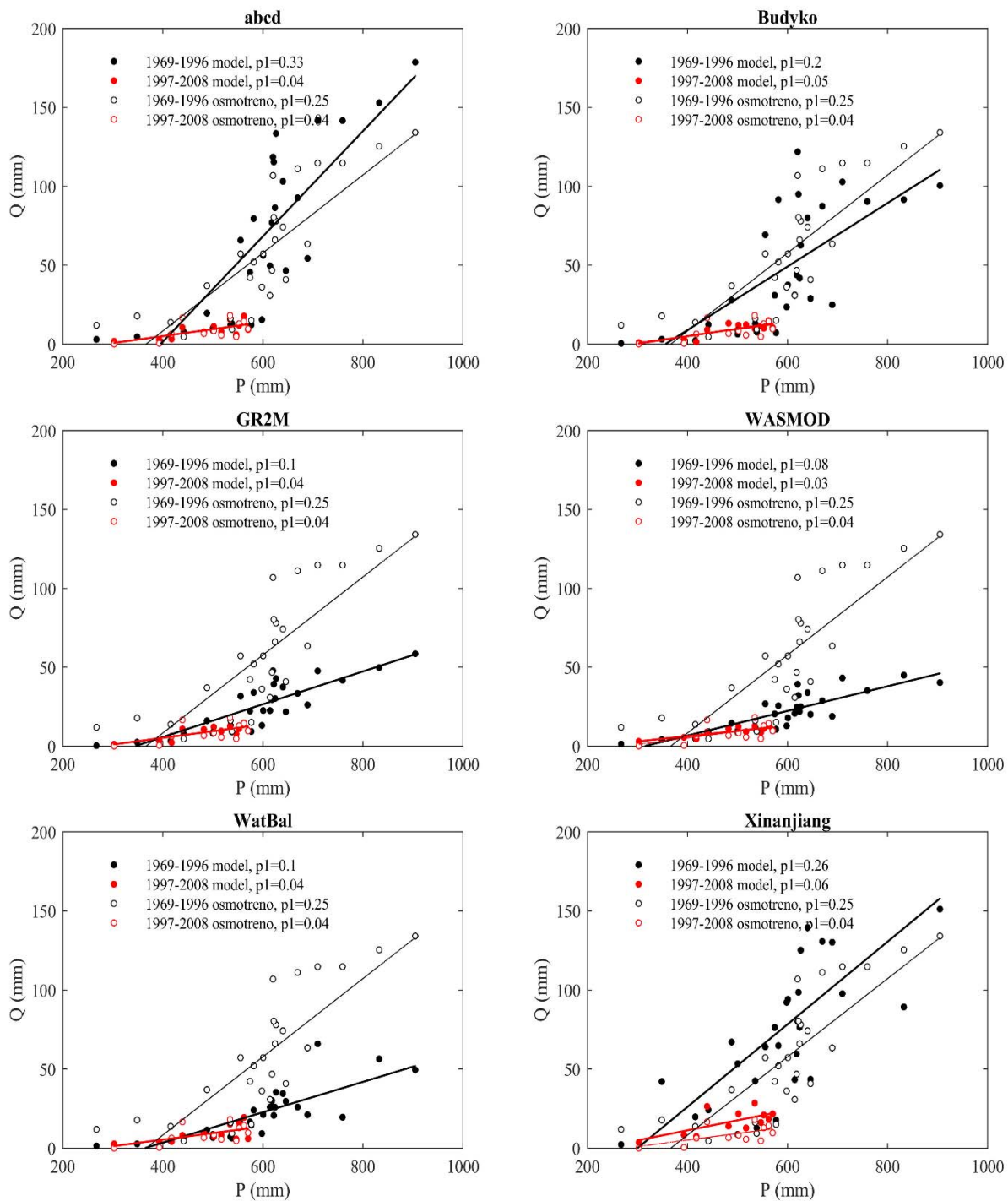
Слика XII-14. Унутаргодишња расподела протицаја WatBal модела на сливу Топлице.



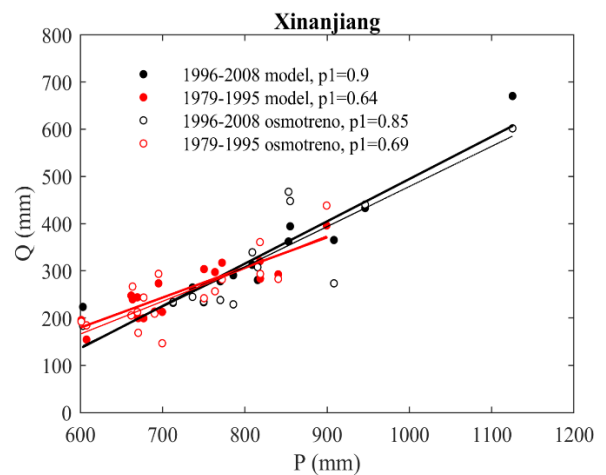
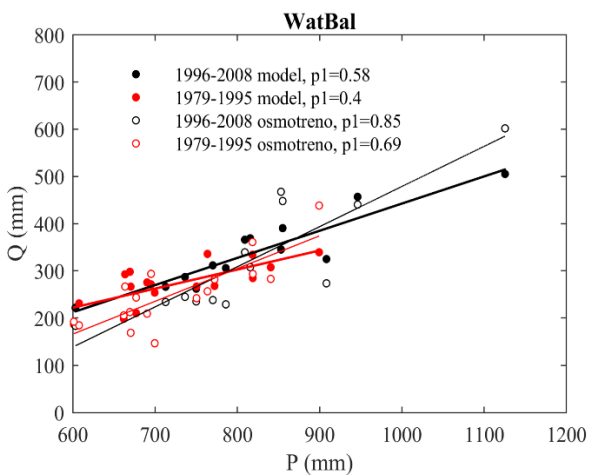
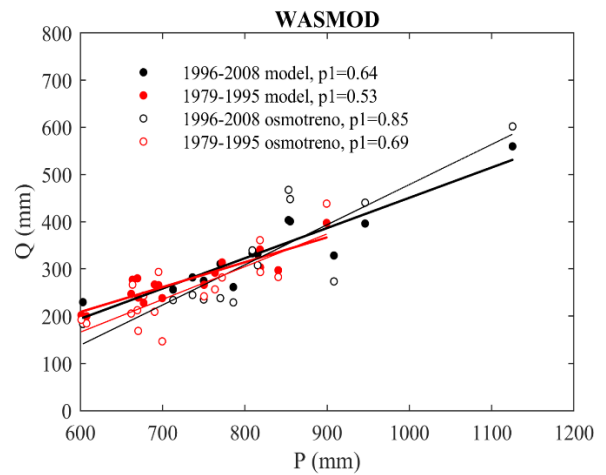
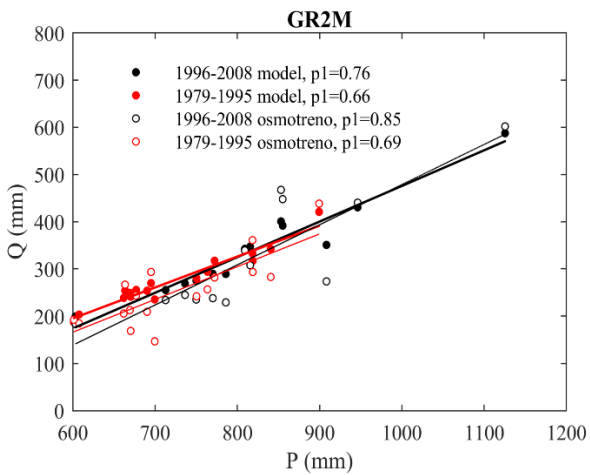
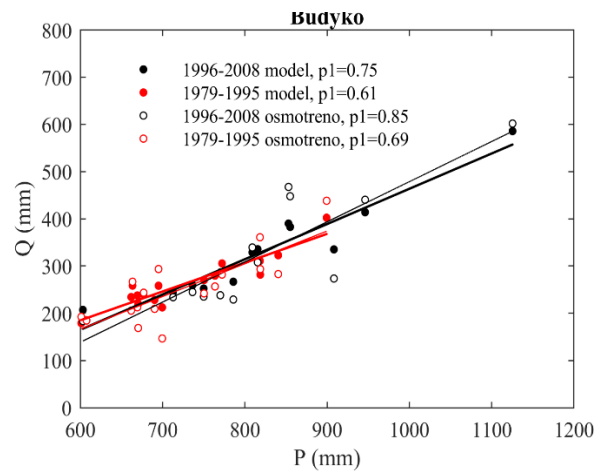
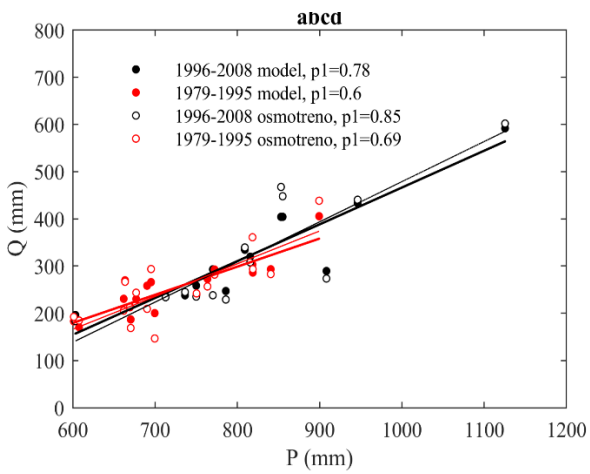
Слика XII-15. Унутаргодишња расподела протицаја Xinanjiang модела на сливу Топлице.



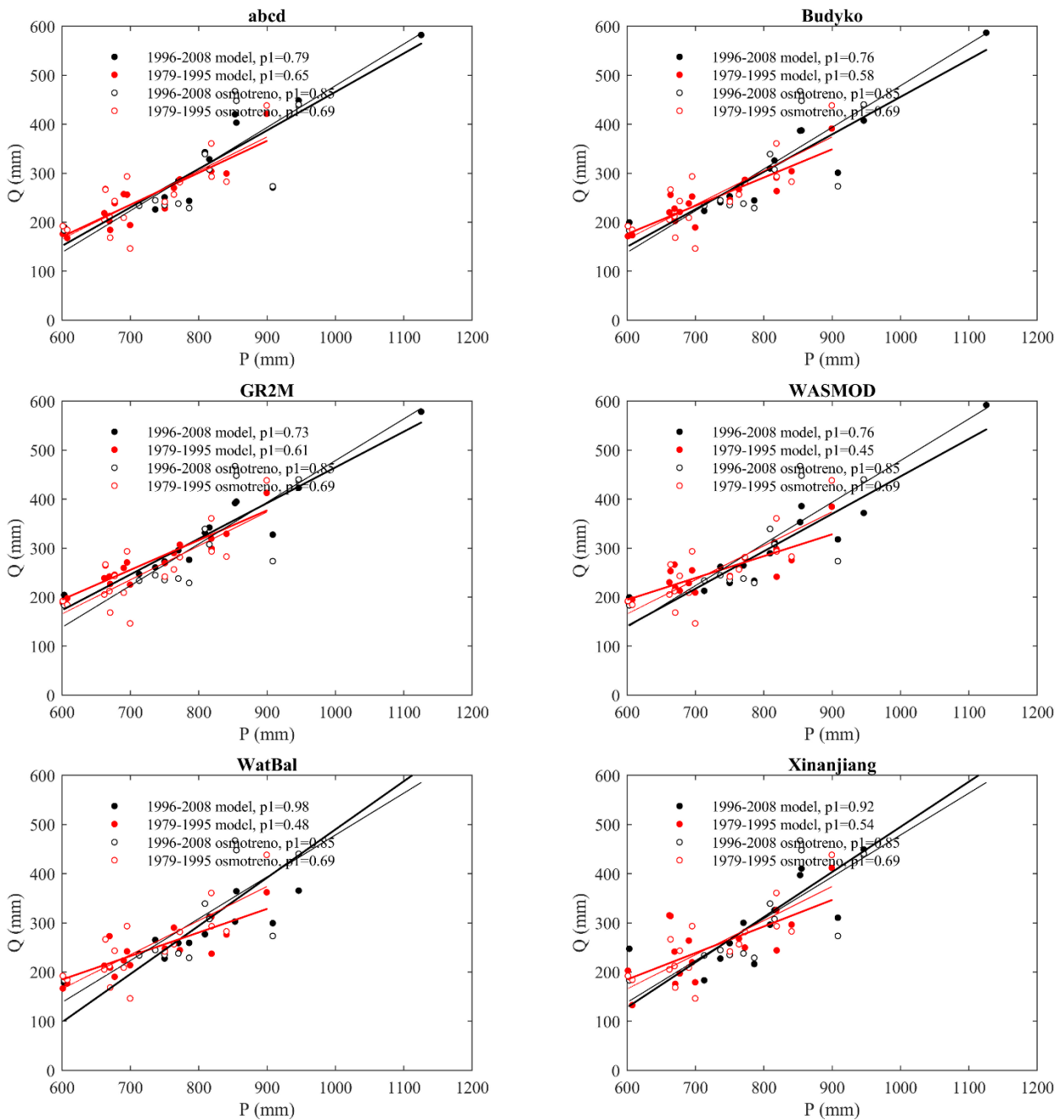
Слика XII-16. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из влажног периода на сливу Вимера.



