

## POREĐENJE METODA POPRAVKE PRISTRASNOSTI GLOBALNOG KLIMATSKOG MODELA NA PRIMERU DVA PODSLIVA JUŽNE MORAVE

Nikola ĐOKIĆ<sup>1</sup>, Borislava BLAGOJEVIĆ<sup>1</sup>, Vladislava MIHAILOVIĆ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Nišu – Građevinsko-arhitektonski fakultet

<sup>2</sup>Univerzitet u Beogradu – Šumarski fakultet

### REZIME

Globalni klimatski modeli imaju grubu prostornu ili vremensku rezoluciju podataka, koja nije pogodna za izučavanja na regionalnom i/ili lokalnom nivou. Popravka pristrasnosti rezultata globalnog klimatskog modela je standardni proces kojim se dobijaju podaci upotrebljivi u studijama uticaja klimatskih promena na regionalnom i lokalnom nivou. U radu je ispitana podobnost četiri različite metode popravke pristrasnosti za usklađivanje sirovih izlaznih podataka globalnog klimatskog modela EC-Earth, sa podacima iz baze E-OBS u kojoj su osmotreni klimatski parametri prikazani u većoj prostornoj rezoluciji. Razmatrane metode popravke pristrasnosti su statističke metode iz grupe metoda jednakih kvantila. Kalibracija i verifikacija statističkih modela primenjenih metoda sprovedena je za različite periode u opsegu od 1950. do 2010. godine, za srednje dnevne temperatura vazduha i mesečne sume padavina na području sliva reke Kosanice u profilu Visoka i reke Jablanice u profilu Sijarinska Banja. Poređenje rezultata primenjenih metoda u periodu verifikacije izvršeno je preko tri standardne mere: srednje kvadratne greške, srednje apsolutne greške i korena iz srednje kvadratne greške. Rezultati ispitivanja ukazali su da primenjene metode kod padavina i temperatura daju različite rezultate, pri čemu su nešto lošiji rezultati dobijeni u zoni većih vrednosti suma mesečnih padavina, što je važno imati u vidu kod hidroloških analiza u uslovima buduće klime.

**Ključne reči:** klimatski model, popravka pristrasnosti, statističke metode, srednja dnevna temperatura vazduha, mesečne sume padavina

### 1. UVOD

Projekcije buduće klime dobijene simulacionim modelima za teritoriju Republike Srbije su nepovoljnog karaktera, posebno u sektoru vodoprivrede [1, 2]. Rezultati simulacija klimatskih modela najviše zavise od emisije CO<sub>2</sub> koja ima primarni uticaj na promenu klime određenog područja. Pored toga, bitni parametri koji utiču na klimu, poput vodene pare, nisu adekvatno predstavljeni, tako da klimatski modeli, kao matematički modeli čiji rezultati zavise od mnogih faktora, simuliraju buduću klimu sa relativno velikom dozom neizvesnosti [3].

Jedan od izvora neizvesnosti u sagledavanju promene klime na manjem području, jeste i gruba rezolucija globalnih klimatskih modela. Prvobitni globalni klimatski modeli (GKM) imali su rezoluciju 150 – 300 km, što je otežavalo ili činilo nemogućim ispitivanje klimatskih promena na regionalnom i lokalnom nivou [4]. Da bi se dobila finija rezolucija modela, potrebno je napraviti prelaz sa globalnog na regionalne klimatske modele, odnosno, detaljnije predstaviti meteorološke promenljive. Razlaganje podatka radi pretvaranja podataka grube u podatke finije rezolucije (*engl. downscaling*), u domaćoj literaturi, zbog prelaska sa globalnog na regionalni model, naziva se i "regionalizacija" [4,5], mada se pod regionalizacijom klimatskih modela podrazumeva i postupak donošenja zaključaka o klimi manjeg područja, regiona, na osnovu atmosferske cirkulacije koju na velikim razmerama predviđi GKM [5].

Prelazak na finiju rezoluciju podataka koji se koriste za potrebe regionalnih klimatskih modela (RKM) može biti ne samo na prostornoj, nego i na vremenskoj skali [6].

---

Podaci o prihvatanju članka

Primljen: 3.10.2023.

Ispravljen: 19.10.2023.

Prihvaćen: 25.10.2023.

Kontakt: nikolavdjokic995@gmail.com

U tom smislu, postoje dve grupe metoda povećanja rezolucije, a to su dinamičke i statističke, mada se u nekim izvorima [4, 7] pominje i treća grupa koja podrazumeva kombinaciju dinamičkih i statističkih metoda (kombinovane metode).

U grupi statističkih metoda povećanja rezolucije, postoje tri podgrupe i to: 1) Metode zasnovane na vremenskim šemama, 2) Vremenski generatori, i 3) Regresione metode.

Statističke metode podrazumevaju uspostavljanje statističkog odnosa između klime velikih razmera koja potiče od GKM i klime lokalnog nivoa, dobijene na osnovu osmatranja. Pod pretpostavkom da se takav odnos ne menja kroz vreme, može se izvršiti povećanje rezolucije podataka GKM.

Dinamičke metode, sa druge strane, koriste RKM umetnut u GKM, za generisanje klimatskih informacija fine rezolucije.

U [6] se navodi da su dinamičke metode složene i zahtevaju primenu računara visokih performansi, kao i da se prilikom primene ovih modela javljaju razne greške. Nasuprot tome, primena statističkih metoda moguća je i na jednostavnim računarima. Takođe, pominje se i da su dinamičke metode ograničene na prostornu rezoluciju 20-50 km.

Povećanje prostorne rezolucije modela moguće je izvršiti i primenom metoda popravke pristrasnosti (PP) (*engl. bias correction*) koje uspostavljaju statističku vezu između osmotrenih meteoroloških podataka i sirovih podataka klimatskih modela. Primarni cilj pomenutih metoda je da izvrše popravku sirovih podataka klimatskih modela, čije simulacije imaju sistematske greške, tzv. pristrasnosti. Međutim, odgovarajućim pristupom, ove metode se ujedno mogu koristiti i za povećanje rezolucije modela, a ne samo za popravku njihovih sistematskih grešaka, pa se ovaj način povećanja rezolucije može nazvati i pseudo statističkom metodom povećanja rezolucije [8].

Danas postoji veliki broj metoda za PP, a samo u radu [5] primenjene su 22 različite metode. U [9], korišćena je kombinacija sve tri navedene podgrupe statističkih metoda povećanja rezolucije, primenom Bajesovog modela osrednjavanja. Rezultati navedeni u [6] govore u prilog tome da preciznije rezultate pruža kombinacija metoda, u odnosu na primenu svake od njih zasebno. Heo i saradnici [10] navode da se iz metoda PP izdvajaju metode jednakih kvantila (*eng. Quantile*

*mapping*), koje dovode do odličnih rezultata u pogledu dnevnih padavina. Autori ističu i podobnost dvoparametarskih modela raspodela verovatnoće, pri čemu se od njih najboljom pokazala gama raspodela, dok su najbolji rezultati dobijeni korišćenjem četvoroparametarske, kapa raspodele sa dva parametra oblika.

