



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**



Департман за уређење вода

Тања Стојковић дипл. инж. пољ.

**ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ВОДЕ ЗА НАВОДЊАВАЊЕ У СЛИВУ РЕКЕ
КОЛУБАРЕ**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2025.



**УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ
ПОЉОПРИВРЕДНИ ФАКУЛТЕТ**



Департман за уређење вода

Кандидат: Тања Стојковић ментор: Проф. др Милица Вранешевић

**ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ВОДЕ ЗА НАВОДЊАВАЊЕ У СЛИВУ РЕКЕ
КОЛУБАРЕ**

МАСТЕР РАД

Нови Сад, 2025.

КОМИСИЈА ЗА ОЦЕНУ И ОДБРАНУ МАСТЕР РАДА

др Милица Вранешевих, ванредни професор, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет - ментор

др Јасна Грабић, редовни професор, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет – председник комисије

др Радош Земунац, доцент, Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет – члан комисије

ОЦЕНА КВАЛИТЕТА ВОДЕ ЗА НАВОДЊАВАЊЕ У СЛИВУ РЕКЕ КОЛУБАРЕ

РЕЗИМЕ

Класификација вода ради се са циљем одређивања квалитета воде како би се повећале наводњаване површине на територији Републике Србије. Класификације воде које су примењене у раду су: Нејгебауер, ФАО и USSL. Поред познатих класификација воде, урађена је и додатна анализа допунских параметара квалитета воде: SAR, RSC, KR, PI, MAR. Предмет истраживања су подземне и површинске воде колубарског слива од 2013. до 2020. године и то на станицама Мислођин, Обреновац-Беопетрол, Звиздар, Боговађа и Ваљево. Статистика добијених резултата указала је да вода за наводњавање према Нејгебауер калсификацији на свим мерним станицама припада углавном Ia класи (безпрекорна вода). Према USSL класификацији, вода је у већем проценту припадала C3-S1 (представља опасност од заслањивања земљишта, док готово да не постоји опасност од негативног деловања натријума) класи воде. Према ФАО класификацији статистика добијених резултата указује да вода кориштена у сврху наводњавања не би проузроковала негативне последице на структуру земљишта и гајене културе. Према додатној анализи допунских параметара вода је погодна за наводњавање.

Кључне речи: наводњавање класификација, квалитет воде, колубарски слив

ASSESSMENT OF IRRIGATION WATER QUALITY IN THE KOLUBARA RIVER BASIN

ABSTRACT

Water classification is done with the aim of determining the quality of water in order to increase the irrigated areas on the territory Republic of Serbia. Water classifications used in the work are Neugebauer, FAO and USSL. In addition to the known water classifications, an additional analysis of additional water quality parameters was performed: SAR, RSC, KR, PI, and MAR. The subject of research is the underground and surface waters of the Kolubara basin from 2013 to 2020 at the Mislodjin, Obrenovac-Beopetrol, Zvizdar, Bogovada and Valjevo stations. The statistics of the obtained results indicated that the irrigation water, according to the Neugebauer calcification at all measuring stations, mainly belongs to class Ia (excellent water). According to the USSL classification, the water mostly belonged to the C3-S1 (representing the danger of soil salinization, while there is almost no danger of the negative effects of sodium) water class. According to the FAO classification, the statistics of the obtained results indicate that the water used for the purpose of irrigation would not cause negative consequences for the structure of the soil and cultivated crops. According to the additional analysis of additional parameters, the water is suitable for irrigation.

Keywords: classification, water quality, Kolubara basin

САДРЖАЈ

1. УВОД.....	1
2. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА	3
3. ОПИС АНАЛИЗИРАНИХ ЛОКАЛИТЕТА	4
4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ.....	7
3.1 КЛАСИФИКАЦИЈА ВОДЕ ПО НЕЈГЕБАУЕРУ	7
3.2 КЛАСИФИКАЦИЈА АМЕРИЧКЕ ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА ЗАСЛАЊЕНА ЗЕМЉИШТА (USSL)	9
3.3 FAO КЛАСИФИКАЦИЈА	12
3.4 ДОПУНСКЕ ОЦЕНЕ КВАЛИТЕТА ВОДЕ	16
5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.....	20
4.1 КЛАСИФИКАЦИЈА НЕЈГЕБАУЕРА	27
4.2 КЛАСИФИКАЦИЈА US SALINITY LABOTATORY	31
4.3 FAO КЛАСИФИКАЦИЈА	35
4.4 ДОПУНСКЕ ОЦЕНЕ КВАЛИТЕТА.....	37
4.4.1 Sodium Adsorption Ratio (SAR).....	37
4.4.2 Rasidual sodium carbonate (RSC).....	38
4.4.3 Magnesium Adsorption Ratio (MAR)	40
4.4.4. Permeability index (PI)	42
4.4.5. Kelley’s Ratio (KR).....	44
6. ЗАКЉУЧАК	46
7. ЛИТЕРАТУРА	50

