

Унапређење наводњавања као одговор на климатске промјене

Наташа Черековић, Сретенка Срдић, Младен Тодоровић

Сажетак: Као посљедица глобалне промјене климе, у Босни и Херцеговини се све чешће јављају сушни периоди. Недостатак падавина праћен релативно високим температурама и повећаном евапотранспирацијом узрокује недостатак воде у земљишту, што доводи до смањених залиха воде у активној зони ризосфере, а то се негативно одражава на раст и развиће пољопривредних култура, као и на сам принос и економију.

За успјешно рјешавање проблема суше који је све евидентнији на подручју Босне и Херцеговине, неопходно је одредити мјеродавне вриједности референтне евапотранспирације (ET_0) које ће служити као основа за рачунање потреба биљака за водом. Прорачуни ET_0 у Босни и Херцеговини, узимајући у обзир климатске промјене, помажу приликом прецизног управљања водним ресурсима у пољопривреди. Из тог разлога, важно је успоставити систем редовног праћења ET_0 и интегрисати га у стратегије наводњавања, како би се одржао стабилан принос, а уједно и одрживо и рационално коришћење воде.

Цитирање: Черековић Н, Срдић С, Тодоровић М (2025) Унапређење наводњавања као одговор на климатске промјене. У: Илић П, Пржуљ Н (уредници) Заштита животне средине и ремедијација. Академија наука и умјетности Републике Српске, Бања Лука, Монографија LXIII: 251–284

Cite as: Čereković N, Srdić S, Todorović M (2025) Improving Irrigation in Response to Climate Change. In: Ilić P, Pržulj N (eds) Environmental Protection and Remediation. Academy of Sciences and Arts of the Republic of Srpska, Banja Luka, Monograph LXIII: 251–284

Примјена иновативних рјешења и одрживих приступа у пољопривреди одговор је на климатске изазове, пружајући могућност за дугорочну стабилност и унапређење пољопривредне производње. Интензивирање напора у адаптацији пољопривреде на климатске изазове подразумева улагање у савремене системе наводњавања, примјену напредних технологија заснованих на машинском учењу, као и коришћење података добијених сензорима, сателитима и дроновима.

Кључне ријечи: наводњавање, евапотранспирација, биљни коефицијент, пољопривреда, принос, напредне технологије, Босна и Херцеговина

8.1. Утицај климатских промјена на пољопривреду

Непредвидљивост климе, глобално загријавање и све чешћи екстремни временски услови, а нарочито суше, постали су ограничавајући фактор одрживе пољопривредне производње, како у Босни и Херцеговини (Marković et al. 2012; Stricevic et al. 2018; Srdić et al. 2023; Čereković et al. 2024; Playán et al. 2024), тако у региону (Čereković et al. 2010a, 2010b; Čereković et al. 2011; Knežević et al. 2018) и свијету (Čereković et al. 2013, 2014, 2015; IPCC 2023; Agho et al. 2024). Све чешћи сушни периоди током вегетационог периода стварају притисак на пољопривредну производњу. Овакви неповољни услови отежавају рад пољопривредницима, смањују приносе и угрожавају економску стабилност руралних подручја, а самим тим и већих градова.

Испаравање воде са површине биљака и земљишта у потпуности зависи од атмосферских услова, при чему су метеоролошки фактори од примарног значаја (Srdić et al. 2023). Истовремено, снабдијевање водом и испаравање под контролом су земљишних карактеристика и потреба биљака за водом (Čereković et al. 2013, 2014, 2024). Током вегетационог циклуса, биљке се непрекидно суочавају са различитим неповољним условима, као што су екстремне температуре и суша, који узрокују значајне промјене. Суша, као један од најзначајнијих стресова за биљке, дјелује на више нивоа (Čereković et al. 2013, 2014, 2015; Fatnassi et al. 2018; Pacheco-Labrador et al. 2024; Agho et al. 2024). Представља стање водног дефицита у биљкама током одређеног временског периода, које углавном зависи од климатских услова, водног капацитета земљишта, и присуства наводњавања.

Ефекти стреса изазваног сушом на биљке директно се испољавају кроз инхибицију фотосинтезе, што доводи до смањене доступности воде и успоравања раста. Када се суоче са недостатком воде, више процеса сигнализира

физиолошке промјене. Биљке првенствено реагују затварањем стома, и иако је овај механизам одбране неопходан за очување воде, он истовремено ограничава улазак угљен-диоксида, што доводи до смањења процеса фотосинтезе. Као резултат тога, производња угљених-хидрата и енергије се смањује, успоравајући раст и развој биљке, што доводи до смањења површине лишћа, водног и осмотског потенцијала и губљења тургора на нивоу који доводи до нарушавања нормалних функција биљке (Čereković et al. 2013, 2014, 2015; Fatnassi et al. 2018; Pacheco-Labrador et al. 2024; Agho et al. 2024).

Како се суша продужава, биљке почињу да показују видљиве знаке стреса, прво се лишће суши и увија, показујући на овај начин механизам одбране од суше. Даљим губљењем воде, површина лишћа може да се значајно смањи, а ово успоравање раста дешава се и са осталим дијеловима биљке, укључујући и стабло, коријен и плод (Čereković et al. 2013, 2014, 2019; Fatnassi et al. 2018). У таквим условима, биљна ткива могу претрпјети неповратна оштећења, што додатно умањује способност апсорпције воде и хранљивих материја из земљишта.

Посљедице сушних периода у Босни и Херцеговини значајно се одражавају на привреду, чинећи нужним улагање у одрживе системе управљања водним ресурсима. Недостатак воде током љетњих мјесеци додатно компликује раст и развиће биљака, посебно у земљама као што је Босна и Херцеговина, гдје системи за наводњавање још увијек нису довољно развијени и као такви не покривају значајну пољопривредну површину. Пројекције климатских промјена и евалуација климе у Босни и Херцеговини и региону сугеришу да ће се негативан тренд наставити и у будућности са различитим интензитетом, у зависности од климатског сценарија (Stricevic et al. 2018).

Досадашња искуства пољопривредних произвођача и научника у Босни и Херцеговини указују на значајне изазове узроковане климатским промјенама, које се манифестују кроз велике губитке у производњи хране, како за људску, тако и за исхрану стоке. Повећане температуре и учестале суше, посебно су изражене током љетњих мјесеци, када се одвија вегетациони период већине култура (Srđić et al. 2023; Čereković et al. 2024). Суше се најчешће јављају у јуну, јулу и августу, када се ратарске културе, као што су кукуруз, соја и сунцокрет, налазе у својим најосјетљивијим фазама генеративног развоја, када комбинација недостатка воде и екстремних климатских услова највише утиче на принос (Čereković et al. 2024).

Ови изазови настављају да представљају један од највећих проблема за одрживу пољопривреду у Босни и Херцеговини (Marković et al. 2012; Stricevic et al. 2018; Srđić et al. 2023; Čereković et al. 2024). Недовољне количине воде за наводњавање и ограничене резерве влаге у дубљим слојевима земљишта,

отежавају опстанак култура током сушних периода (Srđić et al. 2023; Čereković et al. 2024; Playán et al. 2024). Истраживања из 2021. и 2022. године на кукурузу, показала су да су смањене залихе воде у земљишту, у комбинацији са високим температурама, довеле до губитка приноса кукуруза чак и до 50% (Čereković et al. 2024). Резултати ових истраживања указују на потребу за унапређењем система за наводњавање и одрживим управљањем водним ресурсима, како би се ублажиле посљедице климатских промјена и осигурала стабилна пољопривредна производња. Код кукуруза, без наводњавања (Сл. 8.1), уочено је неравномјерно сазријевање, скраћивање вегетационог периода, слаба развијеност висине стабла, суве и ломљиве стабљике, као и смањена величина плода. Ове промјене значајно утичу на укупан квалитет и количину приноса, додатно наглашавајући потребу за адаптивним пољопривредним мјерама.



Сл. 8.1. Утицај суше на кукуруз. Универзитет у Бањој Луци, Босна и Херцеговина. Фотографије: Черковић Н

Fig. 8.1. Impact of drought stress on maize. University of Banja Luka, Bosnia and Herzegovina. Photos: Čereković N

Оптимизација времена сјетве и ротација усјева постају адаптивне мјере борбе против негативних утицаја. На основу истраживања на кромпиру, препоруке за помјерање производње са нижих ка средњим и вишим надморским висинама у Црној Гори (Кнежевић et al. 2018) показују значај оваквог приступа за очување стабилности приноса и квалитета у условима све топлијих љета. Овакве мјере могу послужити као модел и за друге културе, укључујући и оне које се гаје у

Босни и Херцеговини, чиме се подржава дугорочна одрживост пољопривреде у све изазовнијем климатском контексту.

Суша, у комбинацији са повећаним температурама, негативно утиче на принос и воћних култура током цијеле године, а посебно у фази цвјетања (Сл. 8.2) и индукције цвјетања (Čereković et al. 2013, 2014, 2015). Код вишегодишњих воћних култура, фаза индукције цвјетања се често дешава прије, послје или паралелно са бербом, што додатно наглашава потребу за оптималним условима наводњавања у току цијеле вегетације. Фаза индукције цвјетова је од пресудног значаја за формирање приноса у наредној години, као што су показала истраживања спроведена у Данској на црној рибизли. Биљке које тада нису добиле довољну количину воде, у наредној години су имале значајно мањи број цвасти и цвјетова, па сходно томе и мањи принос (Čereković et al. 2014).



Сл. 8.2. Развој црне рибизла након стреса изазваног сушом у фази цвјетања (лијево) и без суше (десно). Архус универзитет, Данска. Фотографије: Черековић Н

Fig. 8.2. Development of blackcurrant after induced at the flowering stage drought stress (left) and without drought (right). Aarhus University, Denmark. Photos: Čereković N

Код вишегодишњих воћних култура, услови током зимског мировања играју значајну улогу у припреми биљака за наредну сезону. Повећане температуре у овом периоду представљају додатни изазов, посебно у контексту промјена сезонских климатских образаца. Подаци указују да се зимске температуре у Босни и Херцеговини повећавају брже него љетње (Srđić et al. 2023), али истраживања која су детаљније анализирали капацитет прилагођавања воћних култура на топлије зиме код нас су ограничена. Повишене зимске температуре могу прекинути период мировања или убрзати почетак вегетације, чиме биљке постају осјетљивије на касне прољећне мразове

(Agho et al. 2024). Такви услови могу угрозити фазе цвјетања и плодношења, што потенцијално доводи до смањених и нестабилних приноса.

Све чешћи сушни периоди и све израженија климатска варијабилност истичу неопходност истраживања и развоја нових воћарских култивара и сорти, које ће бити прилагођене изазовима савременог агроекосистема и показивати већу отпорност на екстремне услове (Čereković et al. 2013, 2014, 2015). Одржавање равнотеже између температуре и количине воде у земљишту током цијеле године, уз примјену савремених агротехничких мјера, представљају стратегију за ублажавање негативних ефеката климатских промјена и осигурање дугорочне продуктивности воћарских засада.