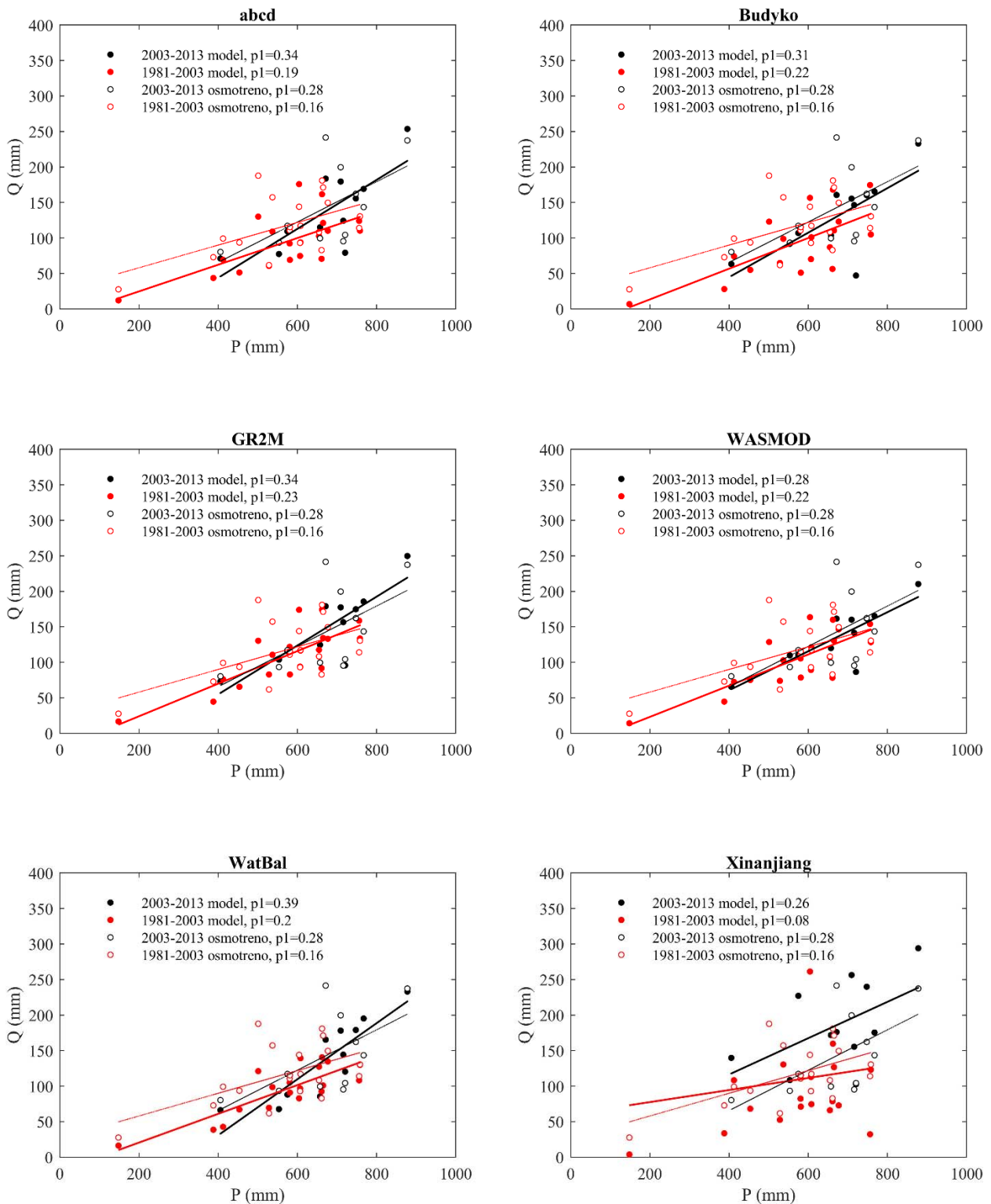
Слика XII-17. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног периода на сливу Вимера.



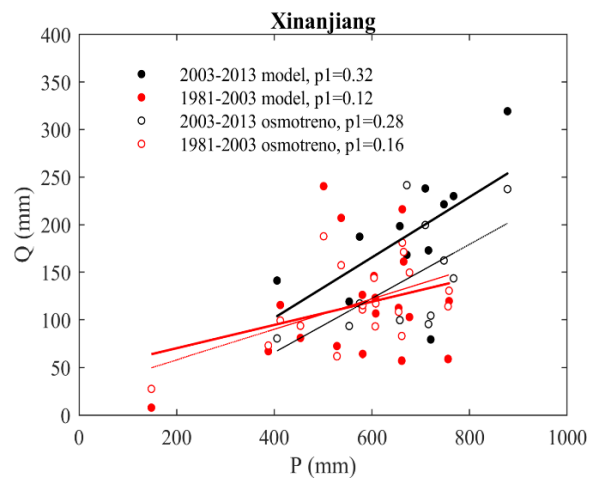
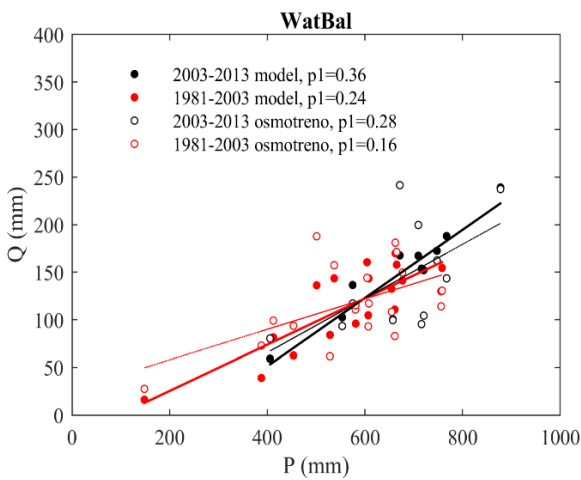
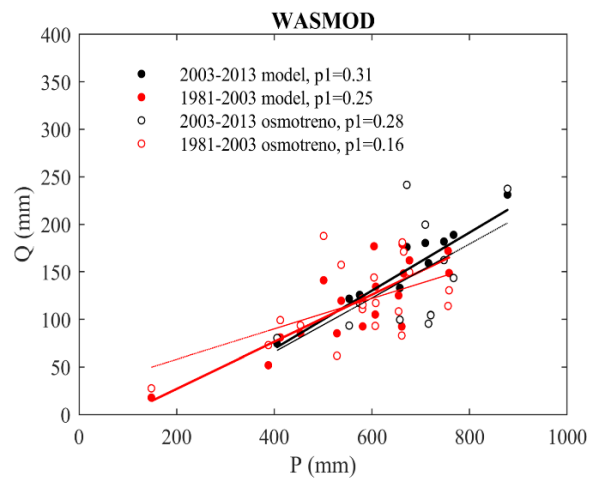
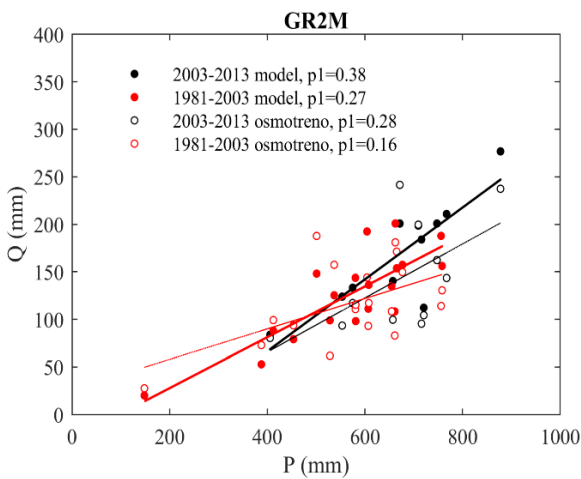
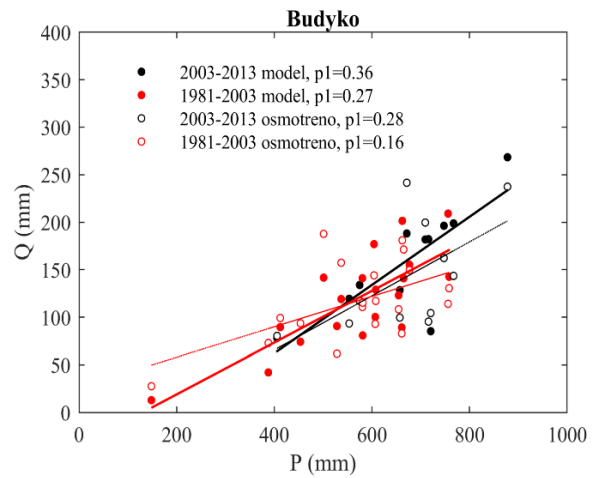
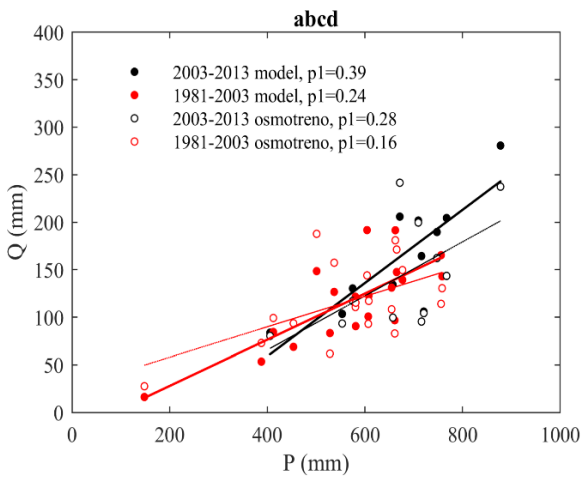
Слика XII-18. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из влажног периода на сливу Камп.



Слика XII-19. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног периода на сливу Камп.



Слика XII-20. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из влажног периода на сливу Топлица.



Слика XII-21. Поређење зависности падавине-отицаји: осмотрених са симулираним у комплетном периоду и оптималним скупом параметара из сушног периода на сливу Топлица.

ПРИЛОГ XIII. Ефикасност модела у вишекритеријумској оптимизацији

Табела XIII-1. Минималне, медијана и максималне вриједности KGE са различитим комбинацијама циљних функција. Црвене ћелије су незадовољавајуће вриједности ефикасности (1 дио).