Većina autora oslanja se na metode PP zasnovane na raspedelama verovatnoće [10, 14]. Neki se pak oslanjaju na klasične pristupe, poput delta postupka ili linearne PP [15, 16].

Povećanje rezolucije i popravka pristrasnosti rezultata GKM proizvodi podatke koji omogućavaju lokalne, a ne regionalne ili globalne projekcije klimatskih promena i njihovih uticaja [17, 18]. Planiranje, modeliranje i praćenje klimatskih uslova stoga se mogu odvijati na nivou opština, slivova ili drugih lokalnih nivoa [19-23].

S obzirom na to da postoji veliki broj razvijenih metoda PP, važno je odabrati odgovarajuću metodu za konkretno istraživanje, odnosno, za određene klimatske uslove.

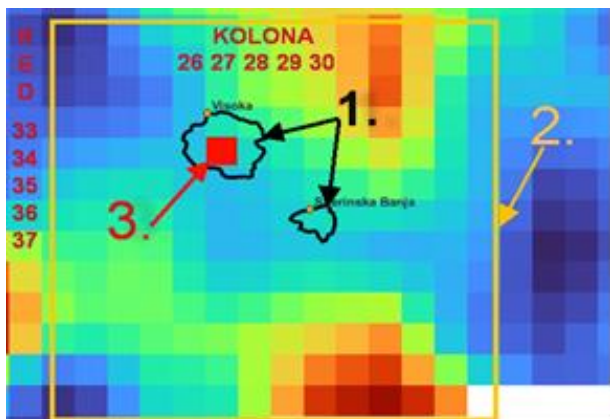
U ovom radu ispitani su rezultati statističkog povećanja rezolucije suma mesečnih padavina i srednjih dnevnih temperatura vazduha primenom četiri različite metode PP nad sirovim podacima GKM EC-Earth [24] u odnosu na podatke iz baze E-OBS [25], koji si se koriste u Digitalnom atlasu klime Srbije ([www.atlas-klime.eko.gov.rs](http://www.atlas-klime.eko.gov.rs)). PP je prikazana na primeru sliva reke Kosanice do profila hidrološke stanice (HS) Visoka i sliva reke Jablanice do profila HS Sijarinska Banja. Za ocenu podobnosti korišćenih metoda na prilagođavanju vrednosti modela osmotrenim podacima, korišćene su tri mere: srednja kvadratna greška (MSE), srednja apsolutna greška (MAE) i koren iz srednje kvadratne greške (RMSE).

Cilj rada je sagledavanje rezultata koje daju različite statističke metode PP za dobijanje meteoroloških parametara finije rezolucije iz GKM, radi uvida u potencijalne probleme koji se mogu pojaviti kada se ovi parametri koriste kao ulazni podaci za hidrološke analize u uslovima buduće klime.

## 2. METODOLOGIJA

### 2.1 ULAZNI PODACI

Ulazni podaci obuhvataju prostorne podatke o granicama izučavanih slivova i podatke o klimatskim parametrima. Podaci o granicama slivova (Slika 1), preuzeti su iz prethodnih istraživanja [11,12].



Slika 1. Ilustracija postavke prostornih podataka: 1- vektorski sloj podataka koji čine granice dva razmatrana sliva do profila HS; 2- ćelija GKM; 3- ćelija finije mreže ~10 x 10km u kojoj su prikazani osmotreni podaci u bazi E-OBS.

Podaci o klimatskim parametrima su podaci o srednjim dnevnim temperaturama vazduha i mesečnim sumama padavina. U rasterskoj formi, ovi podaci preuzeti su iz GKM EC-Earth [24], kao i iz baze E-OBS [25]. Baza podataka E-OBS jedan je od rezultata ECA&D projekta (*European Climate Assessment & Dataset project*). Podaci iz ove baze su predstavljani u mreži rezolucije ~10 x 10km (Slika 1) i u daljem radu su tretirani kao osmotreni podaci. U okviru ECA&D projekta podaci osmatranja u tačkama (na meteorološkim stanicama) pretvoreni su u prostorne podatke – podatke u pravilnoj mreži, pri čemu su izvršene različite intervencije na podacima. Položaj najbližih meteoroloških stanica analiziranim slivovima prikazan je na Slici 2.

Tabela 1. Razmatrani slivovi i podaci o klimatskim parametrima za analizu.

Redni broj	Stanica	Površina sliva (km <sup>2</sup> )	Reka	Razmatrani parametar	Period kalibracije	Period verifikacije	Ukupno podataka za kalibraciju	Ukupno podataka za verifikaciju
1	Visoka	370	Kosanica	Temperatura	1950-1999	2000-2010	18263	3621
				Padavine	1979-1999	2000-2009	252	108
2	Sijarinska Banja	95	Jablanica	Temperatura	1950-1999	2000-2010	18263	3621
				Padavine	1979-1999	2000-2009	252	108

## 2.2 POPRAVKA PRISTRASNOSTI

Popravka pristrasnosti statističkim metodama podrazumeva uspostavljanje veze između svake ćelije finije mreže iz E-OBS baze (koja se svojim delom ili u celosti nalazi u okviru sliva) i ćelije GKM [13]. Ova veza uspostavljena je pomoću četiri različite metode PP za period kalibracije, a zatim je ta veza primenjena i

Svaka ćelija finije mreže u odnosu na GKM (Slika 1, Slika 2), ima svoju 'adresu', predstavljenu u formatu: broj reda/broj kolone.

Preklapanjem tri podloge (Slika 1) vidi se da jedna ćelija GKM obuhvata oba sliva, dok sa druge strane, devet ćelija iz baze E-OBS obuhvata HS Visoka (33/26, 33/27, 33/28, 34/26, 34/27, 34/28, 35/26, 35/27, 35/28), a tri ćelije, HS Sijarinska Banja (36/29, 36/30, 37/30).



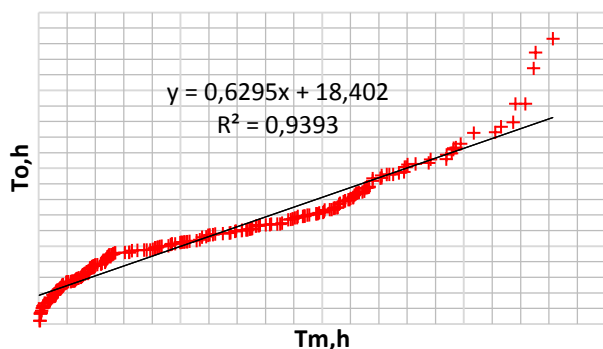
Slika 2. Položaj meteoroloških stanica u odnosu na granice slivova razmatranih HS. Prikaz u mreži E-OBS sa označenim brojevima redova i kolona.