8.2. Значај наводњавања

Наводњавање представља контролисано снабдијевање земљишта водом ради обезбјеђивања оптималних услова за раст и развој биљака (Srđić et al. 2023; Čereković et al. 2024). Овај процес укључује примјену различитих метода, попут површинског, подземног или кишног наводњавања, са циљем надокнаде губитака воде услјед евапотранспирације и других фактора, као што су недостатак природних падавина или недовољне влаге у земљишту. Наводњавање има улогу у одржавању здравља биљака, посебно у периодима када недостатак влаге у земљишту може изазвати стрес и значајно утицати на принос (Čereković et al. 2013, 2014, 2015, 2024). У савременој пољопривреди, примјена прецизног наводњавања заснована је на научним подацима и технологијама као што су сензори влажности земљишта и метеоролошке станице (Srđić et al. 2023), што омогућава ефикасно управљање водним ресурсима. То осигурава оптималне услове за раст биљака, минимизира губитке воде, доприносећи одрживости производње.

Изазов за истраживаче данас представља развијање економски одрживих технологија лако прилагодљивих руралном друштву. Велики дио развијеног свијета спроводи истраживања на универзитетима, а резултирајућа технологија се преноси кроз различите механизме на произвођаче (Tollefeson, 1996; Abiri et al. 2023). Да би била ефикасна, пољопривредна истраживања морају бити усмјерена на стварне потребе произвођача, а резултати представљени на једноставан и приступачан начин. Употребом климатских параметара мјерених на метеоролошким станицама могуће је одредити мјеродавне вриједности ET_0 које служе као основа за израчунавање потреба биљака за водом. Системи за наводњавање користе сензоре за праћење влажности земљишта, метеоролошке станице и софтвере за моделирање потреба за водом који омогућавају прецизну и правовремену примјену наводњавања

(Čereković et al. 2024). Један од битних начина за рјешавање проблема суше подразумијева ширење мреже метеоролошких станица (Сл. 8.3) на пољопривредна подручја и постављање потребне опреме која ће регистровати релевантне параметре са сврхом утврђивања потреба за наводњавањем и примјену климатских модела (Srđić et al. 2023; Playán et al. 2024).



Сл. 8.3. Метеоролошка станица на Универзитету у Бањој Луци. Фотографије: Черекковић Н и Институт за генетичке ресурсе Универзитета у Бањој Луци

Fig 8.3. Meteorological station at the University of Banja Luka. Photos: Čereković N and the Institute for Genetic Resources of the University of Banja Luka

Дакле, веома битни фактори за развијање стратегије за оптимизацију употребе воде у пољопривредној производњи у Босни и Херцеговини и увођење ефикасног управљања водом су сакупљање, обрада и анализа метеоролошких података који представљају просјечне услове средине.

Ипак, њихова широка примјена је ограничена због трошкова инсталације метеоролошких станица, њиховог одржавања и неадекватног руковања нестручних лица. Осим тога, многи фармери су скептични према новим технологијама због недостатка подршке у виду субвенција или других економских стимуланса који би олакшали прелазак са традиционалних на иновативне системе (Playán et al. 2024). Овај изазов указује на потребу за интервенцијама на институционалном нивоу, укључујући развој политика које би омогућиле финансијску доступност модерних система и подршку за едукацију корисника (Playán et al. 2024).

Без адекватних економских подстицаја, усвајање савремених технологија и научно заснованих процедура за планирање наводњавања остаје ограничено

(Playán et al. 2024). Иако технолошки напредак омогућава примјену софистицираних система за праћење и управљање природним ресурсима у реалном времену, већина пољопривредника се и даље ослања на традиционалне методе. Ово је углавном посљедица недостатка финансијске подршке за набавку и имплементацију иновативних технологија, као и недовољног преноса знања о њиховој примјени.

Научно планирање и примјена технолошки напредних метода наводњавања нису само потребни за оптимизацију приноса, већ и за дугорочно очување и ефикасно коришћење водних ресурса. Подршка произвођачима требало би да буде приоритет како би се обезбиједила дугорочна продуктивност и економска стабилност сектора пољопривреде (Playán et al. 2024). У том смислу, нове технологије би се могле развијати и тестирати на пољопривредним газдинствима (Preite et al. 2023; Wei et al. 2024).

Планирање наводњавања обезбјеђује корисне информације за развој стратегија наводњавања прилагођених различитим типовима земљишта и климатским условима. Ове стратегије захтијевају или дугорочне податке, који представљају просјечне услове, или факторе током сезоне засноване на информацијама у реалном времену и краткорочним предвиђањима (Steduto et al. 2003; Jamal et al. 2023). Међутим, методологија успјешног планирања наводњавања мора бити једноставна за имплементацију и лако разумљива са становишта фармера и управљања пројектима.

Познавање евапотранспирације биљака (ET_c) представља главни параметар за дизајн и оптимизацију система за наводњавање. Прецизна процјена ET_c омогућава ефикасну регулацију количине и учесталости наводњавања, с циљем одржавања физиолошких функција биљака и прилагођавања динамици влаге у земљишту. Планирање наводњавања, које се често дефинише као одређивање времена наводњавања и количине воде коју је потребно дистрибуирати, основа је за ефикасно коришћење воде у пољопривреди. Упркос важности ове праксе, релативно мали дио произвођача користи научни приступ наводњавању (Playán et al. 2024). Конкуренција за воду веома брзо расте кроз урбану експанзију, индустријске и рекреативне употребе. Сходно томе, потребно је побољшати ефикасност система за наводњавање и уштедети воду за друге секторе. То значи уштеду новца и енергије, као и смањење негативних утицаја на животну средину.

Добро осмишљени распоред наводњавања осигурава да биљке добијају потребну количину воде у право вријеме, чиме се минимизирају губици. Наводњавање је, стога, не само средство за ублажавање утицаја суше, већ и стратешки алат за унапређење одрживе производње хране и очување природних ресурса.

8.3. Водни биланс земљишта и евапотранспирација

Сврха наводњавања је прије свега надокнада губитака воде из земљишта како би се спријечио настанак водног стреса код биљака, који директно утиче на смањење приноса. С обзиром на то да се губици воде углавном дешавају кроз процес евапотранспирације, она представља процес кретања воде кроз биљке и земљиште, која представља суму испаравања воде са површине земљишта (евапорација) и испаравање воде са биљака (транспирација). Ова два процеса је тешко посматрати одвојено (Todorović 2019; Srdić et al. 2023), тако да их најчешће посматрамо заједно, гдје евапорација представља испаравање воде са свих слободних површина, укључујући слободне водене површине (океани, језера, потоци), земљиште и вјештачке површине, а транспирација укључује испаравање воде са биљних листова које се одвија дифузно, преко стоминог апарата, у атмосферу.

Подаци о ET_c омогућавају пољопривредницима да оптимизују количину воде која се додаје, избјегавајући и претјерано наводњавање, што може довести до испирања хранљивих материја, и недовољно наводњавање, које узрокује стрес биљака. Одређивање потреба за наводњавањем зависи од неколико фактора, укључујући врсту биљке, фазу развоја, тип земљишта, климатске услове и начин наводњавања (Allen et al. 1998). На примјер, биљке са дубљим коријеновим системом могу имати већу толеранцију на недостатак воде у поређењу са оним са плитким коријенима. Са друге стране, тип земљишта значајно утиче на капацитет задржавања воде и потребу за фреквентнијим наводњавањем (Allen et al. 1998).

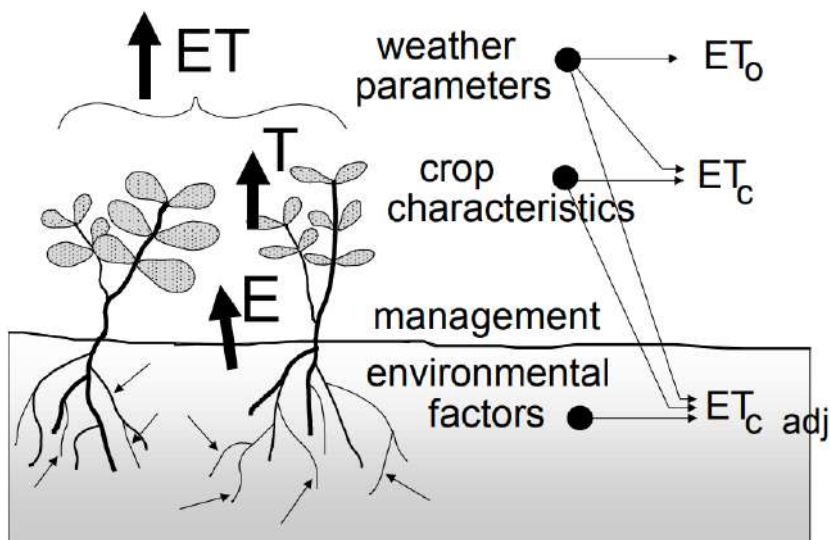
Евапотранспирација представља важну компоненту низа дисциплина, укључујући климатске и хидролошке моделе, истраживања био-гео-хемијског циклуса елемената и моделирање раста вегетације. За пољопривреду, тачно одређивање ET_c омогућава оптимизацију система наводњавања путем прецизног утврђивања количине воде и учесталости наводњавања, у складу са специфичним захтјевима појединих култура (Srdić et al. 2023; Čereković et al. 2024).

Увођење већ наведених технологија, као што су сензори за праћење влажности земљишта и метеоролошке станице, у комбинацији са моделима за процјену евапотранспирације, пружа пољопривредницима алате за доношење одлука базираних на мјереним подацима. Овакав приступ омогућава ефикасније коришћење воде, хранљивих материја и енергије, те доприноси повећању приноса и економичности производње.