1. УВОД

Порастом броја становништва повећава се потреба за храном, међутим ресурси за њену производњу су све угроженији. Због климатских промена, дуготрајни сушни периоди су све учесталији, што ограничава производњу и спречава успостављање потребних количина хране. Уз то, земљиште као основни ресурс за производњу хране је угрожено због интензивног искоришћавања. Ова егзистенцијална питања се тичу свих и зато је неопходно бити свестан актуелних, али и будућих проблема и да се пронађу најбољи начини и да се улажу напори у решавању ових проблема.

Наводњавање пољопривредних усева је примењена научна дисциплина која се последњих деценија интензивно развила, захваљујући општем просперитету пољопривредних, водопривредних и техничких наука (Агромедиа, 2023).

Интензивно се граде нови, реконструишу и модернизују постојећи системи за наводњавање, тако да је последњих деценија вишеструко превазиђено, оно што се вековима градило (Бошњак, 1999).

Под наводњавањем земљишта подразумева се довођење воде у земљиште које се влажи до мере потребне за нормалну потрошњу од стране пољопривредних култура. Према томе наводњавање је једна од мелиоративних мера која има задатак да обезбеди потребан водни режим на пољопривредним земљиштима. Истовремено, утиче на стварање и одржавање топлотног режима земљишта, режима исхране и на повећање плодности земљишта. За раст и развиће биљака важно је адекватно обезбеђење биљака водом. Када су падавине недовољне, биљкама се морају наводњавањем обезбедити додатне количине воде. Недостатак природне земљишне влаге може се јављати током вегетације или само у појединим фазама раста и развића (Агромедиа, 2023).

Неоспорно је да наводњавање даје позитивне ефекте у биљној производњи, али исто тако може доћи до нежељених ефеката, те је због тога потребно имати неопходна знања да до негативних ефеката не би дошло. Сви проблеми који се јављају у наводњавању могу се сврстати у три групе: 1.) забаривање и заслањивање земљишта; 2.) опадање плодности земљишта; 3.) погоршање физичких својстава земљишта, па и оштећење или уништење биљака (неадекватна вода) (Белић и Шкорић, 1991).

Имајући у виду да законска регулатива за коришћење воде за наводњавање одређеног квалитета не постоји, ипак је неопходно пратити квалитет воде за наводњавање. Упоредна примена познатих класификација воде за наводњавање често дају контрадикторне резултате (Белић и сар. 2011), јер су настале у различитим условима и требало би их прилагодити локалним условима.

Оптималан исход наводњавања зависи од читавог низа природних и антропогених услова и фактора. Мањкавост или недостатак само једног од њих може да доведе у питање економску, еколошку или неку другу оправданост примене ове мере. Свакако да један од битних чинилаца успешности примене наводњавања представља квалитет воде. Пуни ефекти наводњавања испољавају се тек ако се на најбољи начин искористе све предности које ова мера пружа (повећање приноса, бољи квалитет гајених биљака, повећање плодности земљишта, одржавање оптималног нивоа влаге, рН вредност итд.). Са друге стране неопходно је да се сведу на минимум могуће негативне стране наводњавања (загађење површинских и подземних вода, ерозија, заслањивање, алкализација и други облици деградације и контаминације земљишта, закоровљеност, болести итд.

2. ЗАДАТАК И ЦИЉ РАДА

Оцена квалитета воде за наводњавање у сливу реке Колубаре спроводи се различитим домаћим и светским класификацијама вода, а све у циљу повећања наводњаваних површина на територији централне Србије која обилује плодним земљиштем које би у условима наводњавања давало далеко веће и сигурније приносе. Резултати тренутног стања и тендови могу се користити приликом планирања будућих система за наводњавање као и унапређење постојећих систем дајући препоруке које могу да умање или елиминишу последице које могу да настану применом воде неодговарајућег квалитета.