Analiza je ovde sprovedena za svaku ćeliju E-OBS koja se svojim delom ili u celosti nalazi u okviru sliva, da se ne bi ograničila mogućnost izbora hidroloških metoda i modela u budućim istraživanjima.

Za analizu temperatura i padavina korišćeni su podaci iz raspoloživih izvora [24, 25], a periodi obrade podataka se razlikuju (Tabela 1). Vremenska rezolucija podataka o temperaturi vazduha je dan, a podataka o padavinama, mesec.

razmatrana kroz period verifikacije. Sve četiri metode su opisane u nastavku.

Prilikom uspostavljanja veze GKM – osmotreni podaci, treba imati u vidu da se veza uspostavlja na nivou varijacionih nizova, odnosno rangova podataka [26], kako je to prikazano na Slici 3.



Slika 3. Odnos osmotrenih ( $T_{o,h}$ ) i modeliranih podataka ( $T_{m,h}$ ) o temperaturi, poređanih u rastući poredak, u jednoj ćeliji finije mreže 10x10km.

### 2.2.1 Delta postupak (DM)

Najjednostavniju metodu PP predstavlja delta postupak - DM (*engl. delta mapping*), koja uspostavlja vezu između osmotrenih i modeliranih podataka na sledeći način:

$$X_{o,h} = X_{m,h} * \overline{X_{o,h}} / \overline{X_{m,h}} \quad (1)$$

gde je  $\overline{X_{o,h}} / \overline{X_{m,h}}$  količnik srednjih vrednosti nizova osmotrenih ( $X_{o,h}$ ) i modelovanih ( $X_{m,h}$ ) podataka u periodu osmatranja. Može se reći da ova metoda i ne predstavlja metodu PP modela, već samo koristi odgovor modela na klimatske promene da bi modifikovao osmatranja [27]. Korigovana vrednost razmatranog parametra u određenom trenutku u budućnosti dobija se na sledeći način:

$$X_{c,f} = X_{m,f} * \overline{X_{o,h}} / \overline{X_{m,h}} \quad (2)$$

gde je  $X_{c,f}$  korigovana buduća vrednosti modela u trenutku  $t$ ,  $X_{m,f}$  je projektovana vrednost modela u istom trenutku. Dakle, prilikom popravke podataka modela u periodu predikcije, zadržava se odnos  $\overline{X_{o,h}} / \overline{X_{m,h}}$  iz referentnog perioda. Treba napomenuti da se u ovom radu projekcija budućih podataka odnosi na period verifikacije, a istorijski period na period kalibracije.

### 2.2.2 Metoda funkcije linearne transformacije (LTF)

Fleksibilnije metode PP pokušavaju da prilagode varijansu raspodele modela kako bi bolje odgovarala varijansi osmotrenih podataka. Metode jednakih kvantila su među najpopularnijim metodama PP, gde se statističke transformacije primenjuju u naknadnoj obradi rezultata klimatskog modeliranja.

Metoda funkcije linearne transformacije (LTF) uspostavlja linearnu vezu između kvantila osmotrenih i modeliranih vrednosti razmatranih parametara u referentnom periodu:

$$X_{o,h} = a + b * X_{m,h} \quad (3)$$

gde su  $X_{o,h}$  i  $X_{m,h}$  vrednosti osmotrenih i modeliranih promenljivih u periodu osmatranja (u ovom slučaju u periodu kalibracije). Tražena korigovana vrednost modela  $X_{c,f}$  u trenutku  $t$  iz perioda predikcije (u ovom slučaju perioda verifikacije) dobija se na sledeći način:

$$X_{c,f} = a + b * X_{m,f} \quad (4)$$

gde su  $a$  i  $b$  prethodno određeni parametri linearne regresije za period osmatranja (ovde, period kalibracije), a  $X_{m,f}$  je modelirana vrednost parametra u trenutku  $t$  iz perioda predikcije (ovde, verifikacije).

### 2.2.3 Metoda jednakih kvantila normalne raspodele verovatnoće (NRV)

Metoda jednakih kvantila korišćenjem normalne raspodele verovatnoće (NRV) sprovedena je za podatke o dnevnim temperaturama vazduha. Prvo se određuju parametri normalne raspodele (srednja vrednost niza i varijansa) za period osmatranja. Korigovana vrednost promenljive za neki trenutak  $t$  u budućnosti dobija se na sledeći način:

$$X_{c,f} = F_{o,h}^{-1} \left[ F_{m,f} \left( X_{m,f}(t) \right) \right] \quad (5)$$

Dakle, korigovana vrednost modela u nekom trenutku  $t$  iz perioda predikcije, dobija se kao inverzna funkcije normalne kumulativne raspodele za srednju vrednost i standardnu devijaciju koja je određena na osnovu perioda osmatranja.

Za PP podataka o temperaturama nije pogodno koristiti Gama raspodelu zbog negativnih vrednosti koje može imati ovaj klimatski parametar. Zbog toga je u ovom radu u analizama temperatura korišćena normalna raspodela.

### 2.2.4 Metoda jednakih kvantila gama raspodele verovatnoće (GRV)

Gama raspodela se često koristi za raspodelu verovatnoće padavina [28 – 30]. Ona ima jedan parametar oblika i zbog toga je fleksibilnija od recimo, normalne raspodele, koja nema nijedan. Zbog toga se

dvoparameterske raspodele sa parametrom oblika preporučuju kod PP podataka o padavinama [10, 31].