Постоје многобројне дефиниције процеса евапотранспирације, али једна од најближих подразумева да је она компонента водног циклуса која може да

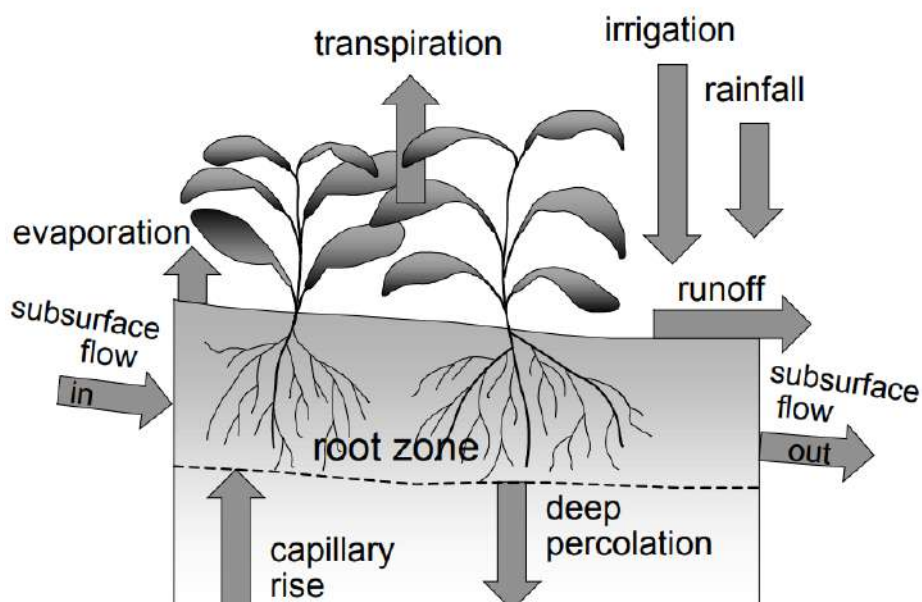
се одреди преко водног биланса, за дужи временски период, којим би се објаснио однос ET_c и годишње суме падавина (Allen et al. 1998). Како је већ наведено, на процес ET_c утичу (Сл. 8.4) климатски параметри, особине гајених биљака, начин гајења биљака и особине земљишта (Allen et al. 1998).

Евапотранспирације се може одредити мјерењем параметара водног биланса земљишта (Сл. 8.5). Ова метода укључује процјену улазних и излазних токова воде у зони коријена биљака током одређеног временског периода. Наводњавање (*irrigation*) и падавине (*rainfall*) додају воду у коријенску зону. Дијелови те воде могу бити изгубљени као површинско отицање (*runoff*) или дубока перколација (*deep percolation*), која на крају допуњује подземне воде (Allen et al. 1998). Вода може бити транспортована и нагоре кроз капиларни успон (*capillary rise*) из плитке подземне воде према зони коријена, или чак хоризонтално кроз подземно отицање према (*subsurfaceflow in*) или изван (*subsurfaceflow out*) зоне коријена. Ипак, у већини ситуација, посебно на равним теренима, дотицај (*subsurfaceflow in*) и отицај (*subsurfaceflow out*) су минимални и могу се занемарити. Евапорација (*evaporation*) са површине земљишта и транспирација (*transpiration*) из биљака смањују количину воде у коријенској зони, што представља главне изворе губитака воде.



Сл. 8.4. Фактори који утичу на процес евапотранспирације (Allen et al. 1998)

Fig. 8.4. Factors influencing the evapotranspiration process (Allen et al. 1998)



Сл. 8.5. Фактори који утичу на водни биланс земљишта (Allen et al. 1998)

Fig. 8.5. Factors influencing soil water balance (Allen et al. 1998)

Овакав приступ омогућава детаљну анализу водног биланса земљишта, што је од суштинске важности за прецизно управљање водним ресурсима и наводњавањем, посебно у условима ограничених водних залиха или учесталих суша.

Примјена евапотранспирације у управљању наводњавањем има бројне предности. Она омогућава прецизно одређивање интервала и норме наводњавања, што не само да побољшава продуктивност биљака, већ и смањује губитке воде и енергије. Коришћење референтне евапотранспирације (ET_0) и коефицијента културе (K_c) за одређивање распореда наводњавања је уобичајена метода која омогућава прецизно управљање водним ресурсима, пошто узима у обзир специфичне потребе култура за водом, као и климатске услове који се јављају у различитим фазама раста. Коефицијент културе је важан алат, јер представља однос између ET_c и ET_0 , објашњавајући како биљке различитих врста и под различитим климатским условима троше воду током свог раста.

Стопа губитка воде се процјењује коришћењем K_c , укључујући начин управљања наводњавањем, као и варијације у развоју биљака у односу на различите географске или климатске области (Todorović 2019; Čereković et al.

2010a, 2010b, 2011, 2024). Коришћење K_c вриједности у одређивању одговарајуће количине воде коју треба примијенити у тачно вријеме, зависно од периода вегетације, ефикасно је за правилно управљање наводњавањем (Čereković et al. 2010a, 2010b, 2011). С обзиром на то да је ET_o мјера утврђивања количине испарене воде под утицајем климатских фактора, K_c узима у обзир карактеристике биљака, праксе гајења биљака (Allen et al. 1998; Čereković et al. 2010a, 2010b, 2011).

У техничком документу *FAO Irrigation and Drainage Paper 24, Crop water requirements* (Doorenbos and Pruitt 1977), а ревидираном у *FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements* (Allen et al. 1998), представљене су стандардне вриједности K_c за разне културе. Међутим, новија истраживања показују да се ове вриједности морају додатно ревидирати. Промјене у сортама и култиварима биљака, техникама обраде и управљања земљишта и наводњавања, као и утицај глобалних климатских промјена, значајно су утицали на промјене потребе за водом култура и вриједности K_c . Повећане температуре, промјене у падавинама и други климатски фактори могу довести до значајних промјена у потребама за водом биљака, а различити култивари могу имати различите физиолошке особине које утичу на потрошњу воде и отпорност на сушу (Čereković et al. 2013, 2014). Напредак у управљању у пољопривредној производњи, укључујући промјене у техникама наводњавања, начина гајења (малч и без малча) и управљања земљиштем, могу довести до различитих потреба за водом (Čereković et al. 2010a, 2011, 2024). Повећана температура ваздуха и промјене у обрасцима падавина утичу на евапотранспирацију, те на потребе култура за водом. Ове промјене показују да је потребно континуирано ажурирати K_c како би се одржала прецизност у одређивању потреба пољопривредних култура за водом и планирању наводњавања.

Из наведених разлога, истиче се значај ревизије K_c због значајних промјена које су се десиле од првобитног објављивања K_c у *FAO* техничком документу бр. 24 (Doorenbos and Pruitt 1977) и ревидираних вриједности K_c представљених у *FAO* техничком документу бр. 56 (Allen et al. 1998). *FAO 56* је веома вриједан документ, садржи ажуриране коефицијенте који су у складу са агрономским праксама, климатским условима и сортама које се користе у производњи, чиме омогућавају тачније израчунавање потреба култура за водом. Ипак, додатне ревизије ових докумената су урађене, и од значаја су за прецизно планирање наводњавања и управљање водним ресурсима, јер се K_c користи за подешавање референтне евапотранспирације на специфичне услове и типове култура, култивара, као и савремене услове гајења (Todorović 2019).

8.4. Значај референтне евапотранспирације у планирању наводњавања

Поуздана процјена ET_o је од суштинског значаја за оптимизацију коришћења воде у системима за наводњавање, што је битан аспект одрживе пољопривреде (Allen et al. 1998; Srdić et al. 2023). Унапређење ефикасности коришћења водних ресурса у пољопривредној производњи мора бити засновано на тачним и научно верификованим подацима о ET_o . Као што је већ истакнуто, ET_o игра основну улогу у управљању влагом у пољима, директно утичући на продуктивност вегетације, јер је количина ET_o тијесно повезана са растом биљака и приносима (Allen et al. 1998). Поред тога, значајан је фактор у одређивању водоносности сливова, јер регулише количину воде која је доступна у земљишту и подземним водама. Такође, утиче на губитке хранљивих материја и нагомилавање соли у земљишту, што може имати дугорочне посљедице на плодност земљишта. Утиче и на стварање облака, чиме игра улогу у локалним и регионалним климатским условима.

Концепт ET_o се односи на површине испаравања и друге факторе који могу утицати на ET_c (Jensen et al. 1970). Организација за храну и пољопривреду Уједињених нација (FAO) дефинисала је ET_o као „евапотранспирацију са зеленог травног покривача висине од 8 до 15 cm, равномјерног раста, редовно наводњаваног и одржаваног тако да потпуно прекрива земљиште“ (Doorenbos and Pruitt 1977), гдје би референтна култура била идеална култура и представљала би једну специфичну врсту површине. Дефиниција омогућава примјену ET_o као једног од најважнијих климатских и хидролошких индикатора, посебно значајног у планирању и управљању наводњавањем. Овај концепт би успоставио униформан климатски индекс за ET_o , омогућавајући прецизније анализирање атмосферске моћи испаравања без утицаја фактора као што су врста биљке, њен стадијум развоја или технологија гајења (Novák, 2012; Xiang et al. 2020; Dai et al. 2022; Kandra et al. 2023).

Истраживања (Jensen et al. 1990; Allen et al. 1998) су показала да примјена концепта референтне површине омогућава процјену атмосферских евапоративних захтјева искључиво на основу метеоролошких података. Овај стандардизовани приступ служи као основа за израчунавање ET_o , која је основа за даље одређивање специфичних потреба за водом код различитих култура. Стандардизација ET_o је од изузетне важности, јер се кроз примјену корекционих K_c фактора омогућава прилагођавање ET_o вриједности стварним условима раста. Коефицијент културе узима у обзир фазу раста, тип културе и

локалне агроклиматске услове, што чини овај приступ прилагођеним и поузданим.

Двије научне групе су развиле два различита приступа за израчунавање ET_o , чиме је омогућена прилагодљивост прорачуна различитим климатским условима и пољопривредним системима:

1. *FAO* методологија, развијена од стране *FAO* експертске групе је објављена у публикацији *FAO 56* (Allen et al. 1998). Представља основу за прорачун потреба биљака за водом и примјењује се на глобалном нивоу, користећи *FAO-56 Penman–Monteith (FAO PM)* једначину као референтни модел за израчунавање ET_o , те представља атмосферску способност за испаравање на одређеној локацији и у одређено вријеме са референтне површине, без узимања у обзир карактеристике гајене културе и земљишних фактора.
2. *ASCE-EWRI* методологија, развијена од стране Америчког удружења грађевинских инжењера (*ASCE*) и Института за водне ресурсе и животну средину (*EWRI*) резултат је рада радне групе за стандардизацију референтне евапотранспирације. Њихов извјештај (Allen et al. 2005) поставио је основу за усвајање концепта „стандардне референтне евапотранспирације“, чиме је побољшана конзистентност и тачност у прорачуну.

Обје методологије наглашавају климатске факторе као битне компоненте за прорачун ET_o , независно од специфичних карактеристика земљишта или биљака. То омогућава примјену ових процедура у различитим условима, што их чини корисним за широку употребу у хидролошким, еколошким и пољопривредним истраживањима.