MIN	Валидација NSE+BIAS					Валидација NSE+BIAS+IAFD					Валидација RSR+WBE								
	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
Калиб. Период	0.91	0.74	0.62	0.55	-2.06	0.73	0.92	0.65	0.54	0.44	-1.32	0.67	0.92	0.74	0.62	0.55	-1.25	0.73	
P1	0.77	0.92	0.74	0.77	-0.82	0.85	0.76	0.92	0.74	0.76	-0.8	0.85	0.69	0.91	0.74	0.76	-0.9	0.85	
P2	0.66	0.8	0.71	0.77	-0.52	0.76	0.65	0.79	0.71	0.76	-0.58	0.76	0.66	0.8	0.71	0.77	-0.53	0.76	
P3	0.65	0.8	0.67	0.77	-0.33	0.75	0.63	0.71	0.67	0.75	-1.03	0.72	0.65	0.8	0.66	0.77	-0.24	0.75	
P4	0.55	0.83	0.65	0.67	0.68	0.73	0.53	0.82	0.65	0.65	0.68	0.71	0.49	0.76	0.59	0.67	0.68	0.66	
P5	0.72	0.89	0.75	0.79	-0.45	0.83	0.71	0.82	0.73	0.79	-0.71	0.79	0.72	0.89	0.75	0.79	-0.45	0.83	
CP																			
MED	Валидација NSE+BIAS					Валидација NSE+BIAS+IAFD					Валидација RSR+WBE								
	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
Калиб. Период	0.93	0.75	0.63	0.56	-1.16	0.75	0.94	0.73	0.61	0.53	-1.15	0.73	0.93	0.75	0.63	0.56	-1.15	0.75	
P1	0.78	0.92	0.74	0.78	-0.73	0.85	0.77	0.93	0.75	0.78	-0.61	0.86	0.78	0.92	0.74	0.78	-0.73	0.85	
P2	0.68	0.8	0.72	0.78	-0.38	0.77	0.67	0.81	0.72	0.78	-0.33	0.78	0.68	0.8	0.72	0.78	-0.37	0.77	
P3	0.66	0.8	0.67	0.78	-0.2	0.75	0.68	0.78	0.71	0.78	-0.53	0.76	0.66	0.8	0.67	0.78	-0.2	0.75	
P4	0.57	0.85	0.69	0.71	0.73	0.76	0.6	0.87	0.7	0.7	0.73	0.78	0.57	0.85	0.69	0.71	0.72	0.76	
P5	0.73	0.9	0.75	0.8	-0.38	0.84	0.74	0.89	0.75	0.8	-0.6	0.83	0.73	0.9	0.75	0.8	-0.38	0.84	
CP																			
MAX	Валидација NSE+BIAS					Валидација NSE+BIAS+IAFD					Валидација RSR+WBE								
	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
Калиб. Период	0.93	0.85	0.66	0.6	-1.06	0.76	0.95	0.76	0.64	0.57	-1.01	0.76	0.93	0.76	0.64	0.57	-1.06	0.76	
P1	0.79	0.92	0.74	0.78	-0.7	0.85	0.79	0.93	0.76	0.78	-0.33	0.87	0.79	0.92	0.74	0.78	0.31	0.85	
P2	0.7	0.81	0.72	0.79	-0.23	0.78	0.7	0.84	0.74	0.79	-0.07	0.8	0.7	0.84	0.74	0.79	-0.22	0.8	
P3	0.69	0.82	0.68	0.79	-0.16	0.77	0.73	0.89	0.74	0.8	0.28	0.84	0.67	0.8	0.67	0.78	-0.16	0.75	
P4	0.6	0.87	0.71	0.74	0.77	0.78	0.65	0.88	0.72	0.74	0.78	0.82	0.59	0.86	0.71	0.74	0.75	0.77	
P5	0.74	0.9	0.75	0.8	-0.31	0.84	0.78	0.91	0.75	0.8	-0.3	0.85	0.74	0.91	0.75	0.8	-0.31	0.85	
CP																			

Табела XIII-2. Минималне, медијана и максималне вриједности КГЕ са различитим комбинацијама циљних функција. Црвене ћелије су незадовољавајуће вриједности ефикасности (II Дио).

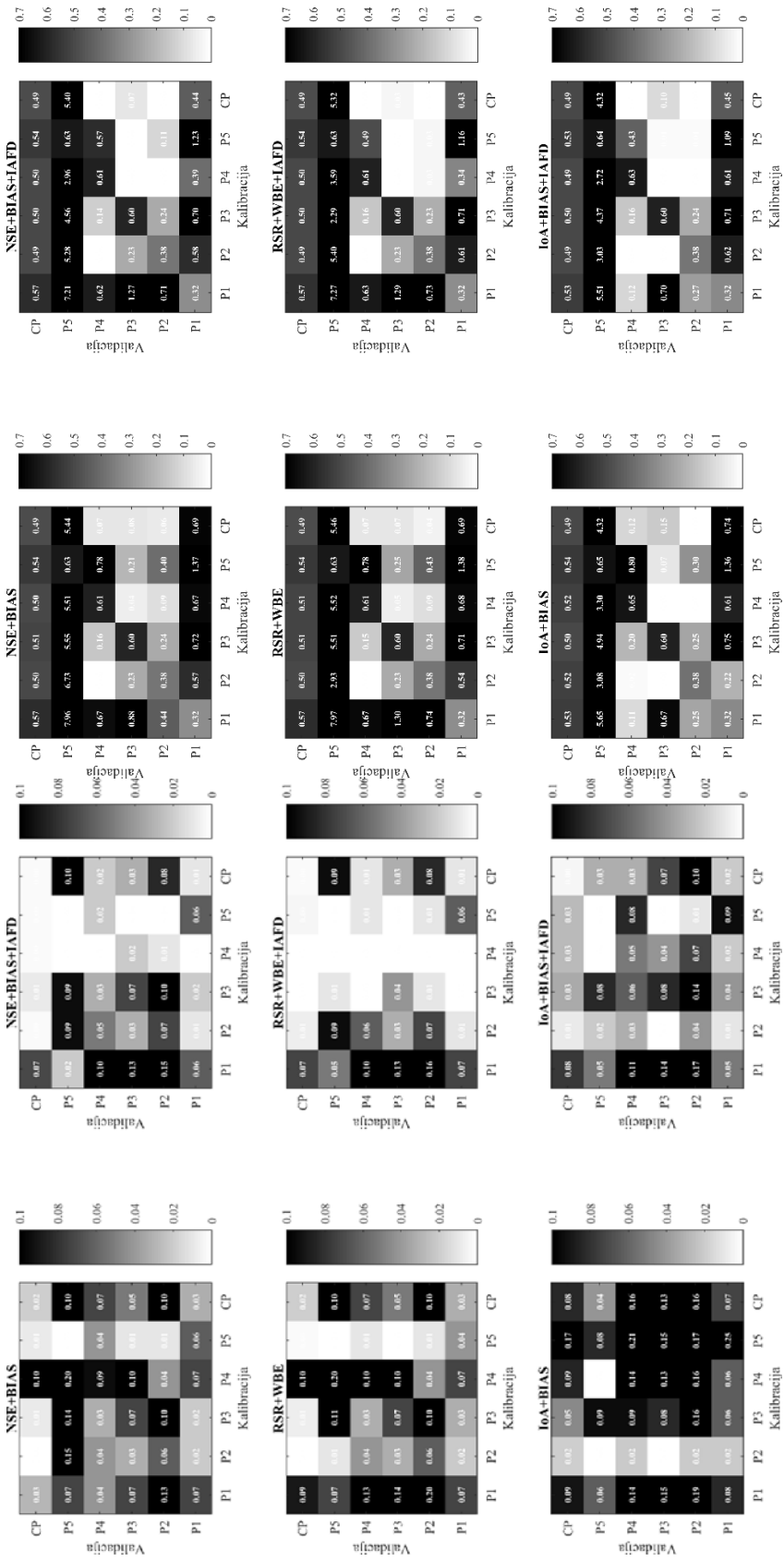
MIN	Валидација RSR+WBE+IAFD					Валидација IoA+BIAS					Валидација IoA+BIAS+IAFD							
	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
Калиб. Период	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	0.92	0.64	0.52	0.42	-1.36	0.65	0.83	0.74	0.64	0.57	-1.16	0.74	0.83	0.67	0.55	0.46	-1.48	0.67
P2	0.76	0.92	0.74	0.76	-0.74	0.85	0.71	0.88	0.7	0.71	-1.89	0.8	0.69	0.88	0.7	0.7	-0.9	0.83
P3	0.62	0.79	0.69	0.76	-0.56	0.76	0.66	0.83	0.72	0.77	-0.47	0.78	0.64	0.81	0.71	0.76	-0.55	0.77
P4	0.64	0.7	0.67	0.74	-1.07	0.71	0.64	0.86	0.73	0.76	-0.46	0.79	0.64	0.86	0.72	0.72	-0.45	0.79
P5	0.53	0.81	0.63	0.62	0.68	0.71	0.59	0.84	0.73	0.65	0.75	0.78	0.53	0.79	0.66	0.55	0.71	0.71
CP	0.71	0.76	0.7	0.78	-0.94	0.76	0.73	0.91	0.76	0.74	-0.26	0.86	0.72	0.82	0.73	0.73	-0.74	0.79
МЕД	Валидација RSR+WBE+IAFD					Валидација IoA+BIAS					Валидација IoA+BIAS+IAFD							
Калиб. Период	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	0.93	0.73	0.61	0.53	-1.14	0.73	0.88	0.81	0.7	0.64	-0.88	0.81	0.9	0.78	0.67	0.6	-0.91	0.78
P2	0.77	0.93	0.75	0.78	-0.59	0.86	0.76	0.91	0.73	0.73	-0.52	0.85	0.74	0.91	0.74	0.74	-0.27	0.85
P3	0.67	0.81	0.72	0.78	-0.32	0.78	0.69	0.83	0.73	0.79	-0.32	0.79	0.68	0.83	0.73	0.78	-0.27	0.79
P4	0.68	0.78	0.7	0.78	-0.4	0.76	0.71	0.88	0.76	0.77	-0.18	0.83	0.69	0.88	0.74	0.77	0.05	0.83
P5	0.59	0.86	0.7	0.69	0.73	0.78	0.62	0.85	0.74	0.66	0.77	0.8	0.62	0.85	0.72	0.66	0.76	0.79
CP	0.75	0.89	0.75	0.8	-0.62	0.83	0.74	0.92	0.77	0.76	-0.18	0.86	0.76	0.91	0.76	0.78	-0.44	0.86
МАХ	Валидација RSR+WBE+IAFD					Валидација IoA+BIAS					Валидација IoA+BIAS+IAFD							
Калиб. Период	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	0.95	0.76	0.64	0.57	-1	0.76	0.92	0.85	0.73	0.66	-0.52	0.85	0.95	0.85	0.72	0.66	-0.52	0.85
P2	0.78	0.93	0.76	0.78	-0.38	0.87	0.83	0.92	0.74	0.75	-0.06	0.86	0.81	0.93	0.76	0.77	-0.03	0.87
P3	0.7	0.88	0.73	0.79	0.48	0.8	0.71	0.84	0.74	0.8	-0.14	0.8	0.71	0.84	0.74	0.8	-0.04	0.8
P4	0.72	0.89	0.74	0.81	0.16	0.84	0.75	0.89	0.76	0.78	0.22	0.84	0.75	0.9	0.76	0.8	0.32	0.85
P5	0.68	0.88	0.71	0.74	0.77	0.82	0.64	0.86	0.74	0.68	0.77	0.81	0.72	0.88	0.74	0.72	0.78	0.82
CP	0.78	0.91	0.75	0.8	-0.29	0.84	0.76	0.92	0.77	0.76	-0.1	0.87	0.79	0.92	0.77	0.8	-0.1	0.87

Табела XIII-3. Минималне, медијана и максималне вриједности ϵ_{IAFD} са различитим комбинацијама циљних функција. Црвене ћелије су незадовољавајуће вриједности ефикасности (1 дио).