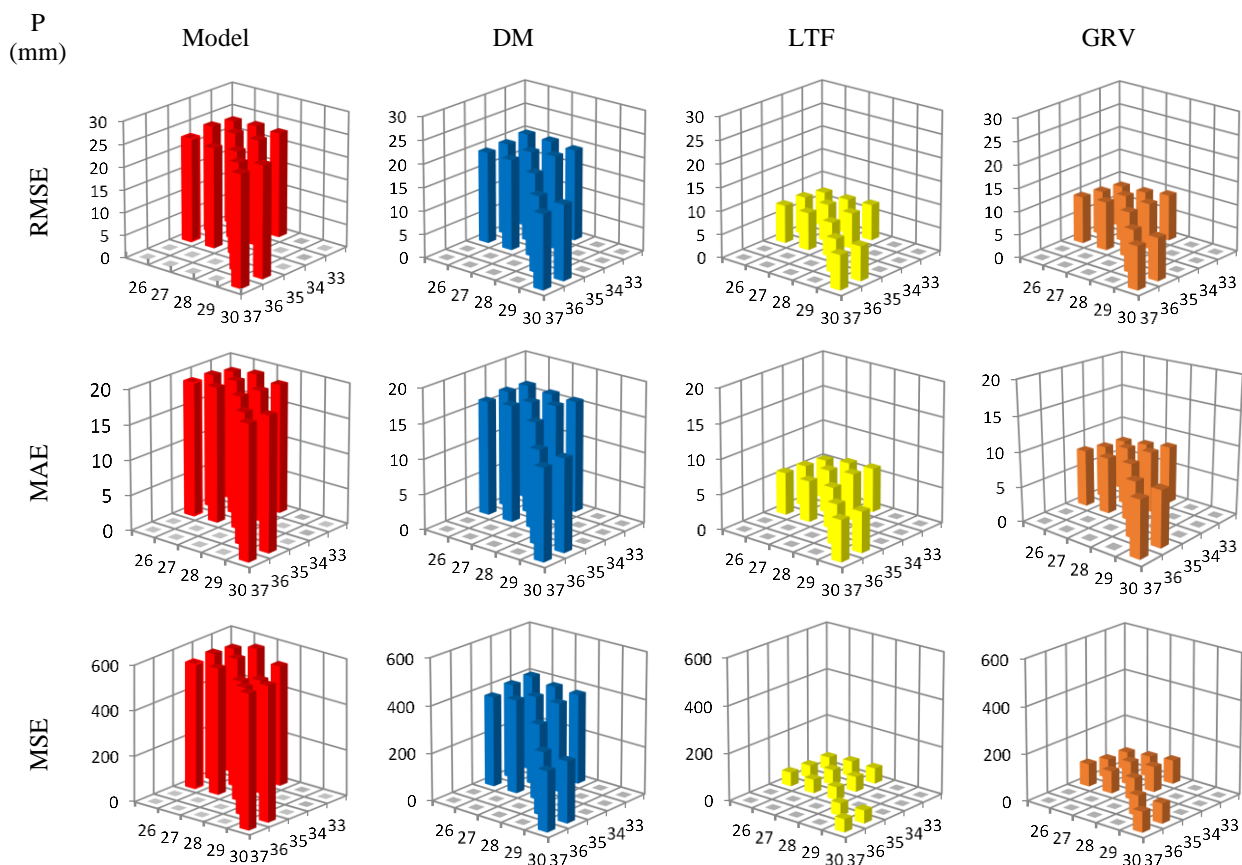
Gama raspodela koristi parametre  $\alpha$  – parametar oblika, i  $\beta$  – parametar razmere.

$$\alpha = \frac{\overline{X_{o,h}}^2}{\sigma^2}; \quad \beta = \frac{\sigma^2}{\overline{X_{o,h}}}, \quad (6)$$

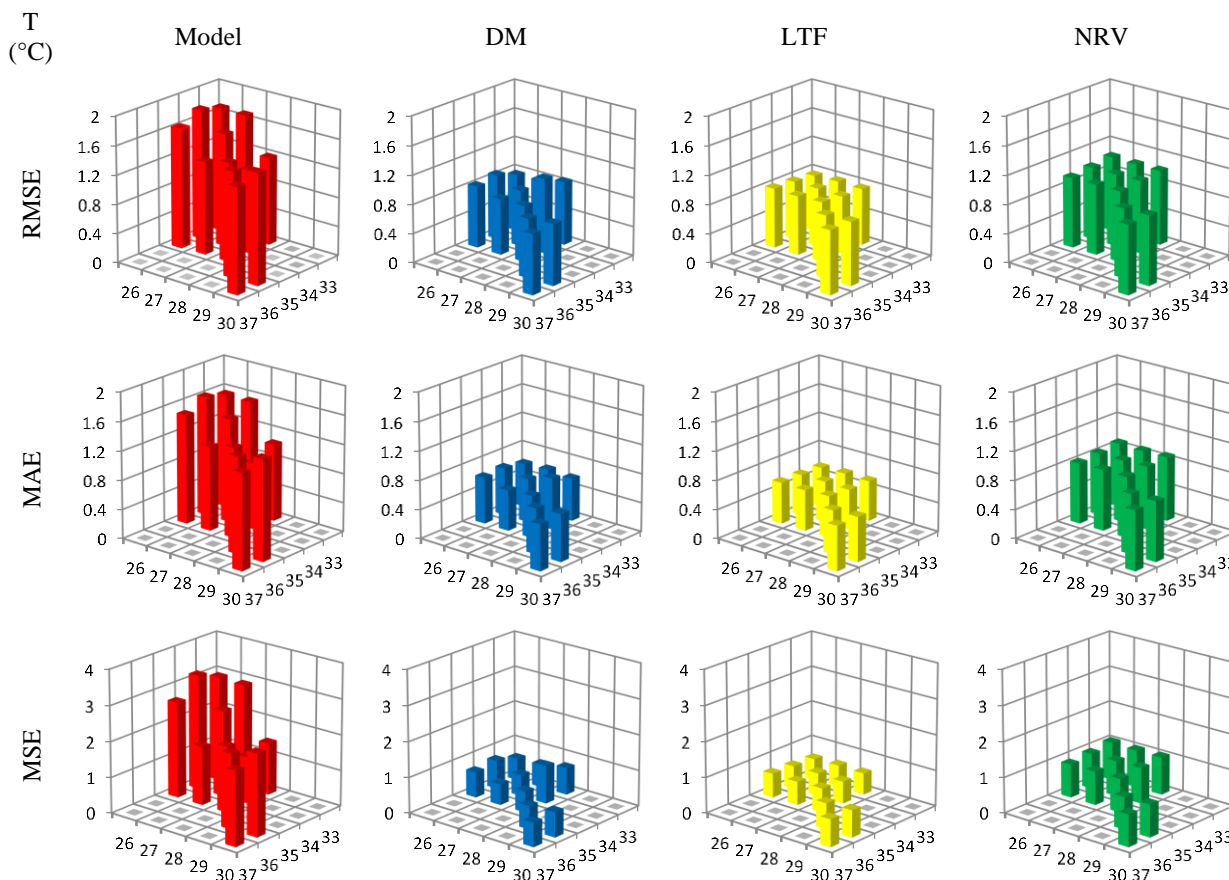
pri čemu je  $\overline{X_{o,h}}$  srednja vrednost osmotrenog niza podataka iz istorijskog perioda, a  $\sigma^2$  varijansa ovog niza. Analogno metodi jednakih kvantila korišćenjem normalne raspodele, na identičan način preko jednačine (5) dolazi se do korigovane vrednosti mesečnih padavina u nekom trenutku  $t$  iz perioda predikcije, s tim da se u proračunu koriste parametri Gama raspodele.

### 3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati dobijenih vrednosti klimatskih parametara u odnosu na osmotrene parametre GKM u periodu verifikacije, preko GKM (model) i po četiri primenjene metode, odnosno, po tri metode PP za svaki klimatski parametar, prikazani su preko mera saglasnosti: korena srednje kvadratne reške (RMSE), srednje apsolutne greške (MAE) i srednje kvadratne greške (MSE). Ove vrednosti grafički su predstavljene u vidu 3D stubova (Slika 4, Slika 5). Grafik je konstruisan na način koji omogućava prostorni uvid u rezultate po redosledu ćelija finije mreže podataka. Na  $x$ -osi su brojevi redova ćelija, na  $y$ -osi brojevi kolona, a na  $z$ -osi same vrednosti grešaka. Dakle, ravan  $xy$  odgovara mreži na Slici 1 i Slici 2.