Експертска група *FAO* је стандардизовала концепт ET_o , дефинишући референтну површину као хипотетички усјев са специфичним карактеристикама који омогућава универзалну примјену и тачност у прорачуну у различитим климатским условима. Ова стандардизована површина представља основу за израчунавање ET_o независно од типа усјева или локалних услова. Карактеристике референтног усјева су висина усјева од 0,12 m, што представља типичну висину покошене траве, просјечног површинског отпора од 70 cm^{-1} , што означава отпор транспирацији са површине листова и албеда од 0,23, што значи да 23% долазног сунчевог зрачења буде одбијено од површине. Референтна површина описује покошену траву равномјерно распоређену у потпуно здравом стању. Универзалност овог приступа омогућава примјену ET_o модела у различитим климатским условима, чинећи га поузданим алатом за управљање водним ресурсима и планирање наводњавања. За разлику од првобитне дефиниције, гдје се претпостављало да је снабдјевеност водом

референтне површине увијек оптимална, редефинисањем овог концепта уведено је стање средње просушености, што омогућава реалније представљање услова доступности воде у природним и пољопривредним системима (Allen et al. 1998). Ова референтна површина се користи као основа за прорачуне ET_o у већини региона широм свијета.

ASCE-EWRI Task Committee је увела концепт двије различите референтне површине, које се разликују по висини и врсти вегетације, како би се омогућила већа прецизност у одређивању ET_o у различитим агрономским и климатским условима (Doorenbos and Pruitt 1977; Jensen et al. 1990; Allen et al. 1998). Прва референтна површина, која представља ниске усјеве висине око 0,12 m, глобално је најчешће прихваћен стандард за одређивање ET_o у већини региона широм свијета. Због своје универзалности и једноставности одражава идеалну вегетацију која је ниска, равномјерна и добро одржавана, што га чини погодним за примјену у различитим климатским и агрономским условима. Супротно томе, референтна површина високих усјева, са просјечном висином од око 0,50 m, представља луцерку са пуним покривачем вегетације. Овај модел је специфичан за регионе гдје луцерка доминира као референтни усјев, попут сјеверозападних дијелова Сједињених Америчких Држава (Allen et al. 2005). Ипак, однос евапотранспирације луцерке и траве је процијењене вриједности од 1,37, па је из тог разлога тачност ET_o прорачуна повезана са референтном површином, као и врстама пољопривредних култура.

Флексибилност у избору референтне површине омогућава прилагођавање методологије специфичним потребама у управљању водним ресурсима и планирању наводњавања. Ово прилагођавање осигурава тачност и поузданост прорачуна ET_o у различитим климатским и агрономским контекстима, доприносећи одрживом коришћењу воде и побољшању пољопривредне продуктивности.

Увођење референтне површине представља значајан напредак у анализи евапоративних захтјева атмосфере, јер омогућава израчунавање ET_o на основу метеоролошких података, без потребе за специфичним информацијама о културама. Поређењем испитиване површине са стандардизованом референтном површином, као што је покошена трава, поједностављена је процедура израчунавања ET_o . Ова метода је корисна, јер омогућава универзалну примјену без обзира на тип културе или специфичне локалне услове (Allen et al. 1998).

8.5. Значај емпиријских метода за прорачун референтне евапотранспирације у Босни и Херцеговини

Планирање наводњавања представља суштински аспект савремене пољопривреде, при чему један од највећих изазова лежи у развоју методологија које су прецизно прилагођене специфичним захтјевима различитих пољопривредних култура и локалним климатским условима. Успјешно управљање наводњавањем захтијева интеграцију агрономских, хидролошких и метеоролошких података, како би се осигурала ефикасна примјена воде у пољопривреди. Избор методе за израчунавање ET_o зависи од доступних података, као и сложености и тачности који се желе постићи.

Процјена ET_o обухвата различите технике мјерења (директне и индиректне), као и технике моделирања, које симулирају ET_o као биофизички процес или га израчунавају коришћењем емпиријских метода (Todorović, 2019). Директне методе укључују коришћење различитих инструмената и уређаја за мјерење ET_o на терену који непосредно мјере количину воде која се испарава и транспирише. Међутим, директне методе су често скупе и потребно је узети у обзир високу осјетљивост на локалне микроклиматске услове, што може представљати изазов у примјени. Индиректне методе укључују коришћење метеоролошких података (температура, влажност, вјетар, зрачење) и математичких модела. У оба случаја, важно је размотрити погодност метода за специфичне услове.

У стандардним условима, гдје су ресурси као што су вода и земљиште оптимално обезбијеђени, процјене ET_o могу бити прецизније, а стандардне методе за одређивање ET_o и K_c се примјењују без већих прилагођавања. Насупрот томе, у нестандартним условима, као што су они карактеристични за медитерански регион са ограниченим водним ресурсима, процјена ET_o постаје знатно сложенија. У овим условима, потребно је узети у обзир факторе као што су водни стрес, промјене у расту биљака и варијабилност климатских услова.

У сјеверним и централним дијеловима Босне и Херцеговине, дуготрајне љетне суше су уобичајене, док су у подручјима на вишим надморским висинама рјеђе, али и даље могу да се јаве током љета (Marković et al. 2012; Srdić et al. 2023). С обзиром на нераван терен и ограничене водне ресурсе, препоручују се системи кап по кап и технике сакупљања кишнице. Очување природне вегетације и терасасто узгајање могу додатно смањити губитак воде и ерозију земљишта. На југу Босне и Херцеговине (Херцеговина), гдје доминирају суптропски климатски услови са високим температурама и оскудним падавинама, губици воде су највећи током љета, што захтијева

додатне хидромелиоративне мјере, као што је наводњавање. Јужна Херцеговина трпи најтеже суше, с високим температурама и ниским падавинама током љетних мјесеци. Ови услови су посебно изазовни за културе које захтијевају пуно воде, као што су винова лоза, маслине и поврће. Модерне технологије наводњавања, попут микрораспрскивача и паметних контролера за наводњавање, потребне су за ефикасну употребу воде. Осим тога, избор сорти отпорних на сушу и оптимизација времена садње могу повећати отпорност на недостатак воде.

У условима ограничене доступности директних мјерења, као што је случај са недостатком лизиметријских станица у Босни и Херцеговини, примјена биофизичких приступа, *FAO-PM* методе, и једноставних емпиријских метода постаје од суштинског значаја за прецизну процјену ET_o . Емпиријске методе се ослањају на статистичке односе између метеоролошких параметара, као што су температура, влажност, брзина вјетра и сунчево зрачење. Ове методе имају значајну предност, јер су релативно једноставне за примјену, гдје неке од њих захтијевају мањи број улазних података. Ипак, њихова прецизност може бити компромитована у регионима са климатским условима који се значајно разликују од оних у којима су методе првобитно развијене. Комбинација различитих метода може се показати као идеално рјешење, омогућавајући прилагођавање специфичним локалним условима.

Пенманова једначина (Penman 1948) основна је метода за процјену испаравања са отворене водене површине. Комбинује принципе енергетског биланса и преноса масе, што је чини једном од најробуснијих метода за процјену испаравања и ET_o . Уводећи факторе отпора који симулирају аеродинамички отпор и површински отпор при испаравању воде у атмосферу, омогућује се примјена исте за процјену ET_o са травнате референтне површине. Овај метод, познат као *Penman-Monteith (PM)* приступ, *FAO* је прихватио као стандардни за процјену референтне евапотранспирације, *FAO-PM* метод (Allen et al. 1998). Аеродинамички отпор представља отпор кретању водене паре од површине (траве, воде) до атмосфере, и зависи од брзине вјетра, турбуленције и висине раста вегетације. Површински отпор одражава способност саме површине (биљке) да регулише губитак воде кроз стоме и зависи од физиолошких карактеристика културе и услова околине.

FAO PM метода се показала као погодна за различите климатске услове, уз правилно уношење података, користећи параметре као што су соларна радијација, температура ваздуха, влажност ваздуха и брзина вјетра (Srđić et al. 2023; Dong et al. 2024; Raja et al. 2024; Xing et al. 2024). Међутим, ова метода захтијева широк спектар метеоролошких података који нису увијек доступни,

посебно у регионима у развоју гдје постоји недостатак инфраструктуре и опреме за прикупљање таквих података.

Због ових ограничења, у различитим регионима су развијене и тестиране једноставније методе за процјену ET_o , често засноване на мањем броју метеоролошких параметара, што их чини лакшим за примјену у областима гдје комплетни метеоролошки подаци нису доступни. С обзиром на то да су многе методе развијене у специфичним климатским условима, неопходно је да се оне калибришу за локалне услове прије употребе (Srđić et al. 2023). Међутим, овај процес може бити дуготрајан и скуп. У пракси, овај изазов се рјешава коришћењем стандарда као што је *FAO-PM* метода, која је погодна за различите климатске услове уз правилно уношење података.

Једноставне емпиријске методе могу служити као иницијални алат за процјену ET_o у одсуству комплексних података, док се *FAO-PM* метода може користити за валидирање или фино подешавање резултата када су додатни подаци доступни.

Током протеклих пет деценија развој емпиријских метода за процјену ET_o довео је до великог броја приступа који су прилагођени различитим климатским условима и доступности метеоролошких података. На примјер, Јенсен и сарадници (1990) провели су велику студију у којој су анализирали перформансе 20 различитих метода за процјену ET_o у различитим климатским условима. Из ове студије, пет најчешће коришћених метода било је примијењено да би се упоредили резултати и уочили односи међу различитим приступима. Ова истраживања су показала да, иако је *FAO-PM* метода најпрецизнија када су сви подаци доступни, једноставније методе могу бити корисне у условима ограничених података, премда су често мање прецизне у поређењу са сложенијим моделима.

Различите емпиријске методе развијене за процјену ET_o у различитим климатским условима често варирају у тачности и поузданости у зависности од коришћених метеоролошких параметара, регионалних климатских карактеристика и калибрације метода. Ове методе се заснивају на једном или више метеоролошких параметара, као што су температура ваздуха, соларна или нето радијација, влажност ваздуха, гдје су неке од метода јако прецизне и поуздане, док друге обезбјеђују само грубе процјене.

У раду (Srđić et al. 2023) извршена је евалуација девет емпиријских метода за прорачун ET_o за Босну и Херцеговину у различитим климатским зонама. Добијени резултати ET_o истичу значај управљања водним ресурсима у пољопривреди. У јужном дијелу земље, Херцеговини, који је према индексу

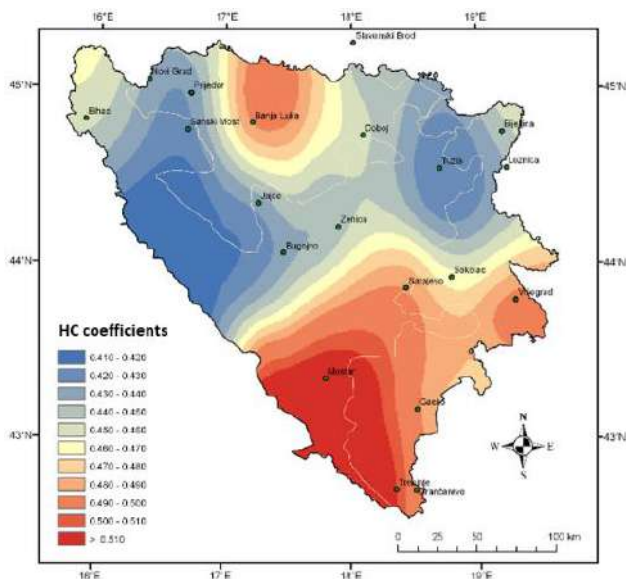
аридности класификован као полусушни (*semi-arid*) регион, просјечна вриједност ET_o током вегетационог периода износила је 4,6 mm дневно, што кумулативно чини око 849 mm воде током цијеле сезоне. Овако висока вриједност ET_o јасно указује на потребу за додатним мјерама управљања водом, укључујући наводњавање и примјену напредних агротехничких пракси, ради одржавања лако доступне воде у зони коријеновог система биљака. Без примјене ових мјера, продуктивност култура у полусушним регионима значајно је угрожена, што може довести до великих губитака приноса у периоду интензивне вегетације.