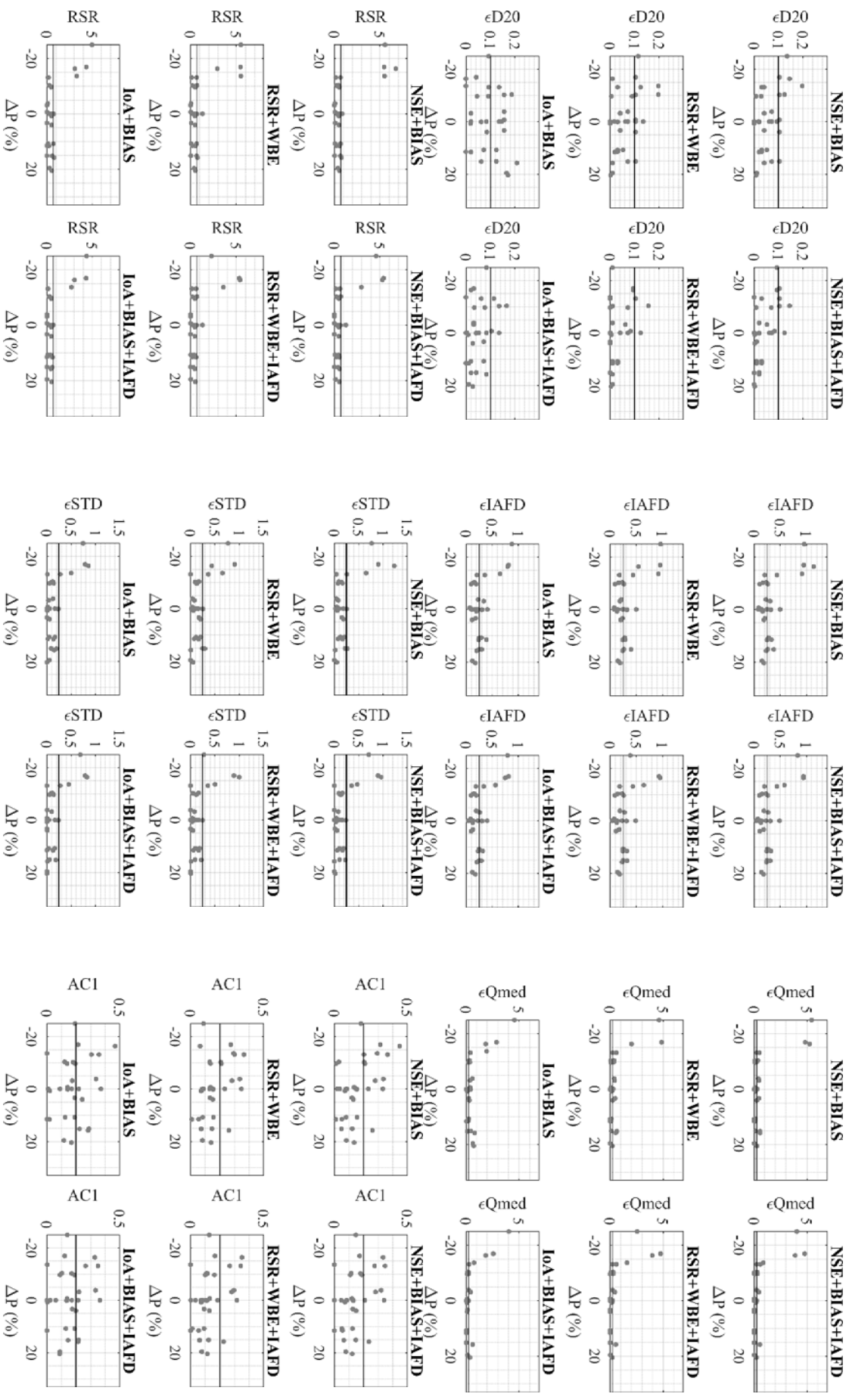
MIN Калиб. период	Валидација NSE+BIAS					Валидација NSE+BIAS+IAFD					Валидација RSR+WBE							
	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	0.15	0.23	0.5	0.44	1.41	0.26	0.13	0.23	0.49	0.44	1.34	0.26	0.15	0.23	0.5	0.44	1.41	0.26
P2	0.25	0.08	0.34	0.3	1.14	0.16	0.24	0.04	0.32	0.27	0.94	0.13	0.24	0.08	0.29	0.19	0.54	0.14
P3	0.32	0.17	0.24	0.2	0.96	0.1	0.31	0.15	0.22	0.2	0.83	0.1	0.32	0.17	0.24	0.18	0.96	0.1
P4	0.37	0.21	0.26	0.25	0.92	0.19	0.31	0.18	0.24	0.14	0.58	0.11	0.4	0.24	0.26	0.26	0.92	0.21
P5	0.41	0.15	0.27	0.23	0.15	0.19	0.39	0.14	0.27	0.24	0.14	0.18	0.41	0.15	0.27	0.23	0.15	0.2
CP	0.28	0.08	0.28	0.23	0.95	0.11	0.27	0.07	0.25	0.19	0.94	0.09	0.28	0.08	0.28	0.22	0.95	0.11
MED Калиб. период	Валидација NSE+BIAS					Валидација NSE+BIAS+IAFD					Валидација RSR+WBE							
P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
P1	0.15	0.24	0.5	0.44	1.49	0.27	0.14	0.26	0.54	0.47	1.44	0.29	0.15	0.24	0.5	0.44	1.48	0.27
P2	0.25	0.08	0.34	0.31	1.16	0.16	0.25	0.06	0.33	0.29	1.1	0.15	0.25	0.08	0.34	0.31	1.17	0.16
P3	0.33	0.18	0.24	0.21	1.07	0.11	0.33	0.17	0.24	0.21	1.03	0.11	0.33	0.18	0.24	0.21	1.06	0.12
P4	0.4	0.24	0.27	0.26	0.96	0.21	0.36	0.23	0.25	0.17	1.21	0.14	0.4	0.24	0.27	0.26	0.96	0.21
P5	0.44	0.2	0.28	0.25	0.16	0.21	0.42	0.17	0.31	0.27	0.15	0.2	0.44	0.2	0.28	0.25	0.16	0.21
CP	0.28	0.09	0.28	0.23	1.01	0.11	0.28	0.12	0.29	0.2	1.2	0.1	0.28	0.09	0.28	0.23	1.01	0.11
MAX Калиб. период	Валидација NSE+BIAS					Валидација NSE+BIAS+IAFD					Валидација RSR+WBE							
P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
P1	0.20	0.27	0.54	0.48	2.04	0.37	0.16	0.33	0.62	0.52	1.58	0.35	0.16	0.25	0.50	0.45	1.56	0.28
P2	0.25	0.09	0.34	0.31	1.23	0.17	0.25	0.08	0.34	0.31	1.22	0.17	0.36	0.13	0.34	0.31	1.30	0.17
P3	0.34	0.19	0.25	0.22	1.18	0.13	0.34	0.19	0.25	0.24	1.22	0.13	0.34	0.20	0.25	0.22	1.18	0.13
P4	0.40	0.24	0.28	0.27	1.03	0.22	0.40	0.30	0.30	0.25	1.65	0.20	0.40	0.24	0.28	0.27	1.00	0.22
P5	0.47	0.26	0.32	0.28	0.19	0.26	0.47	0.27	0.36	0.30	0.19	0.26	0.50	0.32	0.32	0.30	0.21	0.32
CP	0.29	0.09	0.29	0.23	1.06	0.12	0.32	0.18	0.31	0.25	1.32	0.12	0.28	0.10	0.29	0.23	1.06	0.12

Табела XIII-4. Минималне, медијана и максималне вриједности зIAR са различитим комбинацијама циљних функција. Црвене ћелије су незадовољавајуће вриједности ефикасности (II дио).

MIN	Валидација RSR+WBE+IAFD						Валидација IoA+BIAS						Валидација IoA+BIAS+IAFD						
	Калиб. период	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP
P1	0.13	0.23	0.49	0.43	1.32	0.26	0.26	0.18	0.16	0.41	0.36	1.04	0.2	0.13	0.16	0.4	0.34	1.04	0.2
P2	0.24	0.04	0.32	0.27	0.95	0.13	0.13	0.24	0.11	0.39	0.34	0.79	0.2	0.23	0.04	0.32	0.26	0.75	0.13
P3	0.31	0.15	0.23	0.18	0.39	0.1	0.1	0.31	0.14	0.23	0.21	0.88	0.1	0.31	0.14	0.22	0.19	0.79	0.1
P4	0.32	0.18	0.25	0.14	0.64	0.12	0.12	0.3	0.18	0.25	0.17	0.65	0.11	0.29	0.13	0.25	0.14	0.56	0.1
P5	0.38	0.15	0.26	0.23	0.14	0.19	0.19	0.36	0.12	0.28	0.2	0.2	0.18	0.32	0.12	0.26	0.21	0.14	0.18
CP	0.26	0.08	0.24	0.19	0.93	0.09	0.09	0.25	0.07	0.3	0.23	0.81	0.12	0.25	0.09	0.25	0.19	0.81	0.09
MED	Валидација RSR+WBE+IAFD						Валидација IoA+BIAS						Валидација IoA+BIAS+IAFD						
Калиб. период	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
P1	0.14	0.26	0.54	0.46	1.43	0.29	0.19	0.2	0.43	0.37	1.37	0.21	0.16	0.22	0.47	0.4	1.33	0.24	
P2	0.25	0.06	0.33	0.29	1.09	0.15	0.15	0.12	0.4	0.34	0.99	0.21	0.27	0.1	0.38	0.32	0.87	0.19	
P3	0.33	0.17	0.24	0.21	1.02	0.12	0.12	0.16	0.24	0.21	1.02	0.11	0.32	0.16	0.23	0.21	0.99	0.11	
P4	0.37	0.23	0.25	0.18	1.12	0.14	0.14	0.2	0.26	0.19	0.94	0.12	0.37	0.21	0.28	0.16	0.76	0.13	
P5	0.42	0.17	0.31	0.27	0.15	0.2	0.2	0.38	0.13	0.32	0.24	0.19	0.39	0.14	0.32	0.26	0.18	0.19	
CP	0.28	0.12	0.28	0.2	1.23	0.1	0.1	0.27	0.09	0.3	0.24	0.12	0.27	0.12	0.3	0.22	1.09	0.1	
MAX	Валидација RSR+WBE+IAFD						Валидација IoA+BIAS						Валидација IoA+BIAS+IAFD						
Калиб. период	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	P1	P2	P3	P4	P5	CP	
P1	0.16	0.34	0.65	0.54	1.57	0.37	0.20	0.25	0.46	0.41	1.57	0.25	0.22	0.31	0.61	0.52	1.64	0.35	
P2	0.25	0.09	0.34	0.31	1.17	0.17	0.29	0.23	0.41	0.39	2.06	0.27	0.30	0.17	0.44	0.38	1.21	0.26	
P3	0.41	0.22	0.25	0.23	1.21	0.18	0.33	0.16	0.25	0.22	1.13	0.12	0.34	0.19	0.25	0.23	1.20	0.13	
P4	0.40	0.30	0.30	0.25	1.69	0.20	0.38	0.23	0.28	0.19	1.15	0.16	0.41	0.23	0.33	0.19	1.10	0.17	
P5	0.48	0.28	0.41	0.33	0.20	0.29	0.40	0.15	0.34	0.26	0.30	0.20	0.47	0.24	0.48	0.39	0.25	0.27	
CP	0.31	0.20	0.31	0.26	1.54	0.15	0.28	0.09	0.33	0.26	0.93	0.13	0.31	0.18	0.34	0.27	1.34	0.14	

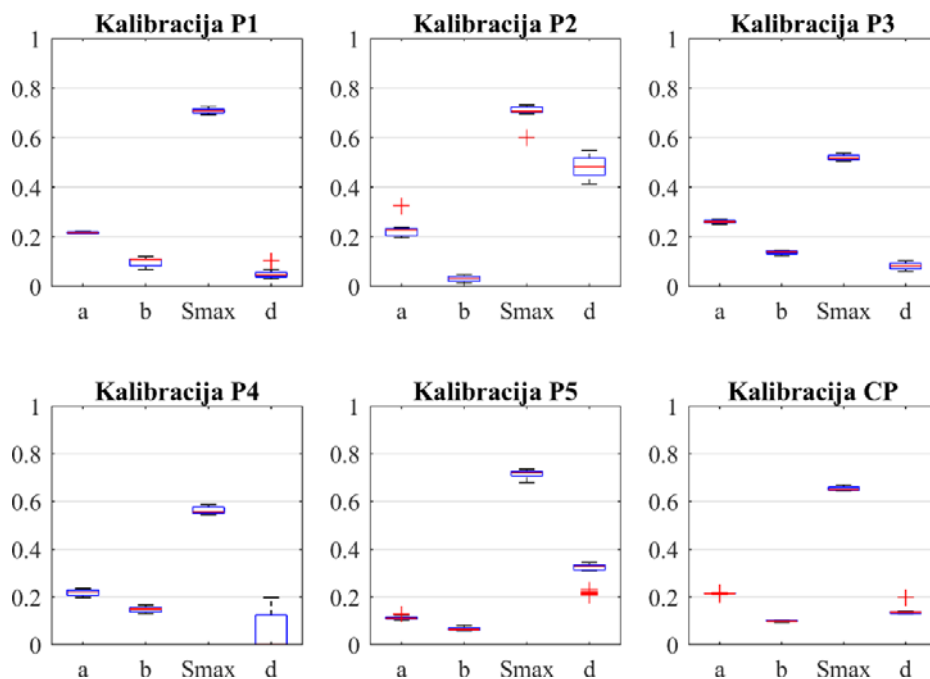


Слика XIII-1. Вриједности ϵ_{D20} (лијево) и RSR (десно) са најбољим резултатима са Парето фронта.