Slika 4. Prikaz mera saglasnosti GKM u odnosu na osmotrene vrednosti na nivou ćelija mreže E-OBS baze za padavine u periodu verifikacije. Vrednosti korena srednje kvadratne greške (RMSE), srednje apsolutne greške (MAE), srednje kvadratne greške (MSE) date su za GKM (Model) i vrednosti dobijene razmatranim metodama delta postupka (DM), funkcije linearne transformacije (LTF) i pomoću gama funkcije raspodele (GRV).



Slika 5. Prikaz mera saglasnosti GKM u odnosu na osmotrene vrednosti na nivou ćelija mreže E-OBS baze za temperature u periodu verifikacije. Vrednosti korena srednje kvadratne greške (RMSE), srednje apsolutne greške (MAE), srednje kvadratne greške (MSE) date su za GKM (Model) i vrednosti dobijene razmatranim metodama delta postupka (DM), funkcije linearne transformacije (LTF) i pomoću gama funkcije raspodele (GRV).

Prema dostupnoj literaturi, u praksi se najčešće koriste statističke metode za PP globalnog modela i radi dobijanja boljih rezultata klimatskih modela za potrebe visokih prostornih rezolucija [17, 32, 33].

RMSE se kreće od 0 do  $+\infty$  i koristi se za proveru saglasnosti između osmotrenih i modelovanih vrednosti. RMSE vrednost blizu 0 ukazuje na veću tačnost u proceni. MAE je apsolutna mera pristrasnosti koja varira između 0 i  $+\infty$ . MAE vrednost blizu 0 ukazuje na nepristrasno predviđanje. I srednja kvadratna greška (RMSE) i srednja apsolutna greška (MAE) su u velikoj meri korišćene u studijama klimatskih promena i ocene hidroloških modela [34-36].

Na osnovu dobijenih vrednosti mera saglasnosti popravljenih vrednosti modela sa osmotrenim vrednostima, kao i na osnovu Slika 4 i 5, uočava se da je

popravka u svim slučajevima rezultirala boljom usklađenošću rezultata sa osmotrenim podacima nego „sirovi“ rezultati modela - GKM (prikazani crvenim stubovima).

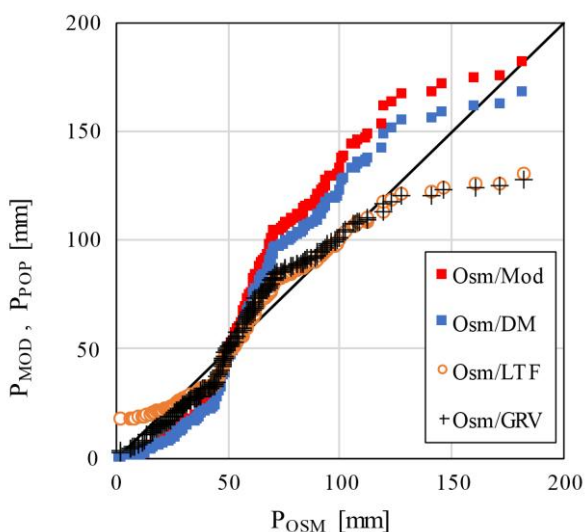
Na nivou svih razmatranih ćelija, kod analize temperatura, sve tri metode daju slične, dobre rezultate, mada je nešto lošija metoda NRV od druge dve. Prema RMSE i MSE najbolje rezultate je dala metoda delta postupka (DM), a prema MAE metoda LTF. U slučaju padavina, metode GD i LTF dale su veoma dobre rezultate, s tim da se ipak nešto boljom pokazala LTF (žuti stubovi). Sa druge strane, metoda DM (plavi stubovi) za ovaj klimatski parametar daje prilično loše rezultate.

Sa dijagrama na Slici 4 i Slici 5, može se uočiti da su nešto bolji rezultati primenjenih PP metoda dobijeni za

područje sliva reke Jablanice (36/29, 36/30, 37/30), u odnosu na sliv reke Kosanice. Ovo može biti posledica lokacije meteorološke stanice (MS) Sijarinska Banja koja se nalazi na ovom području. Mada, sa druge strane u blizini ćelije 33/26 nalazi se MS Kuršumlja (Slika 2), ali to nije dalo za ishod niže vrednosti grešaka u odnosu na druge ćelije.

Razmatrajući MSE za slučaj padavina, uočava se velika varijacija rezultata, kao i veoma visoke vrednosti koje se dobijaju za sirove podatke modela, što ukazuje na veliku razliku između osmotrenih i modeliranih padavina.

Ilustracija dobijenih rezultata data je i preko Q-Q dijagrama na Slici 6 za padavine i Slici 7 za temperaturu, za jednu od 12 razmatranih ćelija (ćeliju 33/27) u periodu kalibracije. Na x-osi date su vrednosti osmotrenih padavina, a na y-osi vrednosti iz modela GKM, kao i popravljene vrednosti modela primenom tri različite metode PP. Dijagonala predstavlja idealno slaganje modeliranih podataka sa osmotrenim. Vrednosti iznad dijagonale predstavljaju vrednosti veće u odnosu na osmotrene, a vrednosti ispod dijagonale predstavljaju niže vrednosti u odnosu na osmotrene.



Slika 6. Q-Q dijagrami za modelovane i korigovane kvantile suma padavina u periodu kalibracije. Ćelija 33/27 na području sliva HS Visoka, reka Kosanica.

Sa ovog dijagrama može se uočiti da se popravkom podataka iz modela, tačke približavaju dijagonali. DM bolje rezultate u odnosu na LTF i GRV pruža samo u zoni velikih mesečnih suma padavina. Kod suma mesečnih padavina nižih od 55 mm, DM pokazuje lošije

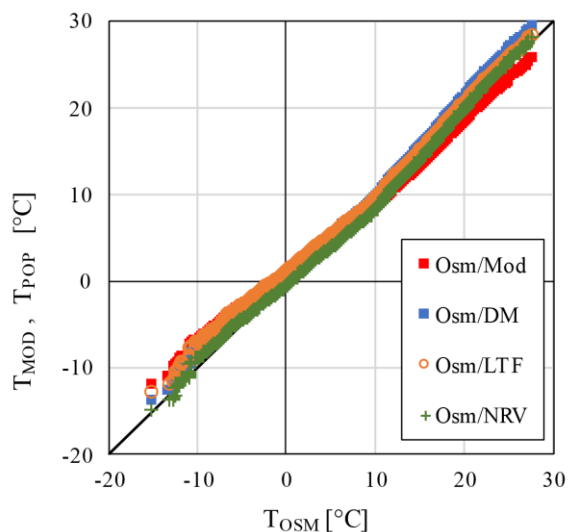
rezultate čak i u odnosu na nekorigovani model. Očigledno je da se padavine dobijene metodom LTF (naranđasti krugovi) nalaze najbliže samoj dijagonali u centralnom delu dijagrama (odnosno, za prosečne vrednosti suma padavina), dok se u donjem delu najbolje pokazala GRV (crni krstići). Međutim, ove metode daju loše rezultate u gornjoj zoni, zoni velikih suma padavina. U donjoj zoni odlično se pokazala metoda GRV, dok za gornju zonu korišćene metode nisu bile precizne.