Према томе, у овом раду, процјена је извршена коришћењем података са 20 метеоролошких станица у Босни и Херцеговини, с обзиром на сезону наводњавања (април–октобар) за два периода (2000–2005. и 2018–2022). У првом периоду осматрања метеоролошке станице биле су категорисане у двије зоне, суви субхумид (*DSH*) и влажни субхумид (*MSH*), док је у другом периоду истраживања уочено да су неке станице прешле у нову климатску зону, семиаридну (*SA*). Све испитиване методе за процјену евапотранспирације су тестиране у односу на референтну *FAO-PM* методу, која се сматра стандардом за поређење у овој области. Поређене методе укључују: *Hargreaves-Samani (HS)* метода, модификована *HS (HM)* метода, калибрисана *HS (HC)* метода, *Priestley-Taylor (PT)* метода, *Copais (COP)* метода, *Makkink (MAK)* метода, *FAO-PM* метода заснована на температури ваздуха и укупне просјечне брзине вјетра, *FAO-PM* метода заснована на температури ваздуха и регионалној просјечној брзини вјетра ($FAO PM_{T2}$), и *FAO-PM (FAO PM_{T1.3})* метода заснована на температури ваздуха и брзини вјетра специфичној за локацију ($FAO PM_{lok1.4}$). Учинак и рангирање ET_o метода су анализиране примјеном *ТОПСИС* методе. Тренд ET_o током периода наводњавања (2018–2022) одређен је Ман–Кендаловим тестом.

Резултати истраживања су показали да на подручју Босне и Херцеговине најбоље слагање са *FAO-PM* методом има *HC* метода у све три климатске зоне према индексу аридности, те се стога и препоручује за употребу у случају недостатка климатских параметара за прорачун *FAO-PM* методом. Просјечна вриједност *RMSE* (коријена средње квадратне грешке) кретала се од 0,67, 0,49 и 0,50 mm дан⁻¹ за *SA*, *DSH* и *MSH*, респективно. Поред *HS* калибрисане методе (*HC*), добре перформансе у свим зонама је показала *PT* метода. За разлику од Републике Србије, гдје је *HS* модификована метода (*HM*), такозвана Трајковићева метода (Трајковић 2007), показала најбоље резултате, на подручју Босне и Херцеговине ова метода је показала лоше перформансе у поређењу са *FAO-PM* методом, те није препоручљива за употребу на територији Босне и Херцеговине.

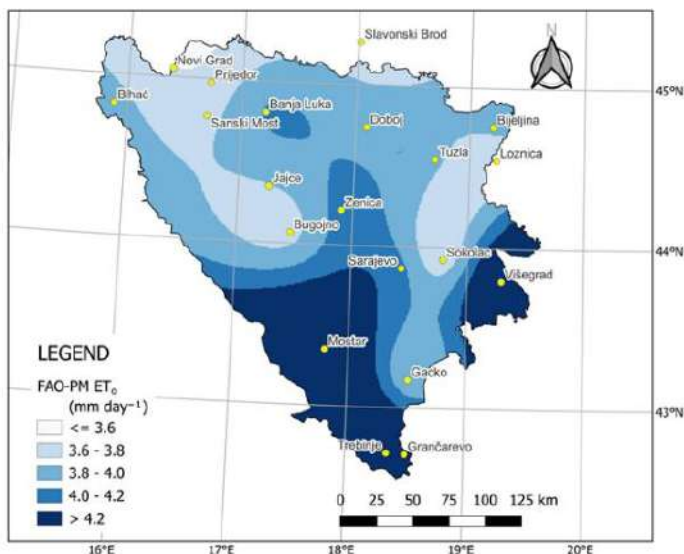
У погледу коришћених статистичких метода, *HC* метода је рангирана као најбоља у све три зоне (*SA*, *DSH* и *MSH*). Међутим, у *SA* зони, алтернативне метода као што је *PMT_{lok}* метода такође је показала добре резултате. У зони *DSH*, методе *PMT_{1.3}* и *PMT_{lok}* могу се сматрати алтернативама, док у *MSH* зони добре резултате је показала *PT* метода. С друге стране, у зони *DSH*, методе *MAK* и *COP* су добиле двије најниже рангиране позиције од девет тестираних метода. Слично, у зони *MSH* за други период, најниже рангирана метода је била *HS* метода, као и у првом периоду посматрања. У *SA* зони најслабије је рангирана *HM* метода. Као свеукупни резултат статистичке анализе за период 2018–2022, могло би се закључити да *HC* метода конзистентно добро функционише у различитим зонама, али су алтернативне методе показале потенцијал у одређеним зонама и станицама. Овакав резултат упућује на то да се на подручју Босне и Херцеговине, због недостатка метеоролошких података може користити *HC* метода. У истраживању (Srdić et al. 2023), *HC* метода је настала калибрацијом *HS* методе, те је у истом раду тестирана и названа *HC* метода. Калибрација је урађена из разлога што *HS* метода не узима експлицитно у обзир влажност и брзину вјетра, што доводи до потребе за калибрацијом. У овој методи, Харгреавесов експонент, који је постављен на 0,5, модификован је за све метеоролошке станице током сезоне наводњавања. Калибрација експонента 0,5 извршена је упоређивањем *HC* методе са *FAO-PM* методом, при чему је нови експонент прихваћен када је коефицијент регресије имао вриједност један. Ова итеративна процедура понављана је за сваку метеоролошку станицу и за сваку сезону наводњавања. Калибрисани коефицијент за *HC* методу за вегетациони период (2000–2005) приказан је на карти 8.1. За добијање просторног приказа калибрисаних коефицијената коришћена је просторна интерполација *Spline interpolation* и *Regulated Spline with Tension (RST)*, а програм коришћен за израду карте је *bio ArGIS 10.1*. Током оба посматрана периода, калибрисани експоненти у *HC* методи варирали су у различитим регионима Босне и Херцеговине. На калибрацију експонента углавном су утицале топографске карактеристике, временски подаци (као што су температура ваздуха и брзина вјетра) и близина већих водених површина. Западни и сјевероисточни дио Босне и Херцеговине имали су најниже калибрисане експоненте у распону од 0,410 до 0,460. С друге стране, сјеверни, источни и југоисточни дијелови имали су највеће вриједности у распону од 0,460 до 0,500. Већа вриједност калибрисаног експонента у зони *DSH* сугерише да је у том дијелу Босне и Херцеговине већа влажност и брзина вјетра у односу на зону *MSH*.

На карти 8.2 приказана је просторна варијација дневне вриједности *ET_o* израчуната *FAO-PM* методом за период 2018–2022.



Карта 8.1. Просторна варијација калибрисаних коефицијената HS методе за Босну и Херцеговину (Srdić et al. 2023)

Map 8.1. Spatial variation of *calibrated* coefficients of the HS method for Bosnia and Herzegovina (Srdić et al. 2023)



Карта 8.2. Просторна варијација дневне вриједности ET_0 израчуната $FAO-PM$ методом за период 2018–2022. (Srdić et al. 2023)

Map 8.2. Spatial variation of daily ET_0 value calculated using $FAO-PM$ method for the period 2018-2022 (Srdić et al. 2023)

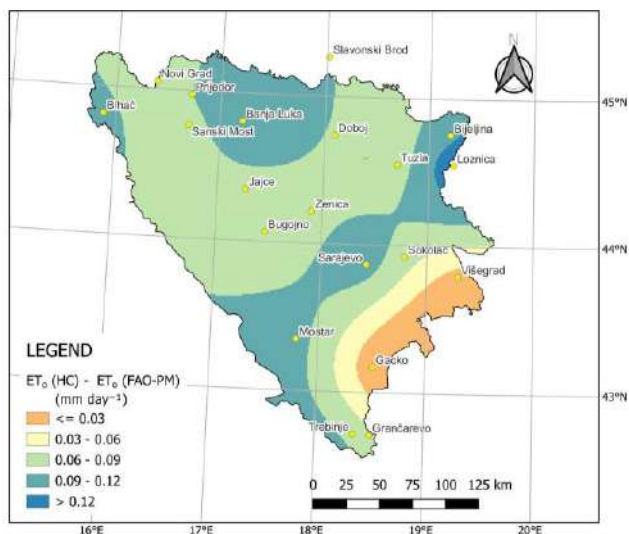
Највише вриједности ET_o примијећене су у јужним и југоисточним регионима земље, који се одликују сувом субхумидном и полусушном климом.

Супротно томе, најниже вриједности ET_o забиљежене су у сјевероисточном дијелу земље, укључујући подручја Новог Града и Приједора, гдје доминира влажна субхумидна клима.

На карти 8.3 приказана је разлика између $FAO-PM$ и HC као најбоље рангиране методе за период 2018–2022.

HC метода показала је највећи степен сагласности са $FAO-PM$ методом, што је посебно евидентно на метеоролошким станицама у југоисточном дијелу Босне и Херцеговине. Наиме, на станицама као што су Гацко и Вишеград, одступање HC методе од $FAO-PM$ методе било је значајно минимално, показујући вриједност мању од $0,03 \text{ mm dan}^{-1}$. Ове станице карактеришу преовлађујући полусушни климатски услови.

Најзначајнија разлика у поређењу са $FAO-PM$ методом примијећена је на станицама које карактеришу различите влажне субхумидне и суве субхумидне климатске карактеристике. На овим специфичним станицама, одступања су се кретала између $0,09$ до $0,12 \text{ mm dan}^{-1}$, наглашавајући релативно веће одступање у ET_o проценама.



Карта 8.3. Просторна дистрибуција разлике између HC и $FAO-PM$ методе за период 2018–2022. за Босну и Херцеговину (Srdić et al. 2023)

Map 8.3. Spatial distribution of the difference between HC and $FAO-PM$ methods for the period 2018-2022 for Bosnia and Herzegovina (Srdić et al. 2023)

Резултати овог истраживања показали су предност *НС* методе у односу на друге испитиване методе због њене калибрације за локалне услове. Међутим, није било могуће постићи јединствени коефицијент калибрације за *НС* методу који би се могао универзално примјењивати у цијелој Босни и Херцеговини или чак унутар специфичних климатских зона.