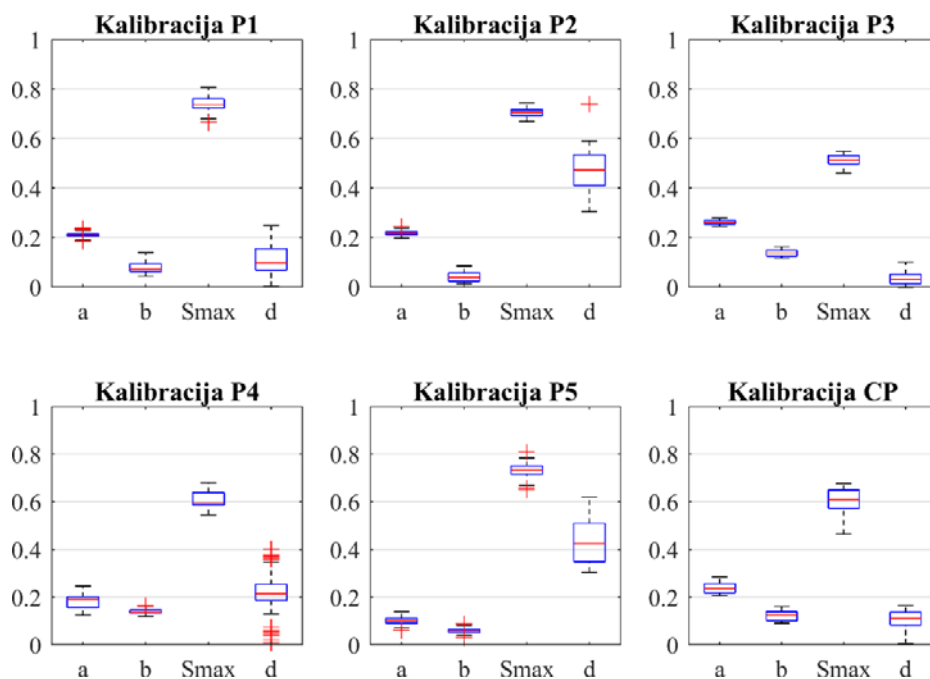


Слика XIII-2. Зависност ефикасности модела од промијене количине падавина у валидационом периоду у односу на калибрациони за вишекритеријумску оптимизацију.

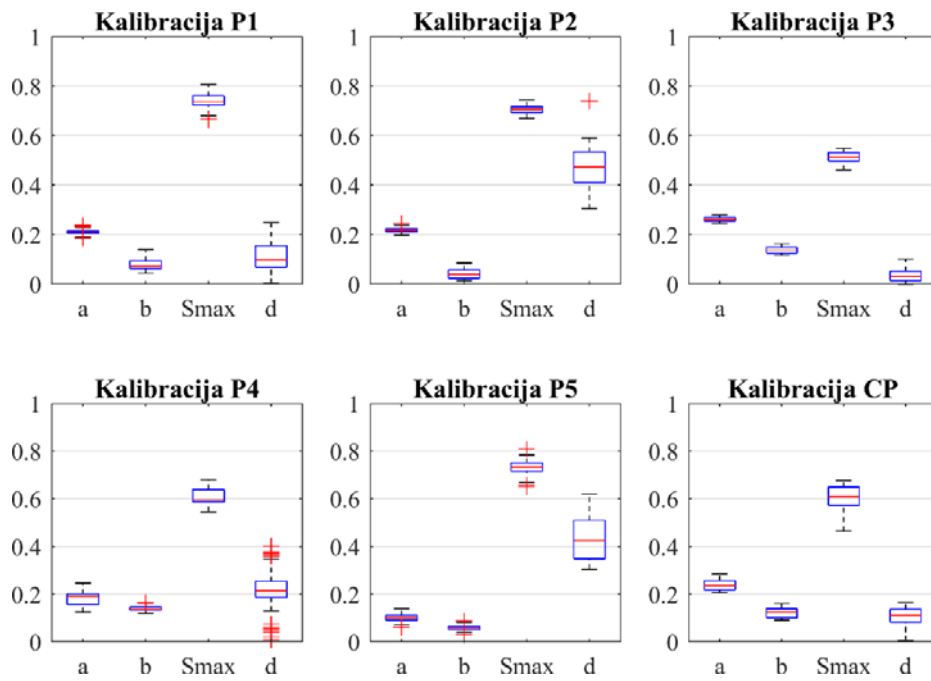
ПРИЛОГ XIV. Конзистентност ојена параметара модела у вишекритеријумској оптимизацији



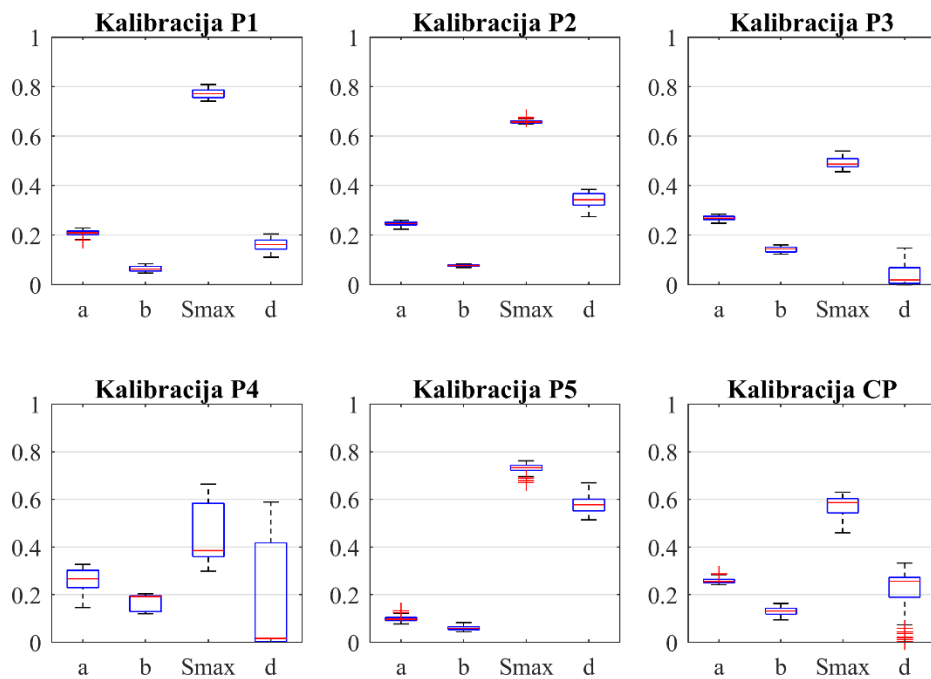
Слика XIV-1. Box&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију IoA+BIAS.



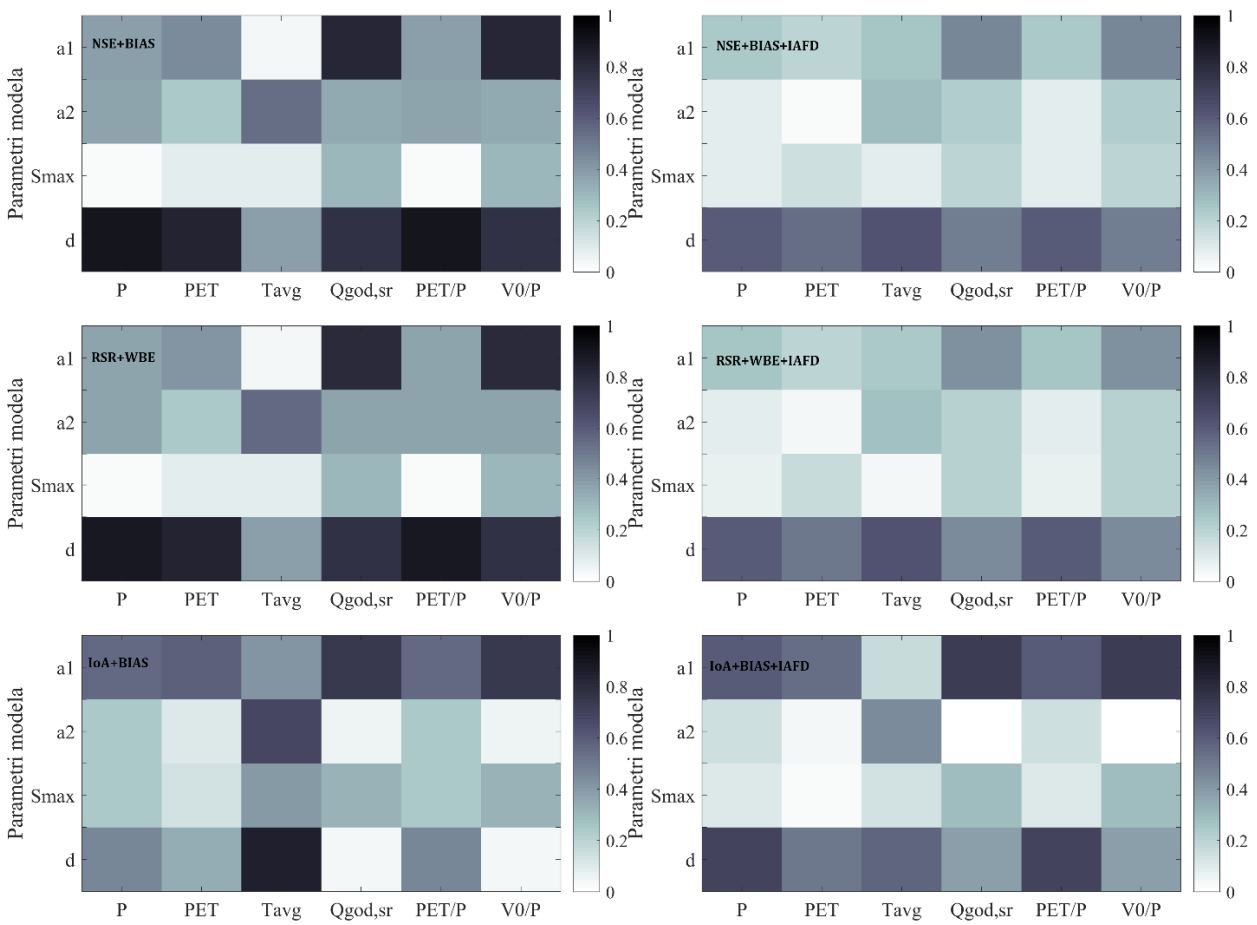
Слика XIV-2. Box&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију IoA+BIAS +IAFD.



Слика XIV-3. Box&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију NSE+BIAS.



Слика XIV-4. Box&Whiskers приказ нормализованих параметара у различитим калибрационим периодима за комбинацију NSE+BIAS+IAFD.