Slične rezultate za padavine dobili su i Maikel i saradnici [37]. U tom radu su korišćene mere RMSE, MAE, PBIAS i R za utvrđivanje podobnosti šest različitih metoda PP, među kojima su bile i LTF, DM i GRV. Autori su radili analizu po godišnjim dobima (tromesečjima) za područje Kariba. Najveće vrednosti RMSE i MAE javile su se za mesec jun-jul-avgust (JJA), odnosno najmanje za periode decembar-januar-februar (DJF). U zimskim mesecima (DJF), model je dao dosta veće vrednosti od osmotrenih u zoni velikih suma mesečnih padavina, dok u letnjim (JJA), to nije bio slučaj, već je u istoj zoni model uglavnom davao niže vrednosti u odnosu na osmotrene.

U pomenutom radu [37], vrednosti RMSE i MAE kretale su se u opsegu od 0 do 100, a osmotrenih vrednosti do 300 mm (DJF) i 500 mm (JJA), u zavisnosti od tromesečja. U odnosu na te rezultate, vrednosti RMSE i MAE koje su dobijene ovim istraživanjem nisu u toj meri varirale – dosta su niže, i može se reći da su rezultati PP bolje usklađeni sa osmotrenim vrednostima.

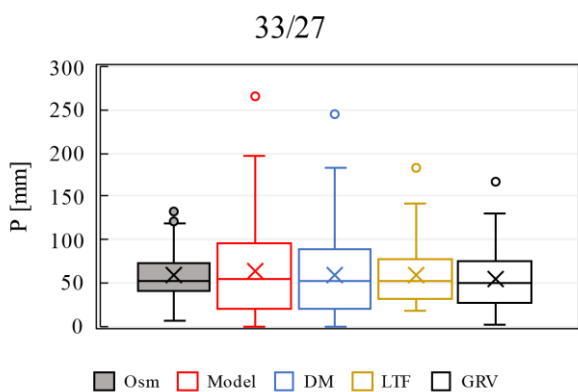
Kod temperatura, zbog finije vremenske rezolucije u odnosu na padavine, period verifikacije ima višestruko manji broj podataka (3621) nego period kalibracije (18263), tako da je moguće jasnije videti razlike u rezultatima, pa je zbog toga odabran za prikaz rezultata (Slika 7).

Sa Slike 7 može se uočiti da razlike između korigovanih i osmotrenih vrednosti za slučajeve ekstrema nisu toliko izražene kao kod padavina, čak NRV daje veoma dobre rezultate. NRV se ovde pokazala kao najbolja od korišćenih metoda PP. Sam model, kao što se i očekivalo, daje najveće odstupanje od dijagonale. Kada se poredi LTF i DM, vidi se da postupak DM bolje prilagođava vrednosti modela osmotrenim vrednostima kod temperatura ispod 10°C, dok je za veće vrednosti bolja LTF. Za razliku od padavina, ovde se postupak DM donekle pokazao prihvatljivim za popravku pristrasnosti modela GKM.



Slika 7. Q-Q dijagrami za modelovane i korigovane kvantile temperatura vazduha u periodu verifikacije. Čelija 33/27 na području sliva HS Visoka, reka Kosanica.

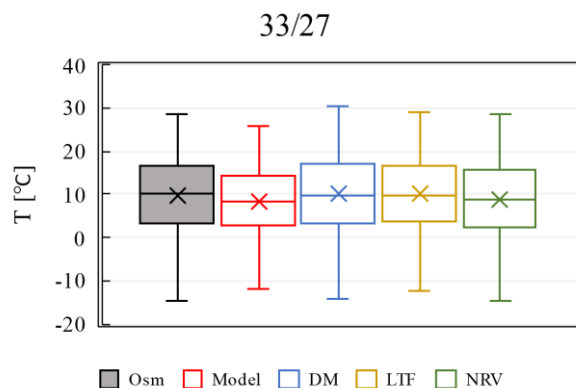
Prikaz statistika modelovanih (GKM) i popavljenih vrednosti podataka za oba razmatrana parametra u periodu verifikacije, za po jednu ćeliju mreže iz svakog razmatranog sliva, dat je na Slikama 8-11 u vidu kutijastih dijagrama (*box-plots*).



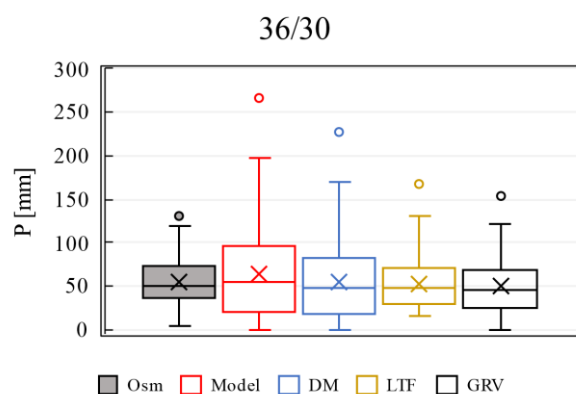
Slika 8. Dijagrami vrednosti statistika suma mesečnih padavina u periodu verifikacije za ćeliju 33/27 na području sliva HS Visoka, reka Kosanica.

Rezultati primene statističkih metoda PP kroz kutijaste dijagrame, otkrivaju da LTF metoda kod padavina precenjuje manje sume padavina, a da GRV u zoni većih suma padavina može da da najprihvatljivije

rezultate (Slika 8 i Slika 10). Kada je temperatura u pitanju (Slika 9 i Slika 11), model daje generalno manje vrednosti od osmatranja, a NRV metoda dobro reprodukuje osmotrene temperature.



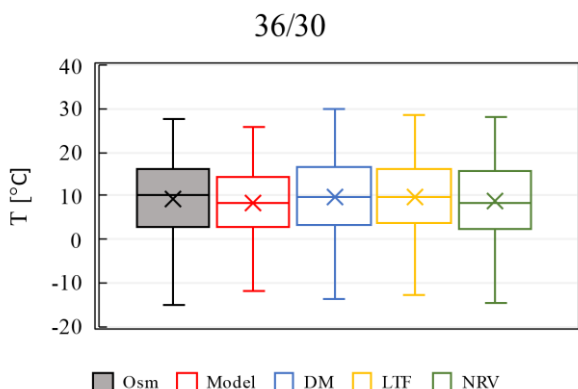
Slika 9. Dijagrami vrednosti statistika temperature u periodu verifikacije za ćeliju 33/27 na području sliva HS Visoka, reka Kosanica.