Ово ограничење може се приписати значајној орографској динамици и климатским варијацијама на цијелој територији Босне и Херцеговине. Како је већ наведено, упркос добрим резултатима приликом испитивања у Србији, *НМ* метода је показала лоше укупне перформансе у БиХ. Што се тиче одступања по зонама, *НМ* метода је показала већа одступања у *MSH* зони, а мања одступања у *DSH* зони у односу на *FAO-PM* метод (Srdic et al. 2023). Одступање у *MSH* зони је било 18%, док је у *DSH* износило 12%, а у *SA* то одступање је износило свега 3%. Такав резултат је посљедица климатских прилика гдје је та метода и креирана, те је више у складу са ариднијом климатском зоном Босне и Херцеговине, а што се у том случају односи на Херцеговину.

НС метода је показала значајно одступање, са већим вриједностима у *MSH* зони, али бољим перформансама у *DSH* зони. Ове вриједности се могу приписати тренду ET_o у априлу, јулу и августу (значајно опадајући у априлу и августу) добијеном помоћу *Mann–Kendall* теста. Међутим, кроз резултате истраживања је сугерисано да се *НС* метода може побољшати калибрацијом експонента који представља разлику између максималне и минималне температуре ваздуха, што је у овом истраживању и урађено, те је добијена *НС* метода.

У свим зонама *НС* метода је показала једно од највећих неслагања са *FAO-PM* методом и не може се препоручити као алтернатива за ET_o прорачуне. И *МАК* и *СОР* методе су довеле до значајног потцјењивања и прецјењивања ET_o и не препоручују се за употребу на територији БиХ.

Посљедица редукције падавина је стварање нове климатске зоне на територији Босне и Херцеговине, *SA* зоне.

Појава *SA* зоне указује на све учесталије јављање екстремних временских појава које су посљедица климатских промјена у региону БиХ. На неким од станица *DSH* зоне је примијећен пораст ET_o праћен редукцијом падавина, што доводи до повећања аридности наведене зоне и преласку неких од испитиваних станица и њиховог региона у *SA* зону.

Ова категоризација на зоне, као и статистичка анализа перформанси емпиријских метода у другом периоду осматрања (2018–2022) приказана је у табели 8.1.

Таб. 8.1. Просјечна вриједност статистичких параметра испитиваних метода за прорачун ET_o током вегетационог периода 2018–2022, као и њихов ранг у климатским зонама Босне и Херцеговине

Table 8.1. Average value of statistical parameters for the different ET_o calculation methods during the growing season 2018-2022 and their rank in the climatic zones of Bosnia and Herzegovina

Статистички параметри	ET_o	b	R ²	RMSE	MAE	d _{IA}	NSE
јединице	мм·дан ⁻¹			мм·дан ⁻¹	мм·дан ⁻¹		
SA							
FAO-PM	4.59						
HS	4.77	1.03	0.98	0.86	0.55	0.92	0.61
HM 0.424	3.92	0.85	0.98	1.02	0.42	0.85	0.46
HC 0.488*	4.58	1.00	0.98	0.67	0.32	0.93	0.75
PT	5.03	1.10	0.99	0.82	0.70	0.91	0.60
MAK	4.21	0.92	0.99	0.80	0.61	0.92	0.67
COP	4.90	1.08	0.98	0.87	0.47	0.92	0.61
PMT ₂	4.49	0.97	0.97	0.89	0.55	0.89	0.60
PMT _{1.3}	4.16	0.90	0.98	0.89	0.47	0.89	0.59
PMT _{lok(1.4)**}	4.37	0.94	0.98	0.88	0.58	0.89	0.59
DSH							
FAO-PM	3.93						
HS	4.44	1.12	0.99	0.73	0.60	0.93	0.70
HM 0.424	3.65	0.91	0.99	0.61	0.50	0.94	0.79
HC 0.461*	4.00	1.00	0.99	0.49	0.35	0.96	0.87
PT	4.17	1.06	0.99	0.50	0.40	0.96	0.86
MAK	3.45	0.88	1.00	0.61	0.51	0.95	0.79
COP	4.41	1.13	0.99	0.78	0.61	0.92	0.64
PMT ₂	4.16	1.07	0.99	0.59	0.44	0.95	0.81
PMT _{1.3}	3.88	1.01	0.99	0.52	0.40	0.96	0.85
PMT _{lok(1.4)**}	4.01	1.03	0.99	0.56	0.41	0.95	0.82
MSH							
FAO-PM	3.81						
HS	4.57	1.18	0.99	0.94	0.81	0.89	0.50
HM 0.424	3.79	0.97	0.99	0.52	0.40	0.96	0.86
HC 0.439*	3.90	1.00	0.99	0.50	0.39	0.96	0.87
PT	4.19	1.10	0.99	0.56	0.48	0.95	0.82
MAK	3.47	0.91	0.98	0.49	0.41	0.97	0.88
COP	4.38	1.16	0.98	0.90	0.71	0.91	0.50
PMT ₂	4.29	1.11	0.98	0.75	0.61	0.92	0.68
PMT _{1.3}	3.99	1.03	0.99	0.56	0.44	0.96	0.83
PMT _{lok(1.4)**}	3.96	1.02	0.98	0.55	0.43	0.95	0.84

Напомена: Подебљане вриједности означавају најбољу вриједност статистичког параметра у односу на FAO-PM метод. * просјек HC модификованог коефицијента ** просјечна брзина вјетра (m s⁻¹)

8.6. Значај примјене модерних технологија

Свјесност о све чешћим екстремним временским условима и дугорочним климатским трендовима наглашава неопходност стратешког планирања и координисаног дјеловања. Удруживање пољопривредних произвођача, научника и стручњака постаје битан корак у осмишљавању и примјени рјешења за ублажавање негативног утицаја суше на приносе. Само кроз интегрисани приступ, који обухвата савремене агротехничке мјере, генетска истраживања и ефикасно управљање ресурсима, можемо обезбиједити одрживу производњу хране. Суочавање са изазовима које доносе климатске промјене захтијева примјену савремених техника у наводњавању, као што су сателити, даљинска детекција, дронови, машинско учење и сензори. Ове напредне технологије доносе револуцију у управљању водним ресурсима, при чему омогућавају њихово ефикасније коришћење, те повећање продуктивности пољопривредних култура и очување животне средине.

Сателитска даљинска детекција омогућава прикупљање података о здрављу биљака, влази у земљишту и временским условима на великој површини у реалном времену. Индекси попут *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) и *LST* (*Land Surface Temperature*) користе се за праћење водног стреса и евапотранспирације, што омогућава прецизно планирање наводњавања као и рано упозоравање фармерима. Ова технологија доприноси смањењу потрошње воде и оптимизацији продуктивности (Sruthi et al. 2015). Такође, методе сателитске даљинске термалне детекције омогућавају значајан увид у динамику влажности земљишта, те на тај начин ове технике могу да буду одличан алат за контролу и конзервацију воде (Imtiaz et al. 2024). Под окриљем растућих изазова у модерној пољопривреди, као што су климатске промјене, управљање одрживим ресурсима и сигурност и доступност хране, појавили су се дронови као један од основних алата за трансформацију и унапређење прецизне пољопривреде (Guebsi et al. 2024). Дронови који су опремљени мултиспектралним и термалним камерама пружају снимке високе резолуције, што омогућава детекцију аномалија у расподјели влаге у земљишту и стању биљака. За разлику од сателита, дронови могу да се користе на захтјев и пружају податке на микролокалном нивоу, што их чини непроцјењивим алатом за управљање наводњавањем.

Значајан развој вјештачке интелигенције посљедњих година омогућио је истраживачима да имају велике скупове података и нелинеарне односе између различитих климатских варијабли како би се прецизно предвидјела ET_o (Jayashree et al. 2023). У регијама попут Босне и Херцеговине, гдје је директно мјерење референтне евапотранспирације ограничено, кориштење иновативних технологија постало је од суштинског значаја за прецизно и

одрживо управљање водним ресурсима. У ту сврху, савремени алати као што су машинско учење, даљинско испитивање и дрoнови у значајној мјери могу да допринесу одређивању ET_o . Користећи историјске податке о времену, параметре земљишта и карактеристике биљака, модели машинског учења могу да идентификују сложене обрасце и односе које традиционалне методе често занемарују.

Примјена вјештачке интелигенције у пољопривреди побољшала је обим и квалитет приноса путем аутоматизованог руковања и пракси везаних за наводњавање (Stenka et al. 2021). Ови алати не само да повећавају поузданост предвиђања, већ пружају и адаптивне оквире који се унапређују с повећањем доступности података током времена.

У посљедњим деценијама, са брзим развојем рачунарске технологије и теорије вјештачке интелигенције, израчунавање ET_o кориштењем метеоролошких података постало је задатак регресије који се може рјешавати различитим моделима машинског учења. Модели као што су *ANN (Artificial Neural Network)*, *ELM (Extreme Learning Machine)*, *SVM (Support Vector Machine)*, *ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System)* коришћени су у многим истраживањима (Tang et al. 2017; Fan et al. 2018; Zhijun et al. 2020; Zhu et al. 2020; Gocić and Amiri 2021; Elbeltagi et al. 2022; Agrawal et al. 2022) и показали су своју ефикасност у евалуацији ET_o користећи само температурне податке или комбинацију састављену од различитих климатских параметара.

Даљинска детекција, преко сателитских снимака и сензора на земљи, додаје просторну димензију ET_o моделирању (Ellsäßer et al. 2020; Stenka et al. 2021; Mokhtari et al. 2021; Dan et al. 2024). Тренутне технологије даљинске детекције пружају могућност праћења потрошње воде на великим површинама на исплатив начин (Mokhtari et al. 2021). Они нуде важан алат за подршку одлучивању са много потенцијала за произвођаче и остале заинтересоване стране (Mokhtari et al. 2021).

Параметри попут површинске температуре, индекса вегетације и типова земљишног покривача могу се издвојити и користити за праћење евапотранспирације на великим површинама. Унапређени сензори на беспилотним летјелицама (*UAV*) и методе даљинског осматрања омогућили су нам детаљно праћење поља, те идентификацију стреса и евапотранспирације на нивоу биљке (Nassar et al. 2020). Карте веома високе просторне резолуције потребне су за оптимизацију производње хране, управљања биљкама, наводњавањем и ђубрењем у прецизној пољопривреди (Wang et al. 2019). С друге стране, релативно ниска просторна резолуција сателитских снимака није способна за прецизно приказивање просторне хетерогености у рељефу, типовима земљишта и вегетацији. Могућност употребе истих је потребна у

Босни и Херцеговини, гдје се пољопривредни системи значајно разликују по обиму и начину управљања. Беспилотне летилице премошћују јаз између сателитског даљинског откривања и посматрања са земље, нудећи флексибилност и непосредност у прикупљању података, док дронови имају могућност прикупљања података нудећи локализован увид високе резолуције који се односе на ET_o (Ellsäßer et al. 2020). Опремљени са мултиспектралним и термалним камерама, дронови могу да сниме детаљне информације о влажности земљишта, здрављу пољопривредних култура и површинској температури. Ови подаци се могу интегрисати са моделима машинског учења, обезбјеђујући хиперлокализоване и прецизне процјене евапотранспирације.