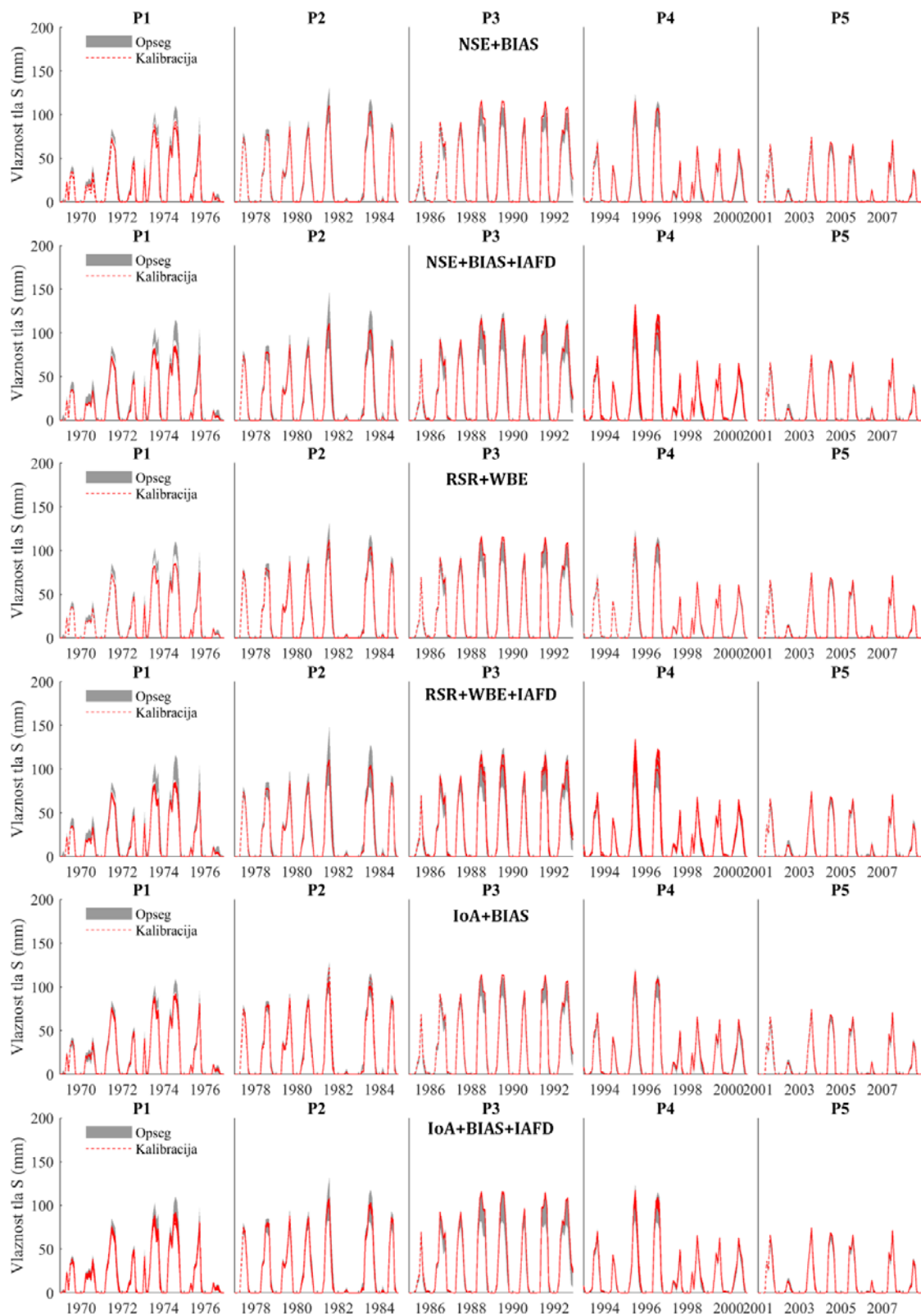


Слика XIV-5. Дијаграм апсолутних вриједности Спирмановог коефицијента корелације између параметара модела и хидроклиматских показатеља у калибрационим периодима у вишекритеријумској оптимизацији.

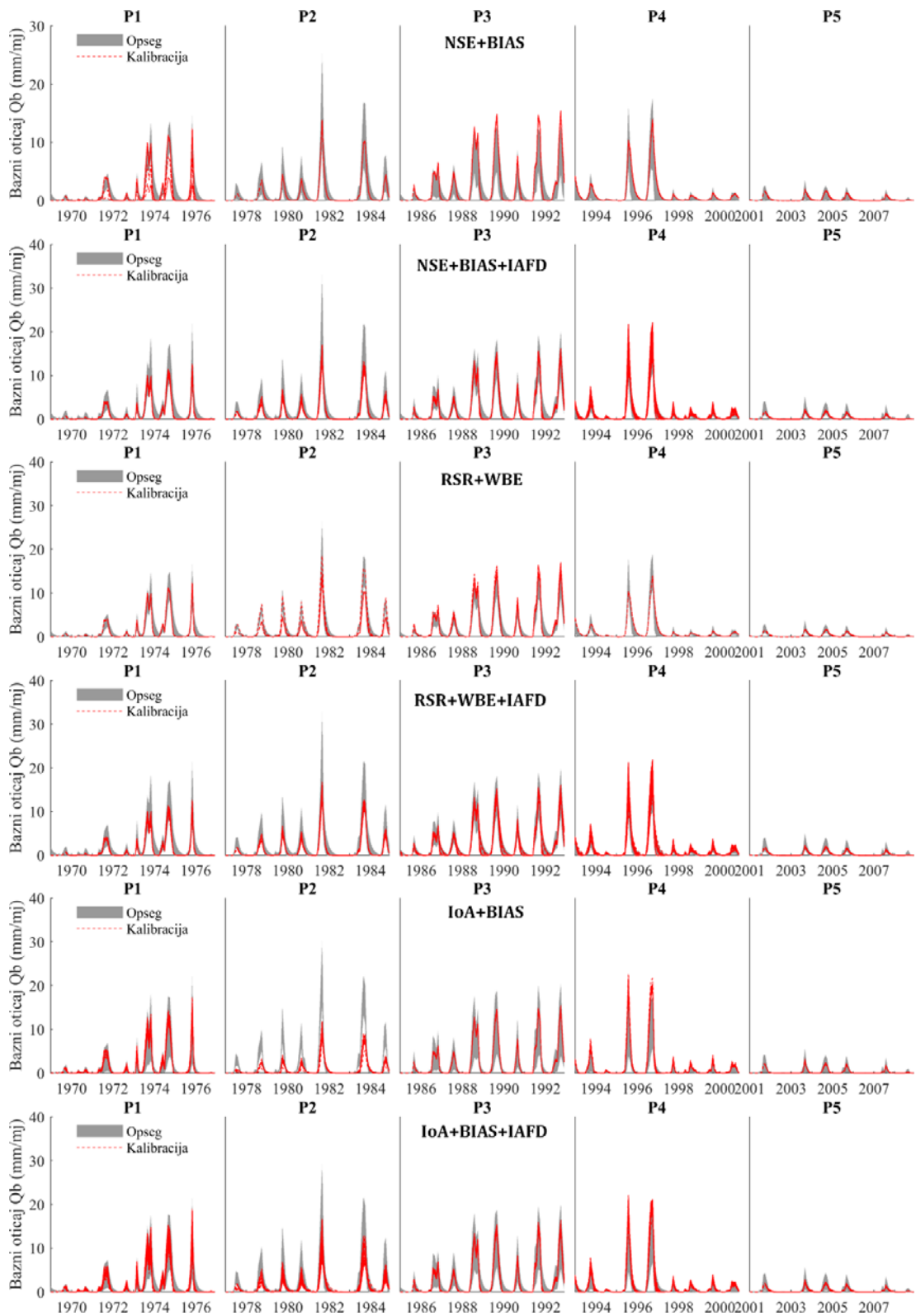
ПРИЛОГ XV. Конзистентност компоненти водног биланса у вишекритеријумској оптимизацији

Табела XV-1. Вриједности РС за симулиране компоненте водног биланса и све комбинације.

	P1	P2	P3	P4	P5	CP	Средња вриједн.
Базни отицај Qb							
NSE+BIAS	0.50	0.63	0.84	0.38	0.99	1.00	0.72
NSE+BIAS+IAFD	0.79	0.75	0.84	0.57	0.68	1.00	0.77
RSR+WBE	0.50	0.61	0.84	0.41	0.98	1.00	0.72
RSR+WBE+IAFD	0.81	0.75	0.90	0.60	0.86	1.00	0.82
IoA+BIAS	0.79	0.30	1.00	0.35	0.90	0.98	0.72
IoA+BIAS+IAFD	0.86	0.61	1.00	0.64	0.99	1.00	0.85
Директни отицај Qd							
NSE+BIAS	0.84	0.61	0.72	1.00	0.00	1.00	0.70
NSE+BIAS+IAFD	0.81	0.99	1.00	0.95	0.00	1.00	0.79
RSR+WBE	0.85	0.61	0.74	1.00	0.00	1.00	0.70
RSR+WBE+IAFD	0.82	0.99	1.00	0.96	0.00	1.00	0.80
IoA+BIAS	1.00	0.73	0.49	0.96	0.00	1.00	0.70
IoA+BIAS+IAFD	0.91	0.99	1.00	0.98	0.00	1.00	0.81
Евапотранспирација ET							
NSE+BIAS	0.89	0.89	0.11	0.99	0.33	1.00	0.70
NSE+BIAS+IAFD	0.85	0.95	0.99	0.17	0.43	1.00	0.73
RSR+WBE	0.89	0.89	0.11	1.00	0.32	1.00	0.70
RSR+WBE+IAFD	0.85	0.96	0.99	0.18	0.42	1.00	0.73
IoA+BIAS	0.95	0.34	0.89	0.38	0.70	1.00	0.71
IoA+BIAS+IAFD	0.93	0.53	0.96	0.93	0.71	1.00	0.84
Запремина подземне воде G							
NSE+BIAS	0.48	0.67	1.00	0.18	1.00	1.00	0.72
NSE+BIAS+IAFD	0.74	0.75	0.81	0.73	0.63	1.00	0.78
RSR+WBE	0.48	0.67	1.00	0.24	1.00	1.00	0.73
RSR+WBE+IAFD	0.75	0.75	0.89	0.75	0.83	1.00	0.83
IoA+BIAS	0.77	0.27	1.00	0.48	0.92	0.98	0.74
IoA+BIAS+IAFD	0.81	0.69	1.00	0.67	1.00	1.00	0.86
Допуна подземља R							
NSE+BIAS	0.99	0.64	0.33	0.95	0.83	1.00	0.79
NSE+BIAS+IAFD	0.94	0.75	1.00	0.04	1.00	1.00	0.79
RSR+WBE	0.99	0.63	0.33	0.95	0.59	1.00	0.75
RSR+WBE+IAFD	0.94	0.75	1.00	0.05	0.95	1.00	0.78
IoA+BIAS	1.00	0.02	1.00	0.04	1.00	1.00	0.68
IoA+BIAS+IAFD	1.00	0.04	1.00	0.59	1.00	1.00	0.77
Влажност гла S							
NSE+BIAS	0.72	0.95	0.14	1.00	0.32	1.00	0.69
NSE+BIAS+IAFD	0.49	1.00	1.00	0.03	0.93	1.00	0.74
RSR+WBE	0.72	0.96	0.14	1.00	0.25	1.00	0.68
RSR+WBE+IAFD	0.50	1.00	1.00	0.03	0.92	1.00	0.74
IoA+BIAS	0.84	0.28	0.77	0.16	0.85	1.00	0.65
IoA+BIAS+IAFD	0.80	0.44	0.76	0.84	0.88	1.00	0.79
Укупни отицај Q							
NSE+BIAS	0.50	0.83	0.91	0.50	0.36	0.29	0.57
NSE+BIAS+IAFD	0.49	1.00	1.00	0.03	0.93	1.00	0.74
RSR+WBE	0.50	0.83	0.90	0.53	0.36	0.29	0.57
RSR+WBE+IAFD	0.66	0.96	0.98	0.68	0.44	0.32	0.67
IoA+BIAS	0.81	0.58	0.92	0.76	0.43	0.26	0.63
IoA+BIAS+IAFD	0.78	0.90	0.93	0.89	0.46	0.30	0.71