Slika 10. Dijagrami vrednosti statistika suma mesečnih padavina u periodu verifikacije za ćeliju 36/30 na području sliva HS Sijarinska Banja, reka Jablanica.

Prema autorima [38, 39], očekivano je da, zbog različitih karakteristika meteoroloških veličina, metode PP pokazuju različite performanse u zavisnosti od toga na koju veličinu se primenjuju. Rezultati ovog istraživanja su to potvrdili, a to se naročito odnosi na postupak DM, koji se pokazao loše kod usklađivanja padavina, a dobro kod temperatura.





Slika 11. Dijagrami vrednosti statistika temperature u periodu verifikacije za ćeliju 36/30 na području sliva HS Sijarinska Banja, reka Jablanica.

## 5. ZAKLJUČCI

Paralelno sa razvojem klimatskih modela, razvijane su i metode koje doprinose njihovoj upotrebljivosti na sve manjim područjima i u finijim rezolucijama prikaza podataka, kako prostornim, tako i vremenskim. Metode za popravku pristrasnosti klimatskih modela, namenjene su otklanjanju razlika i grešaka u odnosu na registrovane podatke u mreži osmatračkih stanica. Različite metode imaju različite mogućnosti reprodukcije podataka na osnovu istih podataka osmatranja klimatoloških parametara, a rezultati koje daju, dalje se koriste u studijama uticaja klimatskih promena u brojnim sektorima. Zbog toga je ključno upoznavanje mogućnosti metoda za popravku pristrasnosti.

U ovom radu su prikazani rezultati primene četiri metode popravke pristrasnosti, iz grupe statističkih metoda, i to: delta postupak, metoda funkcije linearne transformacije, metoda jednakih kvantila preko normalne funkcije raspodele i metoda jednakih kvantila preko gama funkcije raspodele. Metode su primenjene na globalni klimatski model EC-Earth, a rezultati su poređeni sa bazom podataka E-OBS, koja sadrži detaljne podatke o klimatološkim parametrima za Srbiju. Analizirana su područja dva podsliva Južne Morave, reke Kosanice u profilu Visoka i reke Jablanice u profilu Sijarinska Banja, a poređeni su rezultati popravke podataka o srednjim dnevnim temperaturama vazduha i mesečnim sumama padavina.

Rezultati ovog rada ukazali su na sledeće:

1. Primenjene statističke metode popravke pristrasnosti su jednostavne za primenu i generalno imaju dobre performanse u razmatranom periodu 1950.-2010. godina.
2. Najbolji rezultati dobijeni su metodama jednakih kvantila prema normalnoj raspodeli verovatnoće za temperature i gama raspodeli za padavine.
3. Kod oba razmatrana klimatološka parametra, trebalo bi povesti računa o zonama najmanjih i najvećih vrednosti, koje sve metode nisu u stanju da reprodukuju u većoj ili manjoj meri. Delta postupak je recimo, dobar za temperature i padavine ispod prosečnih vrednosti, ali ne i za vrednosti veće od njih.
4. Velike vrednosti suma mesečnih padavina zahtevaju posebnu pažnju, zato što ukazuju da može doći do precenjivanja podataka, a kada se pređe na dnevnu rezoluciju padavina, to bi moglo biti veoma važno za hidrološke analize velikih voda u budućnosti.

Radi sagledavanja vodnih režima u uslovima buduće klime potrebno je dalja istraživanja usmeriti ka metodama za bolju reprodukciju padavina u zoni velikih vrednosti, kao ulazu u hidrološke modele.

## IZJAVA

U radu su korišćeni E-OBS podaci iz EU-FP6 projekta UERRA ([www.uerra.eu](http://www.uerra.eu)), iz Copernicus Climate Change Service, kao i podaci obezbeđeni u okviru projekta ECA&D ([www.ecad.eu](http://www.ecad.eu)).

Rad je delom finansiran iz sredstava Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije, ugovor br. 451-03-47/2023-01/200095 i 451-03-47/2023-01/200169.

## LITERATURA

- [1] Branislav Đorđević, Tina Dašić, Jasna Plavšić: Uticaj klimatskih promena na vodoprivredu Srbije i mere koje treba preduzimati u cilju zaštite od negativnih uticaja. VODOPRIVREDA 0350-0519, Vol. 52 (2020) No. 303-305 p. 39-68.
- [2] Tina Dašić, Branislav Đorđević, Jasna Plavšić: Upravljanje vodama u uslovima klimatskih promena. Zbornik radova VODA 2020, Trebinje, 2020.
- [3] <http://www.meteologos.rs/klimatski-modeli-1/> (25.11.2022.)

- [4] Marija Sudarić (2015): Uticaj klimatskih promena na pojavu plamenjače vinove loze u Srbiji. Master rad. Prirodno-matematički fakultet Univerziteta u Novom Sadu.
- [5] Milena Jančić (2015): Uticaj klimatskih promena na biljnu proizvodnju. Doktorska disertacija. Poljoprivredni fakultet Univerziteta u Novom Sadu.
- [6] <https://agrimetsoft.com/sd-gcm> (09.01.2023.)
- [7] Zhongfeng XU, Ying HAN, and Zongliang YANG (2019): Dynamical downscaling of regional climate: A review of methods and limitation. Science China Press and Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2019.
- [8] Đurđević, V. – pisana komunikacija (29.05.2023.)
- [9] Jiaming Liu, Di Yuan, Liping Zhang, Xia Zou and Xingyuan Song: Comparison of three statistical downscaling methods and ensemble downscaling method based on bayesian model averaging in upper Hanjiang river basin, China. *Advances in Meteorolog*, Volume 2016, Article ID 7463963,
- [10] Heo, Jun-Haeng, Hyunjun Ahn, Ju-Young Shin, Thomas Rodding Kjeldsen, and Changsam Jeong: Probability Distributions for a Quantile Mapping Technique for a Bias Correction of Precipitation Data: A Case Study to Precipitation Data Under Climate Change. *Water* 11, no. 7, 2019
- [11] Nikola Đokić, Borislava Blagojević: Priprema klimatoloških podloga za ocenu prosečnih protoka u uslovima buduće klime u slivu Južne Morave. *Nauka+Praksa – broj 25/2022*. Niš, 2022.
- [12] Nikola Đokić, Borislava Blagojević, Slaviša Trajković: Ocena prosečnih godišnjih protoka u budućim klimatskim uslovima-studija slučaja u slivu Južne Morave. *Zbornik radova Građevinsko-arhitektonskog fakulteta - broj 37/2022*. Niš, 2022.
- [13] Nikola Đokić, Borislava Blagojević: Bias correction of climate data by the quantile mapping for two river catchments in the Južna Morava river basin. *The international conference Synergy of Architecture and Civil Engineering 2023 - Volume 1*, Niš, September 2023.
- [14] Alex J. Cannon, Stephen R. Sobie and Trevor Q. Murdock: Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: How well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of climate* Volume 28, Sep 2015.
- [15] R. H. White, R. Toumi: The limitations of bias correcting regional climate model inputs. *Geophysical Research Letters* Volume 40, Issue 12 p. 2907-2912.
- [16] Holland, G., J. Done, C. Bruyere, C. Cooper, and A. Suzuki (2010), Model investigations of the effects of climate variability and change on future Gulf of Mexico tropical cyclone activity, in *Proceedings From OTC Metocean 2010*, 20690, OTC.
- [17] Hawkins, E., Osborne, T. M., Ho, C. K. & Challinor, A. J. Calibration and bias correction of climate projections for crop modelling: an idealised case study over Europe. *Agric. For. Meteorol.* 170, 19–31 (2013).
- [18] Quintana Seguí, P., Ribes, A., Martin, E., Habets, F. & Boé, J. Comparison of three downscaling methods in simulating the impact of climate change on the hydrology of Mediterranean basins. *J. Hydrol.* 383, 111–124 (2010).
- [19] Zhang, X. C. Spatial downscaling of global climate model output for site-specific assessment of crop production and soil erosion. *Agricultural and Forest Meteorology* 135, 215–229 (2005).
- [20] Jones, P. G. & Thornton, P. Generating downscaled weather data from a suite of climate models for agricultural modelling applications. *Agric. Syst.* 114, 1–5 (2013).
- [21] Tabor, K. & Williams, J. W. Globally downscaled climate projections for assessing the conservation impacts of climate change. *Ecol. Appl.* 20, 554–565 (2010).
- [22] Jarvis, A., Lane, A. & Hijmans, R. J. The effect of climate change on crop wild relatives. *Agric. Ecosyst. Environ.* 126, 13–23 (2008).
- [23] Musau, J., Sang, J. & Gathenya, J. General Circulation Models (GCMs) Downscaling Techniques and Uncertainty Modeling for Climate Change Impact Assessment. *Proceedings of*