Комбинацијом машинског учења, даљинског истраживања и дрона, БиХ може усвојити свеобухватан и скалабилан приступ одређивању ET_o . Ова интегрисана стратегија ће оснажити пољопривреднике, истраживаче и креаторе политике да доносе одлуке на основу информација, и оптимизују употребу воде, те побољшају пољопривредну продуктивност (McCabe et al. 2017; Hadadi et al. 2022). Такође, подстиче отпорност на климатске промјене обезбјеђивањем одрживих пракси управљања водним ресурсима у регионима са ограниченим могућностима директног мјерења.

8.7. Закључак

Климатске промјене и проблеми суше и повећане температуре неоспорно воде према дугорочнијим пољопривредним стратегијама, ангажовањем стручњака из области наводњавања, инвестирањима у системе за наводњавање и очување водних ресурса као неким од најважнијих компоненти адаптација на климатске промјене у Босни и Херцеговини. Истовремено, развој прецизне пољопривреде у комбинацији са подацима о микроклиматским условима може помоћи у одлукама као што су избор најпогоднијих сорти за одређене локације или оптимално вријеме сјетве. На тај начин, увођење иновација и одрживих пракси у пољопривреди представља не само одговор на климатске изазове, већ и шансу за дугорочну одрживост и повећање ефикасности производње. Као одговор на ове изазове, потребно је интензивирати напоре у адаптацији пољопривредног сектора на климатске промјене, укључујући инвестиције у системе за наводњавање, примјену напредних технологија као што су модели засновани на машинском учењу, те коришћење података добијених сензорима, сателитима и дроновима за прецизно управљање водним ресурсима. Поред технолошког напретка, неопходно је подржати локалну производњу и дистрибуцију локалних пољопривредних производа како би се унаприједио приступ тржишту за

пољопривреднике. То не само да би повећало економску одрживост фарми, већ би и допринијело бољој доступности домаћих, квалитетних производа за локалну заједницу. Истовремено, неопходно је створити услове који ће мотивисати младе генерације да остану на својим газдинствима и наставе породичну традицију бављења пољопривредом. Овај корак укључује едукацију, приступ модерним технологијама, као и финансијску подршку, што ће дугорочно осигурати стабилан и одржив пољопривредни сектор у Босни и Херцеговини.

Из свега наведеног, расте потреба за прилагођавањем и управљањем пољопривредне производње у будућности. Проблеми дефицита воде за наводњавање, који могу озбиљно утицати на водоснабдијевање и отежати наводњавање, представљају значајан изазов. Климатске промјене које утичу на Босну и Херцеговину наглашавају хитну потребу за брзим и ефикасним прилагођавањем пољопривредног сектора како би се ублажили њихови негативни ефекти и осигурала одрживост производње у наредним деценијама.

Захвалност

Овај рад је подржан од стране Министарства цивилних послова Босне и Херцеговине и пројекта „Подршка учешћу у COST акцији CA21142 - Одговори воћака на дефицит воде и апликација система за подршку одлучивању (FruitCREWS)“ (шифра пројекта 125 1280).

Литература

- Abiri R, Rizan N, Balasundram SK, Shahbazi AB, Abdul-Hamid H (2023) Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon* 9:21. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e22601
- Agho C, Avni A, Bacu A, Bakery A, Balazadeh S, Baloch FS, Bazakos C, Čereković N et al. (2024) Integrative approaches to enhance reproductive resilience of crops for climate-proof agriculture. *Plant Stress* In Press, Journal Pre-proof 100704 doi:10.1016/j.stress.2024.100704
- Agrawal Y, Kumar M, Ananthakrishnan S, Kumarapuram G (2022) Evapotranspiration Modeling Using Different Tree Based Ensembled Machine Learning Algorithm. *Water Resour. Manag.* 36:1025–1042. doi:10.1007/s11269-022-03067-7
- Allen R G, Pereira L S, Raes D, Smith M (1998) Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome

- Allen RG, Walter IA, Elliott RL, Howell TA, Itenfisu D, Jensen ME, Snyder RL (2005) The ASCE standardized reference evapotranspiration equation. American society of civil engineers. Reston, Virginia. 192 pp
- Čereковић N, Fatnassi N, Santino A, Poltronieri P (2019) Variability in Physiological, Biochemical, and Molecular Mechanisms of Water Stress Tolerance in chickpea varieties. Chapter 6. Pp: 113–128. In: Approaches in enhancing abiotic stress tolerance to plants (Hasanuzzaman M, Fujita M, Oku H, Islam T; Eds). CRC press, 2/2019
- Čereковић N, Jarret D, Pagter M, Cullen D, Morris J, Hedley P, Brennan R, Petersen Koefoed K (2015) The effects of drought stress on leaf gene expression during flowering in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.). *Eur. J. Hortic. Sci.* 80 (1):39–46. doi: 10.17660/eJHS.2015/80.1.6
- Čereковић N, Markovic M, Radic V, Cadro S, Crljenkovic B, Zapata N, Paço TA, Almeida W, Stricevic R, Todorovic M (2024) Impact of different water regimes on maize grown at two distinctive pedo-climatic locations in Bosnia and Herzegovina. *Span. J. Agric. Res.* 22(3):e1201. doi:10.5424/sjar/2024223-20925
- Čereковић N, Pagter M, Kristensen H L, Brennan R, Petersen KK (2014) Effects of deficit irrigation during flower initiation of two blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) cultivars. *Sci. Hortic.* 168:193–201. doi:10.1016/j.scienta.2014.01.039
- Čereковић N, Pagter M, Kristensen HL, Pedersen HL, Brennan R, Petersen KK (2013) Effects of drought stress during flowering of two pot-grown blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) cultivars. *Sci. Hortic.* 162:365–373. doi:10.1016/j.scienta.2013.08.026
- Čereковић N, Todorović M, Snyder R (2010a) The relationship between leaf area index and crop coefficient for tomato crop grown in southern Italy. *Euroinvent* 1(1):3–10
- Čerekovic N, Todorovic M, Snyder RL, Boari F, Pace B, Cantore V (2010b) Evaluation of the crop coefficients for tomato crop grown in a Mediterranean climate. In: López-Francos A (collab.). Economics of drought and drought preparedness in a climate change context. Zaragoza: CIHEAM/FAO/ICARDA/GDAR/CEIGRAM/MARM, p. 91–94 (Options Méditerranéennes: Série A. Séminaires Méditerranéens; n. 95)
- Čereковић N, Todorović M, Snyder RL, Marković S, Boari F, Pace B, Cantore V (2011) Effect of mulching on melon (cv.Campero) crop coefficient. XVI savetovanje o biotehnologiji s međunarodnim učešćem. Čačak: Agronomski fakultet u Čačku Univerziteta u Kragujevcu. Zbornik radova 16(18):165–169.
- Chen Z, Zhu Z, Jiang H, Sun S (2020) Estimating daily reference evapotranspiration based on limited meteorological data using deep learning and classical machine learning methods, *J. Hydrol.* 591:125286. doi:10.1016/j.jhydrol.2020.125286
- Dai L, Fu R, Zhao Z, Guo X, Du Y, Hu Z, Cao G (2022) Comparison of Fourteen Reference Evapotranspiration Models With Lysimeter Measurements at a Site in the Humid Alpine Meadow, Northeastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Front Plant Sci.* 13:854196. doi:10.3389/fpls.2022.854196
- Dong J, Xing L, Cui N, Guo L, Liang C, Zhao L, Wang Z, Gong D (2024) Estimating reference crop evapotranspiration using optimized empirical methods with a

- novel improved Grey Wolf Algorithm in four climatic regions of China, *Agric. Water Manag.* 291:108620. doi:10.1016/j.agwat.2023.108620
- Doorenbos J, Pruitt WO (1977) *Crop Water Requirements*. FAO Irrigation and Drainage Paper 24, FAO, Rome, 144 p
- Elbeltagi A, Nagy A, Mohammed S, Pande CB, Kumar M, Bhat SA, Zsembeli J, Huzsvai L, Tamás J, Kovács E, Harsányi E, Juhász C (2022) Combination of Limited Meteorological Data for Predicting Reference Crop Evapotranspiration Using Artificial Neural Network Method. *Agronomy*, 12(2):516. doi:10.3390/agronomy12020516
- Ellsäßer F, Stiegler C, Röhl A, June T, Knohl A, Hölscher D (2020) Predicting evapotranspiration from drone-based thermography – a method comparison in a tropical oil palm plantation. *Biogeosciences* 18:861–872. doi:10.5194/bg-18-861-2021
- Fan J, Yue W, Wu L, Zhang F, Cai H, Wang X, Xiang Y (2018) Evaluation of SVM, ELM and four tree-based ensemble models for predicting daily reference evapotranspiration using limited meteorological data in different climates of China. *Agric for Meteorol* 263:225–241. doi:10.1016/j.agrformet.2018.08.019
- Fatnassi N, Čereković N, Horres R, Santino A, Poltronieri P (2018) Differences in adaptation to water stress in stress sensitive and resistant varieties of Kabuli and Desi type chickpea. Pp. 402–411. Chapter 34. In: A. Ramakrishna and S. Singh Gill, Editors. *Metabolic adaptations in plants during abiotic stress*. CRC Press, Taylor & Francis Boca Raton, FL, USA, 10/2018. K33263.
- Gocić M, Amiri M A (2021) Reference evapotranspiration prediction using neural networks and optimum time lags. *Water Resour Manag* 35(6):1913–1926. doi:10.1007/s11269-021-02820-8
- Guebsi R, Mami S, Chokmani K (2024) Drones in Precision Agriculture: A Comprehensive Review of Applications, Technologies, and Challenges. *Drones* 8(11):686; doi:10.3390/drones8110686
- Hadadi F, Moazenzadeh R, Mohammadi B (2022) Estimation of actual evapotranspiration: A novel hybrid method based on remote sensing and artificial intelligence, *J. Hydrol.* 609:127774. doi:10.1016/j.jhydrol.2022.127774
- Imtiaz F, Farooque AA, Randhawa GS, Wang X, Esau TJ, Acharya B, Ebrahim S, Garmdareh H (2024) An inclusive approach to crop soil moisture estimation: Leveraging satellite thermal infrared bands and vegetation indices on Google Earth engine, *Agric. Water Manag.* 306:109172. doi:10.1016/j.agwat.2024.109172
- IPCC (2023) “Sections. In: *Climate Change 2023: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.” In edited by H. Lee and J. Romero, 35–115. Geneva, Switzerland: IPCC. doi:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- Jamal A, X Cai, X Qiao, Garcia L, Wang J, Amori A, Yang H (2023) Real-Time Irrigation Scheduling Based on Weather Forecasts, Field Observations, and Human-Machine Interactions. *Water Resour. Res.* 59:e2023WR035810. doi:10.1029/2023WR035810