Циљ истраживања је добијање информације на основу којих се може прецизирати који параметри квалитета утичу на употребљивост воде у пракси наводњавања. Уз коришћење одређених страних и домаћих класификација, као и додатне оцене, ће послужити за прецизније дефинисање употребљивости воде за наводњавање. Резултати оцене употребљивости воде биће основа за доношење закључака ових истраживања.

3. ОПИС АНАЛИЗИРАНИХ ЛОКАЛИТЕТА

Током вегетационих сезона од 2013. до 2020. године прикупљени су подаци из годишњих извештаја о квалитету површинских и подземних вода (<http://www.sepa.gov.rs/>) у Републици Србији. Колубара је река у Западној Србији, десна притока Саве дуга око 125 km и на њеном току притоке су јој Градац, Бања, Лепеница, Рибница, Топлица, Љиг, Пештан, Турија, Бељаница. Настаје од два изворишна речна крака: Обнице и Јабланице у Ваљеву. Улива се у Саву код Обреновца. Проток воде у реци је $31 \text{ m}^3/\text{s}$. Слив Колубаре износи око $3\,600 \text{ km}^2$ и у њему се налазе богата налазишта лигнита. Долином Колубаре пролази и железничка пруга. Река Колубара има разнолики екосистем, рибе које су најнастањеније у реци су клен, скобаљ, буцов, и многе друге ципринидне врсте риба (Turisti.rs, 2023).

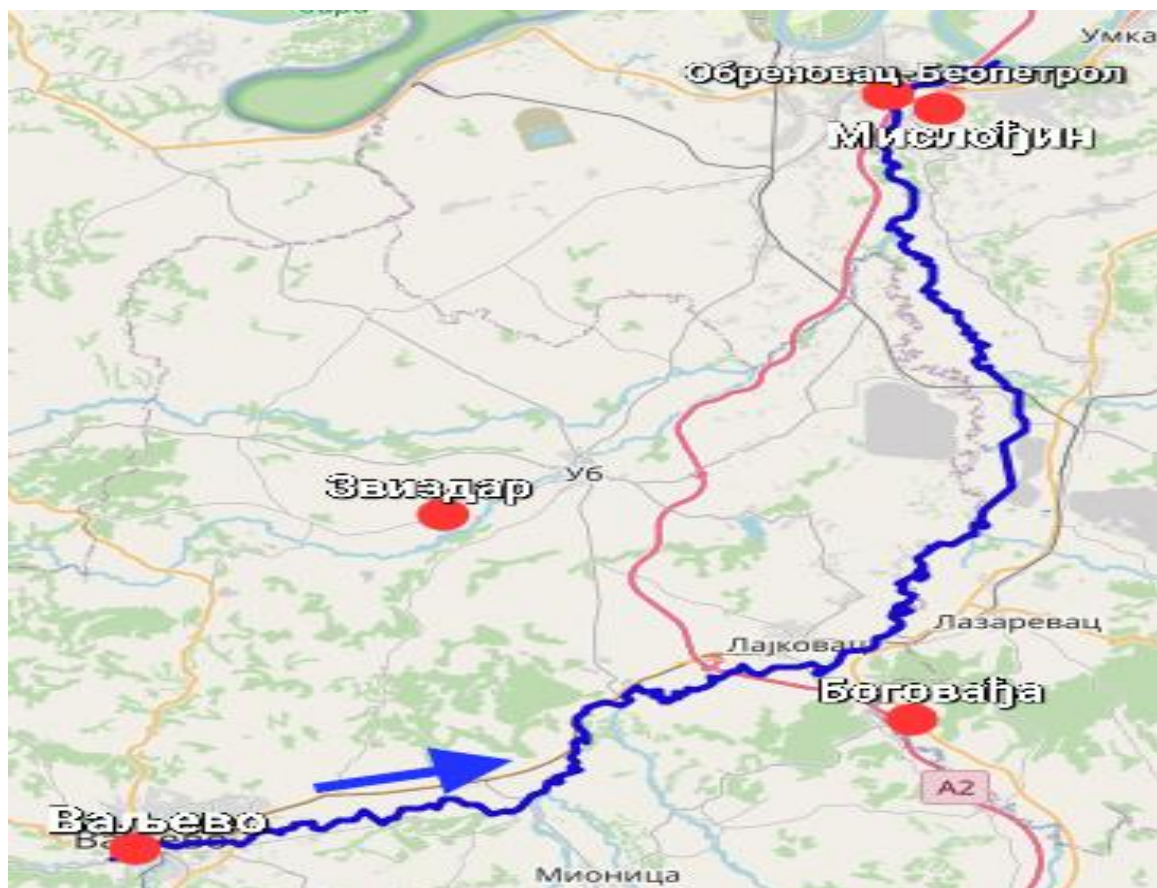
Мерне станице на којима су узимани узорци су:

- Мислођин (шифра станице 95921),
- Обреновац-Беопетрол (шифра станице 5NP236A),
- Звиздар (шифра станице 5NP829A),
- Боговађа (шифра станице 5NP838A) и
- Ваљево (шифра станице 5NP841A).

Приближне локације мерних станица су приказане на карти слика 1: Локације анализираних узорака на сливу Колубаре.

Мислођин је насеље у градској општини Обреновац. Обреновац је општина у Београду, налази се на ушћу реке Колубаре у реку Саву. Хидрометеоролошка станица је удаљена 4,86 km од реке Колубаре. Звиздар је насеље у Републици Србији у општини Уб у Колубарском округу. Удаљеност хидрометеоролошке станице од Колубаре је 0,8 km. Боговађа је насеље у Републици Србији и општини Лајковац. Хидрометеоролошка станица се налази 5,84 km од реке (Гугл мапе, 2023).

Ваљево је градско насеље и седиште истоимене територијалне јединице у Србији. Административни је центар Колубарског управног округа. Налази се у Шумадији и западној Србији, на непуних 100 km југозападно од Београда.



Слика 1. Локације анализираних узорака на сливу Колубаре (Гугл мапе, 2023)

Параметри који су праћени су суви остатак, укупне растворене соли, електропроводљивост, рН вредност, као и катјони (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+} и K^{+}) и анјони (HCO_3^{-} , CO_3^{2-} , Cl^{-} , SO_4^{2-} , NO_3^{-}). Сви наведени параметри неопходни су приликом хидрохемијске оцене квалитета воде за наводњавање (Агромедиа, 2023).

Коришћене класификације за оцену употребљивости воде за наводњавање су: Категоризација вода по Хејгебауеру, класификација USSL и FAO класификација. Наведене класификације су базиране на степену и типу минерализације коришћених вода. „Допунска“ оцена квалитета подразумева да би вода која се користи за пољопривредну производњу требала да буде добра и за биљке и за земљиште (Ayers &

Westcot, 1985; Richards, 1954; US Salinity Laboratory Staff, 1954; Вучић, 1976; Вранешевић и сар, 2018).

У том смислу (према Bauder et al., 2007; Robinson, 1984; Seilsepour et al., 2009; Van de Graaff et al., 2001; Pfeifer et al., 1999, Prasad et al., 2001), добар квалитет воде подразумева прихватљиве опсеге вредности допунских оцена:

- релативног садржаја натријума (SAR), (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001)
- резидуалног натријум карбоната (RSC), (Joshi et al., 2009)
- однос хидрокарбоната и калцијума (RSCB), (Joshi et al., 2009)
- релативни садржај магнезијума (MAR),
- однос натријума према калцијуму и магнезијуму (KR) и
- индекс пермеабилности (PI) (Kirda, 1997).

4. МАТЕРИЈАЛ И МЕТОДЕ

3.1 КЛАСИФИКАЦИЈА ВОДЕ ПО НЕЈГЕБАУЕРУ

Класификација воде по Нејгебауеру прилагођена је природним условима који владају у Војводини и према томе може се сматрати најмеродавнијом за услове који владају на терену (Вранешевић, и сар, 2018). Ова класификација датира из 1949. године била је у интензивној употреби, јер је она саставни део многих елабората и пројеката изграђених система за наводњавање (Агромедиа, 2023).