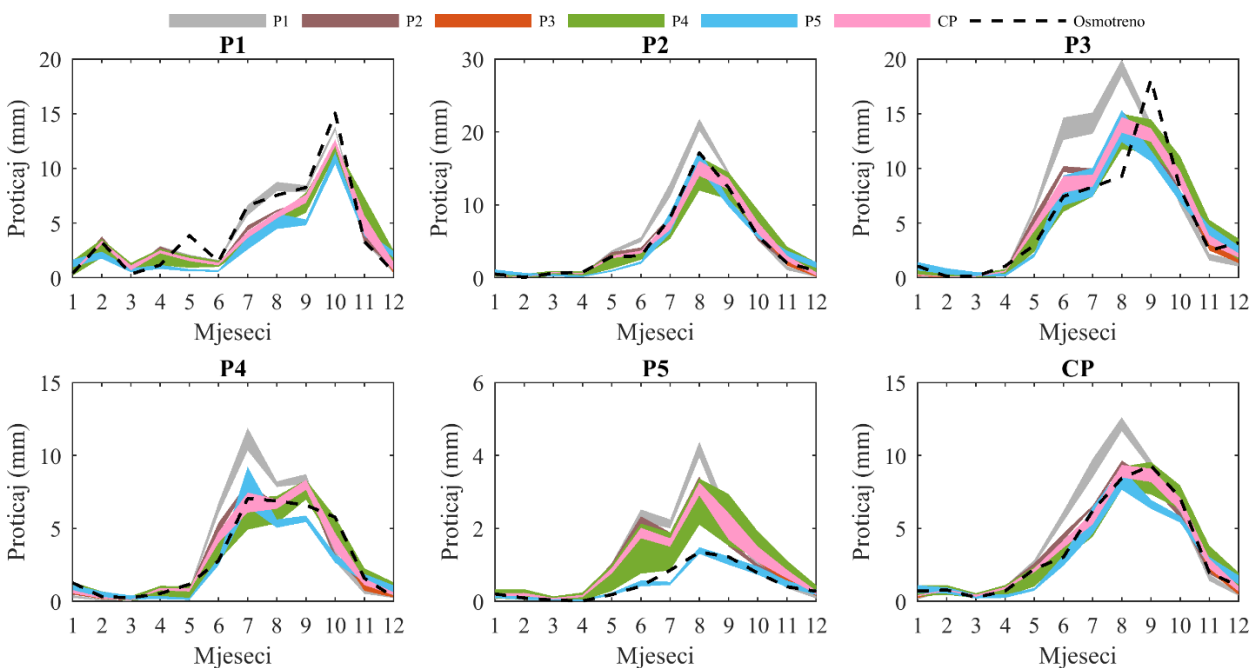


Слика XV-1. Осјетљивост компоненте влажности тла на калибрациони период са различитим комбинацијама циљних функција.

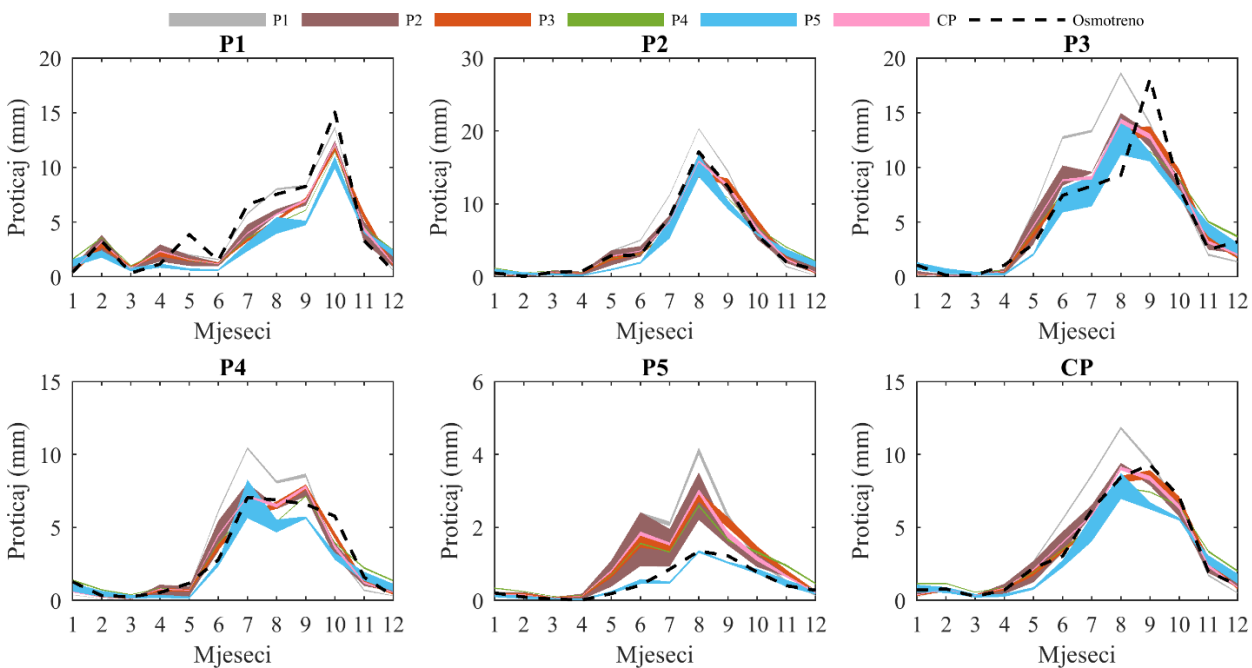


Слика XV-2. Осјетљивост компоненте базног отицаја на калибрациони период са различитим комбинацијама циљних функција.

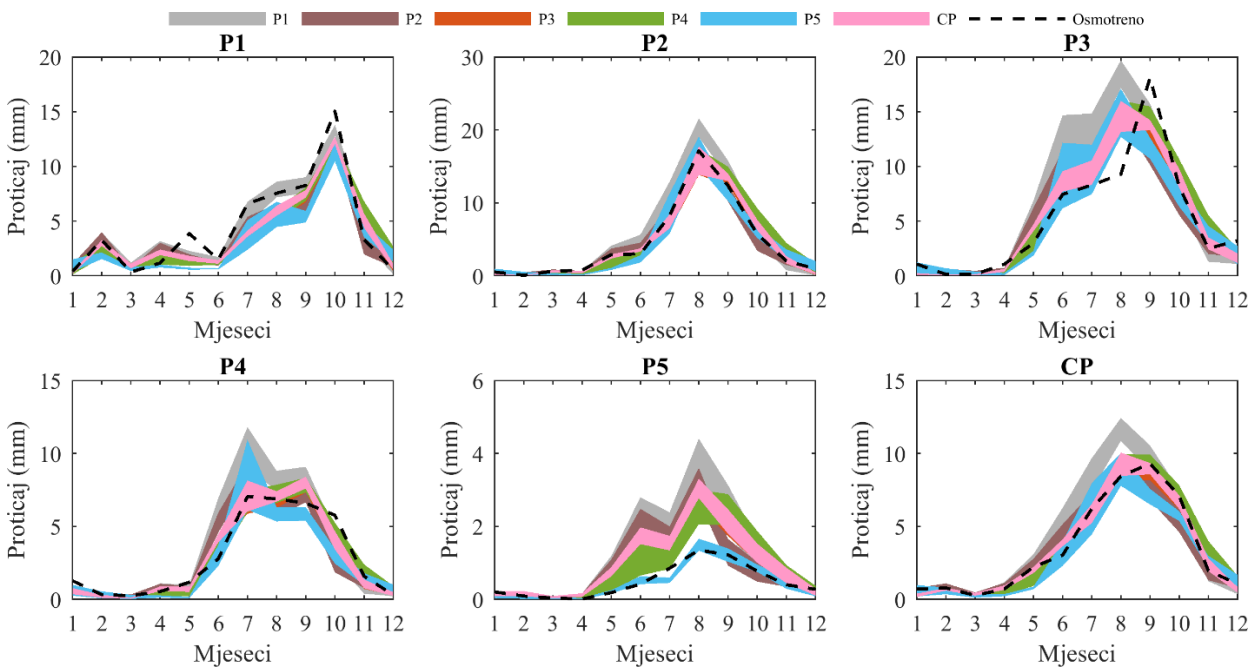
ПРИЛОГ XVI. Субјективна оцјена ефикасности модела у вишекритеријумској оптимизацији



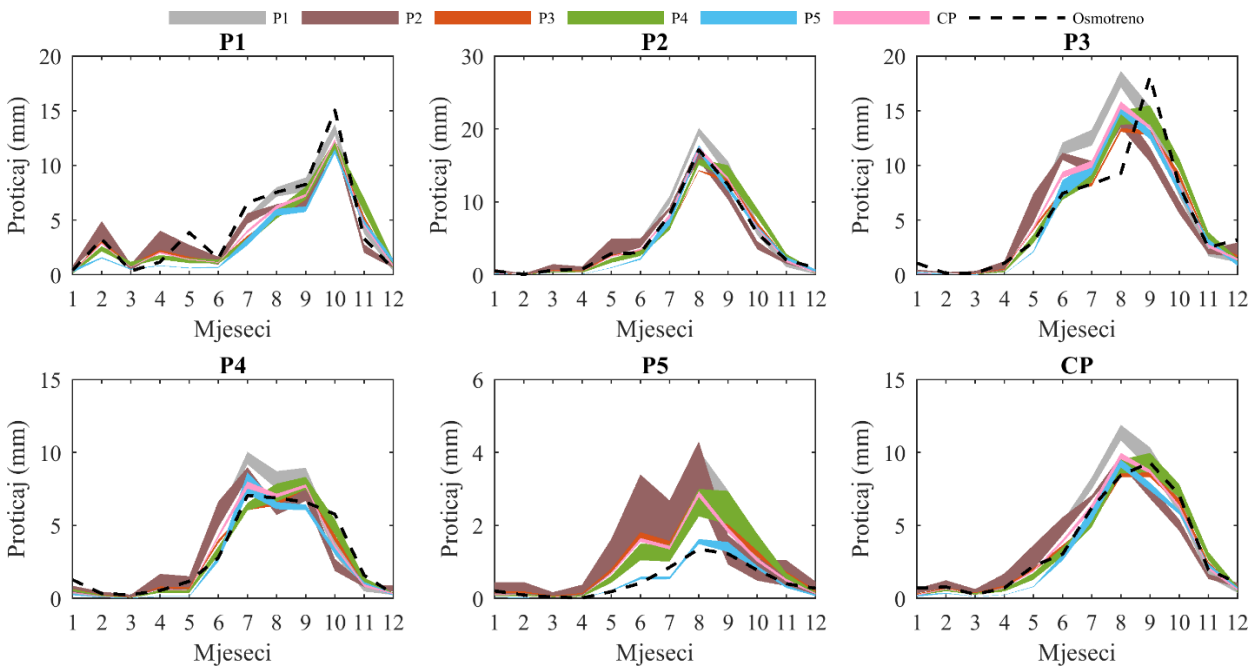
Слика XVI-1. Унутаргодишња расподела протицаја у калибрационој комбинацији NSE+BIAS+IAFD.



Слика XVI-2. Унутаргодишња расподела протицаја у калибрационој комбинацији RSR+WBE.



Слика XVI-3. Унутаргодишња расподела протицаја у калибрационој комбинацији RSR+WBE+IAFD.



Слика XVI-4. Унутаргодишња расподела протицаја у калибрационој комбинацији IoA+BIAS.