- Jayashree TR, Subba Reddy NV, Dinesh UA (2023) Modeling Daily Reference Evapotranspiration from Climate Variables: Assessment of Bagging and Boosting Regression Approaches. *Water Resour. Manag.* 37:1013–1032. doi:10.1007/s11269-022-03399-4
- Jensen ME, Robb DCN, Franzoy CE (1970) Scheduling irrigations using climate-crop-soil data. *Proc. Am. Soc. Civ. Eng., J. Irrig. Drain. Div.* 96(1R1):25–38
- Kandra B, Tall A, Gombos M, Pavelková D (2023) Quantification of Evapotranspiration by Calculations and Measurements Using a Lysimeter. *Water* 15(2):373. doi:10.3390/w15020373
- Knežević M, Zivotić L, Čereković N, Topalović A, Koković N, Todorovic M (2018) Impact of Climate Change on Water Requirements and Growth of Potato in Different Climatic Zones of Montenegro. *J. Water Clim. Chang.* 9(4):657–671. doi:10.2166/WCC.2018.211
- Liu D, Wang Z, Wang L, Chen J, Li C, Shi Y (2024) Improved remote sensing reference evapotranspiration estimation using simple satellite data and machine learning *Sci. Total Environ.* 947:174480. doi:10.1016/j.scitotenv.2024.174480
- Marković S, Čereković N, Kljajic N, Rudan N (2012) Rainfall analyses and water deficit during growing season in Banja Luka Region. *Proceedings from 1st International Congress of Ecologists, Ecological Spectrum 2012:1167–1176.* UDK 504.4:556.167(497.6 Banja Luka)
- McCabe MF, Rodell M, Alsdorf DE, Miralles DG, Uijlenhoet R, Wagner W, Lucieer A, Houborg R, Verhoest NEC, Franz TE, Shi J, Gao H, Wood FE (2017) The future of Earth observation in hydrology. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 21(7):3879–3914. doi:10.5194/hess-21-3879-2017
- Mokhtari A, Ahmadi A, Daccache A, Drechsler K (2021) Actual Evapotranspiration from UAV Images: A Multi-Sensor Data Fusion Approach. *Remote Sens.* 13(12):2315. https doi:10.3390/rs13122315
- Nassar A, Torres-Rua A, Kustas W, Nieto H, McKee M, Hipps L, Stevens D, Alfieri J, Prueger J, Alsina M M, McKee L, Coopmans C, Sanchez L, Dokoozlian N (2020) Influence of Model Grid Size on the Estimation of Surface Fluxes Using the Two Source Energy Balance Model and sUAS Imagery in Vineyards *Remote Sens.* 12(3):342; doi:10.3390/rs12030342
- Novák V (2012) Methods of Evapotranspiration Estimation. In: *Evapotranspiration in the Soil-Plant-Atmosphere System. Progress in Soil Science.* Springer, Dordrecht. doi:10.1007/978-94-007-3840-9_9
- Pacheco-Labrador J, Cendrero-Mateo MP, Van Wittenberghe S, Hernandez-Sequeira I, Koren G, Prikaziuk E, Fóti S, Tomelleri E, Maseyk K, Čereković N, Gonzalez-Cascon R, Malenovský Z, AlbertSaiz M, Antala M, Balogh J, Buddenbaum H, Shoar MHD, Fennell JT, Féret J-B, Balde H, Machwitz M, Mészáros Á, Miao G, Morata M, Naethe P, Nagy Z, Pintér K, Pullanagari RR, Rastogi A, Siegmann B, Wang S, Zhang C, Kopkáně D (2024) Ecophysiological variables retrieval and early stress detection: insights from a synthetic spatial scaling exercise, *Int. J. Remote Sens.* 46(1):443–468. doi:10.1080/01431161.2024.2414435

- Penman HL (1948) Natural evaporation from open water, bare and grass. *Proc. R Soc. Lond. Ser. A* 193:120–145
- Playán E, Čereković N, Marković M, Vaško Ž, Vekić M, Mujčinović A, Čadro S, Hajder Đ, Šipka M, Bećirović E, Musić O, Grahić J, Todorović M, Stojaković N, Almeida WS, Paço TA, Dechmi F, Paniagua P, Zapata N (2024) A roadmap to consolidate research and innovation in agricultural water management in Bosnia and Herzegovina. *Agric. Water Manag.* 293:1–13. doi:10.1016/j.agwat.2024.108699
- Preite L, Solari F, Vignali G (2023) Technologies to Optimize the Water Consumption in Agriculture: A Systematic Review. *Sustainability* 15(7):5975. doi:10.3390/su15075975
- Raja P, Sona F, Surendran U, Srinivas CV, Kannan K, Madhu M, Mahesh P, Annepu SK, Ahmed M, Chandrasekar K, Suguna AR, Kumar V, Jagadesh M (2024) Performance evaluation of different empirical models for reference evapotranspiration estimation over Udthagamandalm, The Nilgiris, India. *Sci Rep.* 14:12429. doi:10.1038/s41598-024-60952-4
- Srdić S, Srđević Z, Stričević R, Čereković N, Benka P, Rudan N, Rajić M, Todorović M (2023) Assessment of Empirical Methods for Estimating Reference Evapotranspiration in Different Climatic Zones of Bosnia and Herzegovina. *Water* 15:3065. doi:10.3390/w15173065
- Sruthi S, Mohammed Aslam M A (2015) Agricultural Drought Analysis Using the NDVI and Land Surface Temperature Data; a Case Study of Raichur District, Aquat. *Procedia* 4:1258–1264. doi:10.1016/j.aqpro.2015.02.164
- Steduto P, Raes D, Hsiao, TC, Fereres E, Heng L, Izzi G, Hoogeveen J (2009) AquaCrop: A new model for crop prediction under water deficit conditions. *Drought Manag. Sci. Technol. Innov.* 33:285–292.
- Stricevic R, Stojakovic N, Vujadinovic-Mandic M, Todorovic M (2018) Impact of climate change on yield, irrigation requirements and water productivity of maize cultivated under the moderate continental climate of Bosnia and Herzegovina. *J. Agr. Sci.* 156(5):618–627. doi:10.1017/S0021859617000557
- Tang R, Li ZL, Sun X, Bi Y (2017) Temporal upscaling of instantaneous evapotranspiration on clear-sky days using the constant reference evaporative fraction method with fixed or variable surface resistances at two cropland sites. *J. Geophys. Res. Atmos.* 122:784–801. doi:10.1002/2016JD025975
- Todorovic M (2019) Crop Evapotranspiration, in *Encyclopedia of Water: Science, Technology, and Society* (Editor-in-Chief: Patricia A. Maurice), John Wiley & Sons, Inc. 156:1697-1712. doi: 10.1002/9781119300762.wsts0204
- Tollefson L (1996) Requirements for improved interactive communication between researchers, managers, extensionists and farmers. In: *Irrigation Scheduling: From Theory to Practice*, Proceedings ICID/FAO Workshop, Sept. 1995, Rome. Water Report No. 8, FAO, Rome.
- Trajkovic S (2007) Hargreaves versus Penman-Monteith under humid conditions. *J. Irrig. Drain. Eng.* 133(1):38–42. doi:10.1061/(ASCE)0733-9437 133

- Vulova S, Meier F, Rocha AD, Quanz J, Nouri H, Kleinschmit B (2021) Modeling urban evapotranspiration using remote sensing, flux footprints, and artificial intelligence Sci. Total Environ. 786:147293. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.147293
- Wang T, Tang R, Li ZL, Jiang Y, Liu M, Niu L (2019) An Improved Spatio-Temporal Adaptive Data Fusion Algorithm for Evapotranspiration Mapping. Remote Sens. 11(7):761; doi:10.3390/rs11070761
- Wei H, Xu W, Kang B, Eisner R, Muleke A, Rodriguez D, deVoil P, Sadras V, Monjardino M, Harrison MT (2024) Irrigation with Artificial Intelligence: Problems, Premises, Promises. Hum-Cent Intell Syst 4:187–205. doi:10.1007/s44230-024-00072-4
- Xiang K, Li Y, Horton R, Feng, H (2020) Similarity and difference of potential evapotranspiration and reference crop evapotranspiration-A review. Agric. Water Manag. 232:106043. doi:10.1016/j.agwat.2020.106043
- Xing L, Feng Y, Cui N, Guo L, Du T, Wu Z, Zhang Y, Wen S, Gong D, Zhao L (2023) Estimating reference evapotranspiration using Penman-Monteith equation integrated with optimized solar radiation models, J. Hydrol. 620:A129407. doi:10.1016/j.jhydrol.2023.129407
- Zhu B, Feng Y, Gong D, Jiang S, Zhao L, Cui N (2020) Hybrid particle swarm optimization with extreme learning machine for daily reference evapotranspiration prediction from limited climatic data. Comput Electron Agric. 173:105430. doi:10.1016/j.compag.2020.105430

Improving Irrigation in Response to Climate Change

Nataša Čereković, Sretenka Srdić, Mladen Todorović

Summary

As a result of global climate change, droughts are occurring more and more frequently in Bosnia and Herzegovina. The lack of precipitation accompanied by relatively high temperatures and increased evapotranspiration causes a lack of water in the soil that leads to reduced water supplies in the active zone of the rhizosphere, which negatively affects the growth and development of agricultural crops, as well as the yield and economy.

To successfully solve the problem of drought, which is increasingly evident in Bosnia and Herzegovina, it is necessary to determine the relevant values of reference evapotranspiration (ET_0) that will serve as the basis for calculating plant water needs. ET_0 calculations in Bosnia and Herzegovina, taking into account climate change, help in the precise management of water resources in agriculture. For this reason, it is important to establish a system of regular ET_0 monitoring and integrate it into irrigation strategies to maintain stable yields, while also ensuring sustainable and rational water use.

The implementation of innovative solutions and sustainable approaches in agriculture is a response to climate challenges, providing opportunities for long-term stability and improvement of agricultural production. Intensifying efforts to adapt agriculture to climate challenges involves investing in modern irrigation systems, the application of advanced technologies based on machine learning, as well as the use of data obtained from sensors and satellites.

Keywords: Irrigation, Evapotranspiration, Crop Coefficient, Agriculture, Yield, Advanced Technologies, Bosnia and Herzegovina