Основа ове класификације је степен салинитета изражен преко сувог остатка, односно жареног остатка на 300°C као показатељ опасности од заслањивања и однос калцијума и магнезијума према натријуму као показатељ опасности алкализације земљишта. Класификација се заснива на градацији квалитета воде за наводњавање и сврстава их у четири класе (Табела 1: Класификација воде по Нејгебауеру) у односу према заслањивању и алкализацији земљишта (Бошњак 1999). Ради добијања детаљније оцене квалитета воде, поређење резултата са неком другом класификацијом је свакако пожељна (Вучић, 1976; Вранешевић и сар, 2018).

Табела 1. Класификација воде по Нејгебауеру (Вучић, 1976)

Класа воде	Подкласа	Услови	Употребљивост воде
I	а б	S.O. < 700mg/l (Ca+Mg):(Na+K) > 3 S.O. < 700mg/l (Ca+Mg):Na > 3	Беспрекорна вода
II		S.O. < 700mg/l (Ca+Mg):Na > 1	Добре воде за наводњавање
III	а б	S.O. < 700-3000mg/l (Ca+Mg):Na > 3 S.O. < 700-3000mg/l (Ca+Mg):Na > 1	Воду коју треба испитати
IV	а б ц д,е	S.O. < 700mg/l (Ca+Mg):Na < 1 S.O. < 700-3000mg/l (Ca+Mg):Na < 1 S.O. < 3000mg/l (Ca+Mg):Na > 3 S.O. < 3000mg/l	Воде непогодне за наводњавање

3.2 КЛАСИФИКАЦИЈА АМЕРИЧКЕ ЛАБОРАТОРИЈЕ ЗА ЗАСЛАЊЕНА ЗЕМЉИШТА (USSL)

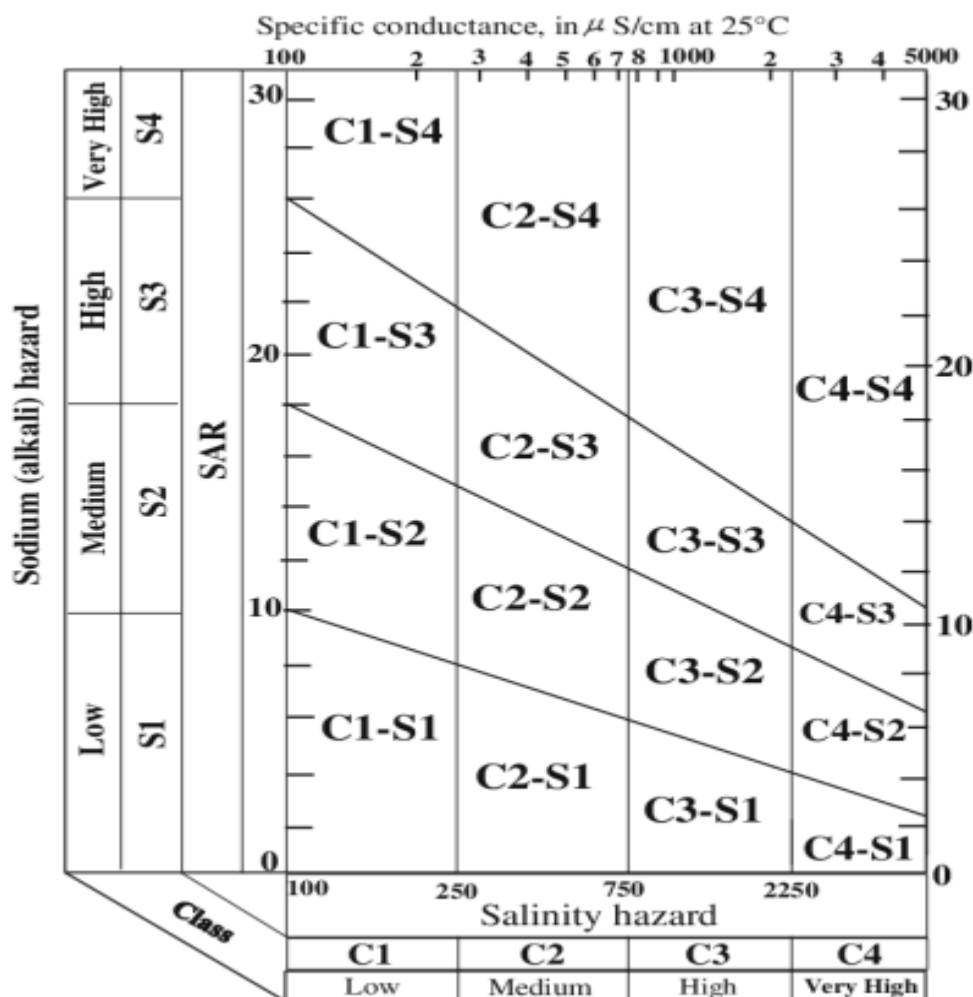
Ова класификација је створена у оквиру америчке лабораторије за слатине из Риверсајда у Калифорнији (US Salinity laboratory staf. 1954). Као резултат тимског рада на основу бројних испитивања у пољским условима и заштићеном простору предложена је класификација воде за наводњавање, чија је основа сагледавање опасности заслањивања и опасност од алкализације земљишта (слика 2: Дијаграм за класификацију воде за наводњавање (Richards, 1954)). Опасност од заслањивања се сагледа преко вредности електропроводљивости воде, која показује укупну концентрацију соли у води. Док се опасност од алкализације сагледа преко вредности SAR (sodium adsorption ratio), као показатељ релативне активности натријума у изменљивим реакцијама у адсорптивном комплексу земљишта, односно то је показатељ потенцијалне адсорпције натријума (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001).