Литература коришћена у прилозима

- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop requirements. *Irrig. Drain. Pap. No. 56*, FAO 300. doi:10.1016/j.eja.2010.12.001
- Alley, W.M., 1984. On the Treatment of Evapotranspiration, Soil Moisture Accounting, and Aquifer Recharge in Monthly Water Balance Models. *Water Resour. Res.* 20, 1137–1149. doi:10.1029/WR020i008p01137
- Brutsaert, W., Stricker, H., 1979. An advection-aridity approach to estimate actual regional evapotranspiration. *Water Resour. Res.* 15, 443–450. doi:10.1029/WR015i002p00443
- Chen, X., Chen, Y.D., Xu, C., 2007. A distributed monthly hydrological model for integrating spatial variations of basin topography and rainfall. *Hydrol. Process.* 21, 242–252. doi:10.1002/hyp
- Conway, D., 1997. A water balance model of the Upper Blue Nile in Ethiopia. *Hydrol. Sci. J.* 42, 265–286. doi:10.1080/02626669709492024
- Döll, P., Fiedler, K., 2008. Global-scale modeling of groundwater recharge. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 12, 863–885. doi:10.5194/hess-12-863-2008
- Dyck, S., 1983. Overview on the present status of the concepts of water balance models. *New approaches Water Balanc. Comput. (Proceedings Hambg. Work. 3–19)*.
- Edijatno, C., Michel, C., 1989. Un modèle pluie-débit journalier à trois paramètres. *La Houille Blanche* 113–122. doi:10.1051/lhb/1989007
- Gemitzi, A., Ajami, H., Richnow, H.H., 2017. Developing empirical monthly groundwater recharge equations based on modeling and remote sensing data – Modeling future groundwater recharge to predict potential climate change impacts. *J. Hydrol.* 546, 1–13. doi:10.1016/j.jhydrol.2017.01.005
- Granger, R.J., Gray, D.M., 1989. Evaporation from natural nonsaturated surfaces. *J. Hydrol.* 111, 21–29. doi:https://doi.org/10.1016/0022-1694(89)90249-7
- Guo, S.L., 1995. Impact of climatic change on hydrological balance and water resource systems in the Dongjiang Basin, China, in: *Proceedings of a Boulder Symposium*. IAHS Publication no. 231, pp. 141–150.
- Guo, S.L., Wang, J., Yang, J., 2001. A semi-distributed hydrological model and its application in a macroscale basin in China, in: *Soil-Vegetation-Atmosphere Transfer Schemes and Large-Scale Hydrological Models*. pp. 167–174.
- Homma, T., Saltelli, A., 1996. Importance measures in global sensitivity analysis of nonlinear models. *Reliab. Eng. Syst. Saf.* 52, 1–17. doi:10.1016/0951-8320(96)00002-6
- Hughes, D.A., 2004. Incorporating groundwater recharge and discharge functions into an existing monthly rainfall-runoff model. *Hydrol. Sci. J.* 49, 297–312. doi:10.1623/hysj.49.2.297.34834
- Jiang, T., Chen, Y.D., Xu, C., Chen, Xiaohong, Chen, Xi, Singh, V.P., 2007. Comparison of hydrological impacts of climate change simulated by six hydrological models in the Dongjiang Basin, South China. *J. Hydrol.* 336, 316–333. doi:10.1016/j.jhydrol.2007.01.010
- Kaczmarek, Z., Krasuski, D., 1991. Sensitivity of Water Balance to Climate Change and Variability (No. WP-91-047).
- Makhlouf, Z., Michel, C., 1994. A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *J. Hydrol.* 162, 299–318. doi:https://doi.org/10.1016/0022-1694(94)90233-X
- Monteith, J.L., 1964. Evaporation and environment, in: *The State and Movement of Water in Living*

- Organisms., Symp. Soc. Exp. Biol., pp. 205–234.
- Morton, F.I., 1983. Operational estimates of areal evapotranspiration and their significance to the science and practice of hydrology. *J. Hydrol.* 66, 1–76. doi:[https://doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90177-4](https://doi.org/10.1016/0022-1694(83)90177-4)
- Mouelhi, S., 2003. Vers une chaîne cohérente de modèles pluie-débit conceptuels globaux aux pas de temps pluriannuel, annuel, mensuel et journalier. ENGREF.
- Mouelhi, S., Michel, C., Perrin, C., Andréassian, V., 2006. Stepwise development of a two-parameter monthly water balance model. *J. Hydrol.* 318, 200–214.
- Moussavi, M., Feyen, J., Wyseure, G., 1990. Comparison of different structures for a monthly water yield model in seasonally snow-covered mountainous watersheds of Iran. *Hydrol. Sci. J.* 35, 535–546. doi:10.1080/02626669009492457
- Peschke, G., 1997. Grundwasserneubildung, in: Leibundgut, C., Demuth, S. (Eds.), *Freiburger Schriften Zur Hydrologie: Grundwasserneubildung*. Universitat Freiburg, Freiburg, pp. 1–13.
- Ripple, C.D., Rubin, J., Van Hylckama, T.E.A., 1972. Estimating steady-state evaporation rates from bare soils under conditions of high water table, Water Supply Paper 2019-A. Washington DC. doi:10.3133/wsp2019A
- Saltelli, A., Annoni, P., Azzini, I., Campolongo, F., Ratto, M., Tarantola, S., 2010. Variance based sensitivity analysis of model output. Design and estimator for the total sensitivity index. *Comput. Phys. Commun.* 181, 259–270. doi:10.1016/j.cpc.2009.09.018
- Saltelli, A., Ratto, M., Andres, T., Campolongo, F., Cariboni, J., Gatelli, D., Saisana, M., Tarantola, S., 2008. *Global sensitivity analysis: The primer*, Global Sensitivity Analysis. The Primer. John Wiley & Sons Ltd., West Sussex.
- Schaake, J.C., Liu, C., 1989. Development and application of a simple water balance models to understand the relationship between climate and water resources, in: *New Directions for Surface Water Modeling*, Proceedings of the Baltimore Symposium. pp. 343–352.
- Servat, E., Dezetter, A., 1993. Rainfall-runoff modelling and water resources assessment in northwestern Ivory Coast. Tentative extension to ungauged catchments. *J. Hydrol.* 148, 231–248. doi:10.1016/0022-1694(93)90262-8
- Tang, Y., Reed, P.M., van Werkhoven, K., Wagener, T., 2007. Advancing the identification and evaluation of distributed rainfall-runoff models using global sensitivity analysis. *Water Resour. Res.* 43, 1–14. doi:10.1029/2006WR005813
- Thomas, H.A.J., 1981. Improved Methods for National Water Assessment. Water Resources Contract: WR15249270.
- Thorntwaite, C.W., Holzman, B., 1942. *Measurement Of Evaporation From Land And Water Surfaces*. Washington D.C.
- Thorntwaite, C.W., Mather, J.R., 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balances. *Publ. Climatol.* 10, 185–311.
- Thorntwaite, C.W., Mather, J.R., 1955. The water balance. *Publ. Climatol.* 8, 5–86.
- van der Beken, A., Byloos, J., 1977. A monthly water balance model including deep infiltration and canal losses. *Hydrol. Sci. J.* 22, 341–351. doi:10.1080/02626667709491729
- van Werkhoven, K., Wagener, T., Reed, P.M., Tang, Y., 2008. Characterization of watershed model behavior across a hydroclimatic gradient. *Water Resour. Res.* 44, 1–16. doi:10.1029/2007WR006271
- Wang, G., Xia, J., Chen, J., 2009. Quantification of effects of climate variations and human activities on runoff by a monthly water balance model: A case study of the Chaobai River basin in

- northern China. *Water Resour. Res.* 45, 1–12. doi:10.1029/2007WR006768
- Wang, G.Q., Zhang, J.Y., Jin, J.L., Liu, Y.L., He, R.M., Bao, Z.X., Liu, C.S., Li, Y., 2014. Regional calibration of a water balance model for estimating stream flow in ungauged areas of the Yellow River Basin. *Quat. Int.* 336, 65–72. doi:10.1016/j.quaint.2013.08.051
- Xia, J., O'Connor, K.M., Kachroo, R.K., Liang, G.C., 1997. A non-linear perturbation model considering catchment wetness and its application in river flow forecasting. *J. Hydrol.* 200, 164–178. doi:10.1016/S0022-1694(97)00013-9
- Xiong, L., Guo, S., 1999. A two-parameter monthly water balance model and its application. *J. Hydrol.* 216, 111–123.
- Xu, C.-Y., Seibert, J., Halldin, S., 1996. Regional water balance modelling in the NOPEX area: development and application of monthly water balance models. *J. Hydrol.* 180, 211–236.
- Xu, C., 2002. WASMOD – The water and snow balance modeling system, in: Singh, V.P., Frevert, D.K. (Eds.), *Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications*. Water Resources Publications, pp. 555–590.
- Xu, Y., Beekman, H.E., 2003. A box model for estimating recharge - The RIB method, in: Xu, Y., Beekman, H.E. (Eds.), *Groundwater Recharge Estimation in Southern Africa*. UNESCO Paris, Cape Town, pp. 80–88.
- Yates, D.N., 1996. WatBal: An Integrated Water Balance Model for Climate Impact Assessment of River Basin Runoff. *Int. J. Water Resour. Dev.* 12, 121–140.
- Zhang, L., Potter, N.J., Hickel, K., Zhang, Y., Shao, Q., 2008. Water balance modeling over variable time scales based on the Budyko framework - Model development and testing. *J. Hydrol.* 360, 117–131. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.07.021
- Zhao, R.-J., 1992. The Xinanjiang model applied in China. *J. Hydrol.* 135, 371–381. doi:10.1016/0022-1694(92)90096-E
- Zhao, R., Zuang, Y., Fang, L., Liu, X., Zhang, Q., 1980. The Xinanjiang model, in: *Hydrological Forecasting — Prévisions Hydrologiques*. IAHS-AISH Publication no. 129, pp. 351–356.

БИОГРАФИЈА

Жана Топаловић (дјевојачко презиме Рајковић) је рођена 24. јануара 1980. године у Мостару, гдје је завршила дио основне школе до почетка грађанског рата 1992. године. Остатак основног образовања је завршила у Бањој Луци као и средњу Грађевинску школу у генерацији 1995-1999. Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањој Луци је уписала 1999. године и дипломирала на Грађевинском одсјеку почетком 2006. године са просјечном оцјеном 8,5. На Грађевинском факултету у Београду је 2007. године уписала академске специјалистичке студије EDUCATE! из области водних ресурса и водно-еколошког инжењерства које је успјешно завршила 2009. године са просјечном оцјеном 8,83. Послиједипломске студије на Грађевинском факултету, одсјек Грађевинарство, уписала је 2010. године.

Од маја 2006. године запослена је на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци у звању асистента-сарадника у настави. У новембру 2012. године изабрана је у звање вишег асистента. Ангажована је на стручним и међународним пројектима у својству консултанта за хидрологију. Аутор је једног рада у међународном часопису са SCI листе, више радова у часописима од националног значаја и на научним скуповима, као и поглавља књиге која представља компилацију прегледних радова из области интегралног урбаног планирања и која је резултат међународног ERASMUS+ пројекта.

Влада енглеским и служи се француским и њемачким језиком.

Удата је и мајка троје дјеце.

Изјава о ауторству

Име и презиме аутора: Жана Топаловић

Број индекса 914/10

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**РОБУСНА ЕВАЛУАЦИЈА И КАЛИБРАЦИЈА БИЛАНСНИХ ХИДРОЛОШКИХ МОДЕЛА У
ПРОМЈЕНЉИВИМ КЛИМАТСКИМ УСЛОВИМА**

- резултат сопственог истраживачког рада;
- да дисертација у целини ни у деловима није била предложена за стицање друге дипломе према студијским програмима других високошколских установа;
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио/ла интелектуалну својину других лица.

Потпис аутора

У Београду, 09.03.2020.

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора Жана Топаловић

Број индекса 914 / 10

Студијски програм Грађевинарство

Наслов рада: РОБУСНА ЕВАЛУАЦИЈА И КАЛИБРАЦИЈА БИЛАНСНИХ
ХИДРОЛОШКИХ МОДЕЛА У ПРОМЈЕНЉИВИМ КЛИМАТСКИМ УСЛОВИМА

Ментор: проф. др Јасна Плавшић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предала ради похрањивања у **Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског назива доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

Потпис аутора

У Београду, 09.03.2020.

Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

РОБУСНА ЕВАЛУАЦИЈА И КАЛИБРАЦИЈА БИЛАНСНИХ ХИДРОЛОШКИХ МОДЕЛА У ПРОМЈЕНЉИВИМ КЛИМАТСКИМ УСЛОВИМА

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предала сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигиталном репозиторијуму Универзитета у Београду и доступну у отвореном приступу могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучила.

1. Ауторство (CC BY)

2. Ауторство – некомерцијално (CC BY-NC)

3. Ауторство – некомерцијално – без прерада (CC BY-NC-ND)

4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима (CC BY-NC-SA)

5. Ауторство – без прерада (CC BY-ND)

6. Ауторство – делити под истим условима (CC BY-SA)

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци. Кратак опис лиценци је саставни део ове изјаве).

Потпис аутора

У Београду, 09.03.2020.