- Sustainable Research and Innovation Conference, [S.l.], p. 147–153, ISSN 2079-6226 (2014).
- [24] <https://www.ecad.eu/download/ensembles/download.php> (19.01.2023.)
- [25] Cornes, R., G. van der Schrier, E.J.M. van den Besselaar, and P.D. Jones. 2018: An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets, *J. Geophys. Res. Atmos.*, 123. doi:10.1029/2017JD028200
- [26] <https://rcmes.jpl.nasa.gov/content/statistical-downscaling> (25.02.2023.)
- [27] Maraun, Douglas: Bias Correcting Climate Change Simulations - a Critical Review. *Curr Clim Change Rep* 2, 211–220, 2016.
- [28] Buishand, T.A.: Some remarks on the use of daily rainfall models. *J. Hydrol.* 1978, 36, 295–308.
- [29] Geng, S.; Penning de Vries, F.W.T.; Supit, I. A simple method for generating daily rainfall data. *Agric. For. Meteorol.* 1986, 36, 363–376.
- [30] Schoof, J.T.; Pryor, S.C.; Surprenant, J. Development of daily precipitation projections for the United States based on probabilistic downscaling. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2010, 115.
- [31] Antonios Mamalakis, Andreas Langousis, Roberto Deidda, Marino Marrocu: A parametric approach for simultaneous bias correction and high-resolution downscaling of climate model rainfall. *Water Resources Research*, 2017.
- [32] Ehret, U., Zehe, E., Wulfmeyer, V., Warrach-Sagi, K. & Liebert, J. Should we apply bias correction to global and regional climate model data? *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.* 9, 5355–5387 (2012).
- [33] Carlos Navarro-Racines, Jaime Tarapues, Philip Thornton, Andy Jarvis & Julian Ramirez-Villegas: High-resolution and bias-corrected CMIP5 projections for climate change impact assessments. *Scientific Data* volume 7, Article number: 7 (2020).
- [34] Mendez, M.; Calvo-Valverde, L.A. Comparison of global and local optimization methods for the calibration and sensitivity analysis of a conceptual hydrological model. *Tecnol. Marcha* 2019, 32, 24–36.
- [35] Tegegne, G.; Park, D.K.; Kim, Y.O. Comparison of hydrological models for the assessment of water resources in a data-scarce region, the Upper Blue Nile River Basin. *J. Hydrol.* 2017, 14, 49–66.
- [36] Reiter, P.; Gutjahr, O.; Schefczyk, L.; Heinemann GCasper, M. Does applying quantile mapping to subsamples improve the bias correction of daily precipitation? *Int. J. Climatol.* 2018, 38, 1623–1633.
- [37] Mendez, M.; Maathuis, B.; Hein-Griggs, D.; Alvarado-Gamboa, L.-F. Performance Evaluation of Bias Correction Methods for Climate Change Monthly Precipitation Projections over Costa Rica. *Water* 2020, 12, 482. <https://doi.org/10.3390/w12020482>
- [38] Eum, H.-I.; Simonovic, S.P.; Kim, Y.-O. Climate Change Impact Assessment Using K-Nearest Neighbor Weather Generator: Case Study of the Nakdong River Basin in Korea. *J. Hydrol. Eng.* 2010, 15, 772–785.
- [39] Seo, S.B.; Kim, Y.-O. Impact of Spatial Aggregation Level of Climate Indicators on a National-Level Selection for Representative Climate Change Scenarios. *Sustainability* 2018, 10, 2409.

**COMPARISON OF GLOBAL CLIMATE MODEL BIAS CORRECTION METHODS – A CASE STUDY FOR TWO SUB-BASINS IN THE JUŽNA MORAVA RIVER BASIN**

by

Nikola ĐOKIĆ, Borislava BLAGOJEVIĆ  
University of Niš – Faculty of Civil Engineering and Architecture

Vladislava MIHAILOVIĆ  
University of Belgrade – Faculty of Forestry

**Summary**

Global climate models have a coarse spatial or temporal data resolution, not suitable for studies at the regional and/or local level. Bias correction of global climate model output is a standard procedure for obtaining data usable in regional and local climate change impact studies. In the paper, the suitability of four different bias correction methods is examined for harmonizing the raw output data of the EC-Earth global climate model, with data from the E-OBS database, where the observed climate parameters are given in a higher spatial resolution. The considered bias correction methods are statistical methods from the group of equal quantile methods. Calibration and verification of statistical models of applied methods was performed for different periods in the range from 1950 to 2010, for mean daily air temperatures and monthly precipitation sums in the

area of the Kosanica river basin at the hydrologic station Visoka and the Jablanica river at the hydrologic station Sijarinska Banja. The comparison of the applied methods results in the verification period was performed using three standard measures: mean square error, mean absolute error and root mean square error. The examination results indicated that the applied methods for precipitation and temperature give different results, with slightly worse results obtained in the zone of higher values of the monthly precipitation sums. This is important to keep in mind in hydrological analyzes in the future climate conditions.

**Key words:** climate models, bias correction, statistical methods, mean daily air temperature, monthly precipitation sum