Електропроводљивост се мери посебном електродом и стандардним кондуктометром. У то време предложена је оригинална јединица мере за електропроводљивост mhos по центиметру (mhos/cm), изведена је од ohm -а којим се мери отпор електропроводљивости. Односно, усвојена је реципрочна вредност ohm -а, написана с десна на лево mho , с тим што му је додато слово „s” (mhos), које представља множину у енглеском језику. Јединица електропроводљивости mhos/cm је велика за воде, које су благи раствори соли, те се користе мање јединице милимос по центиметру (mmhos/cm) којих има 1000 у 1 mhosu или микромос по центиметру ($\mu\text{mhos/cm}$) којих има 1000 у mmhosu или 1000000 у 1 mhosu . Обзиром да електропроводљивост зависи од температуре све вредности се коригују на 25°C и обележавају се са $\text{EC}_{25} 10^3 \text{ mmhos/cm}$ и $\text{EC}_{25} 10^6 \text{ micromhos/cm}$. По SI систему мерних јединица електропроводљивост се изражава у сименсима (S), при чему је следећи однос са mhosima :

$$\text{EC}_{25} \quad \text{mhos/cm} = \text{S/cm}$$

$$\text{EC}_{25} 10^3 \quad \text{mmhos/cm} = \text{mS/cm}$$

$$\text{EC}_{25} 10^6 \quad \text{micromhos/cm} = \mu\text{S/cm}$$



Слика 2. Дијаграм за класификацију воде за наводњавање (Richards, 1954)

Користећи вредности EC и SAR помоћу посебног дијаграма (слика 3.) одређује се класа воде за наводњавање. Вода се према опасности од заслањивања класификује у класе „C1“ до „C4“, односно у класе „S1“ до „S4“ са аспекта алкализације. Већа вредност индекса указује на већу вредност EC и SAR, тј. на већу опасност примене воде за наводњавање. Свакако оцена квалитета воде треба да се врши узимајући у обзир гајене биљке и земљиште као и уз прилагођавање климатским условима (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001).

Оцена употребљивости се описује кроз класе „C“ од мало слане до врло слане воде и „S“ од малог до врло високог садржаја јона натријума (Табела 2: Оцена употребљивости воде за наводњавање по класификацији US Salinity laboratory (Вучић, 1976)).

Табела 2. Оцена употребљивости воде за наводњавање по класификацији US Salinity laboratory (Вучић, 1976)

Класа воде	Основна својства воде	Употребљивост воде
Опасност од заслањивања		
C1	Мало слана вода	Може се употребити за наводњавање већине биљака на већини земљишта, са незнатним изгледом да ће се проблем заслањивања развити. Извесна испирања су потребна али она се иначе спроводе под нормалним условима наводњавања, изузев код земљишта екстремно ниске водопропустљивости.
C2	Средње слана вода	Може се употребити за наводњавање ако постоје услови за испирање средњег интензитета. Биљке средње толерантности према солима могу се гајити у већини случајева без посебних мера за сузбијање заслањивања.
C3	Слана вода	Не може се користити на ограничено дренажним земљиштима. Чак и код довољне дренажности потребне су посебне мере за спречавање заслањивања а такође је потребан и избор биљака високе толерантности према солима.
C4	Врло слана вода	Није погодна за наводњавање под нормалним условима али се може употребити под специјалним околностима. Земљиште мора бити пропустљиво и добро дренажно, при заливању вода мора да се додаје у сувишку који ће обезбедити испирање а треба вршити и избор култура врло толерантних према солима.
Опасност од алкализације		
S1	Мали садржај Na	Може бити употребљена за наводњавање већине земљишта са малом опасношћу да ће се појавити штетни ниво адсорбованог Na. Међутим, биљке осетљиве према Na (нпр. коштичаво воће) могу акумулирати знатне количине.
S2	Средњи садржај Na	Представља приметну опасност од алкализације за земљишта која имају висок капацитет адсорпције, посебно у условима слабог испирања и одсуства гипса у земљишту. Вода може да се употреби у земљишту грубе текстуре или органоминералним земљиштима добре пропустљивости.
S3	Висок садржај Na	Може довести до штетног нивоа адсорбованог Na код већине земљишта и захтева специјалне мере – добру дренажу, испирање, додавање органских материја. Код земљишта која садрже гипс не може доћи до појаве штетног нивоа адсорбованог Na. Хемијска поправна средства могу се применити ради субституисања адсорбованог Na, изузев оних чија практична примена није могућа код врло слане воде.
S4	Врло висок садржај Na	Углавном је незадовољавајућа за сврхе наводњавања, изузев код сланих, а можда и средње сланих вода где растварање калцијумових соли из земљишта или примена гипса и других поправних средстава омогућавају употребу оваквих вода.

3.3 FAO КЛАСИФИКАЦИЈА

FAO класификација (Ayers & Westcot, 1985) разматра потенцијалне проблеме употребе воде за наводњавање и дефинише могуће потребе за рестрикцијом воде везане за:

- салинитет
- степен тј. брзину инфилтрације воде у земљиште
- специфичне токсичне јоне
- остале ефекте услед присуства NO_3^- , N, HCO_3^- или неповољне pH вредности.

Заслаћеност се разматра са становишта приступачности воде биљкама, као и са аспекта толеранције појединих култура на садржај соли (Табела 4. Толерантност неких биљака према салинитету земљишта (Ayers & Westcot, 1985)). При томе се анализира укупна концентрација соли у води у mg/l или се њен садржај изражава преко електропроводљивости (EC) у децисименсима по метру (dS/m).

Могући инфилтрациони проблеми анализирају се преко здруженог утицаја садржаја соли (преко вредности EC) и садржаја тј. Утицаја натријума (преко вредности SAR), јер је брзина инфилтрације воде у земљиште обрнуто пропорционална степену његове заслаћености и алкализације (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001).

Од токсичних јона разматрају се Na^+ , Cl^- , B^{+} тј. њихов утицај на принос осетљивих усева код којих чак и ниске вредности могу узроковати проблеме (углавном вишегодишњи засади). Утицај Na^+ , Cl^- , дефинисан је различитим граничним вредностима зависно од технике наводњавања.

Остали проблеми који се разматрају односе се на разне утицаје NO_3^- , N, HCO_3^- , одређене вредности pH итд. Упутство за процену квалитета воде за наводњавање приказано је у табели 3: Препоручене граничне вредности испитиваних параметара у води за наводњавање (Ayers & Westcot, 1985).

Употреба воде прве категорије, тј. воде „без ограничења за употребу“ , не представља уобичајен извор проблема за земљиште или биљке, и може се безбедно користити за наводњавање свих врста биљака на свим земљиштима.

Како би се постигли пуни ефекти, важно је изабрати одговарајуће биљке и може се безбедно користити за наводњавање свих врста биљака на свим земљиштима.

Како би се постигли пуни ефекти, важно је изабрати одговарајуће биљне врсте приликом коришћења воде „са ограничењима благог до умереног степена“, а такође је потребно да се повећа опрезност у управљању системом за наводњавање. Оваква вода може да се примењује на лаким, средње лаким и тешким земљиштима која имају добру природну дренажу са дубоким нивоом подземне воде. Код тежих земљишта нижих филтрационих способности, неопходна је вештачка дренажа. У аридним и семи-аридним подручјима неопходно је испирање соли из активне ризосфере земљишта (табела 5: Физичка, хемијска и биолошка својства воде код локализационог наводњавања (Ayers & Westcot, 1985)). Посебну пажњу потребно је посветити избору биљне врсте, јер се не могу наводњавати на соли осетљиве и средње осетљиве биљне врсте.

Табела 3. Препоручене граничне вредности испитиваних параметара у води за наводњавање (Ayers & Westcot, 1985)

Параметар	Симбор	Јединица	Пожељне вредности у води за наводњавање
САЛИНИТЕТ			
Укупан садржај соли			
Електропроводљивост	EC	dS/m	0 - 3
Суви остатак	S.O.	mg/l	0 - 2000
Катјони и анјони			
Калцијум	Ca ⁺⁺	meq/l	0 - 20
Магнезијум	Mg ⁺⁺	meq/l	0 - 5
Натријум	Na ⁺	meq/l	0 - 40
Карбонати	CO ₃ ⁻	meq/l	0 - 0,1
Бикарбонати	HCO ₃ ⁻	meq/l	0 - 10
Хлориди	Cl ⁻	meq/l	0 - 30
Сулфати	SO ₄ ⁻	meq/l	0 - 20
НУТРИЈЕНТИ			
Нитрат	NO ₃ -N	mg/l	0 - 10
Амонијум	NH ₄ -N	mg/l	0 - 5
Фосфат	PO ₄ - P	mg/l	0 - 2
Калијум	K ⁺	mg/l	0 - 2
ТОКСИЧНОСТ			
Бор	B	mg/l	0 - 2
Киселост	pH	1 - 14	6 - 8,5
Адсорбовани натријум	SAR	meq/l	0 - 15

Табела 4. Толерантност неких биљака према салинитету земљишта (Ayers & Westcot, 1985)

Толерантност	EC (mS/cm)	Биљка	Толерантност	EC (mS/cm)	Биљка
Велика	18	Жути звездан		10	Кромпир
	16	Шећерна репа		10	Мрква
	16	Сирак		10	Црни и бели лук
	16	Јечам		10	Грашак
	12	Цвекла		6	Сунцокрет
	12	Кељ	Мала	4	Пасуљ
	12	Спанаћ		4	Крушка
Средња	10	Раж		4	Јабука
	10	Пшеница		4	Шљива
	10	Овас		4	Кајсија
	10	Кукуруз		4	Бресква
	10	Винова лоза		4	Јагода
	10	Тиквице		4	Ротквица
	10	Парадајз		4	Целер
	10	Паприка		3	Боранија
	10	Купус		2	Сточни грашак

Табела 5. Физичка, хемијска и биолошка својства воде код локализационог наводњавања (Ayers & Westcot, 1985)

Физичка својства	Хемијска својства	Биолошка својства
Неорганске материје Песак Грашак Глина Органске материје Акватичне биљке (фитопланктон алге) Акватичне животиње (пужеви, зоопланктон) Бактерије Делови резане пласике Остаци мазива, уља	Земни алкали Тешки метали Катјони Калцијум Магнезијум Гвожђе Анјони Карбонати Хидроксиди Силкати Сулфиди Хранива Фосфати Амонијум Гвожђе Бакар Цинк Манган	Алге Бактерије Микробиолошке активности Гвожђе Сумпор Манган Ситни акватични организми Јаја пужева Ларве

Код примене FAO класификације нарочиту пажњу треба посветити токсичном деловању јона Na^+ и Cl^- код наводњавања кишењем. У том делу се препоручује наводњавање током ноћи пошто се на тај начин редукује или елиминише токсично дејство фолијарном адсорпцијом. Истраживања су показала да се таквим начином наводњавања токсично дејство (садржај Na^+ и Cl^- у биљној маси) своди на ниво површинског наводњавања тј. знатно мању вредност. Поред тога, топао и сув ветар је основни узрок повећања концентрације адсорпције и одлагања. Важну улогу има правилно подешавање распрскивача у ветровитом подручју. Подешавање брзине окретања распрскивача такође утиче на токсичан утицај. Неопходно је правилно одредити однос времена влажења и сушења између два пролаза распрскивача (Ayers & Westcot, 1985).

3.4 ДОПУНСКЕ ОЦЕНЕ КВАЛИТЕТА ВОДЕ

У новијим радовима електропроводљивост као показатељ укупне концентрације соли у води за наводњавање изражава се у децисименсима по метру dS/m, што је једнако mS/cm.

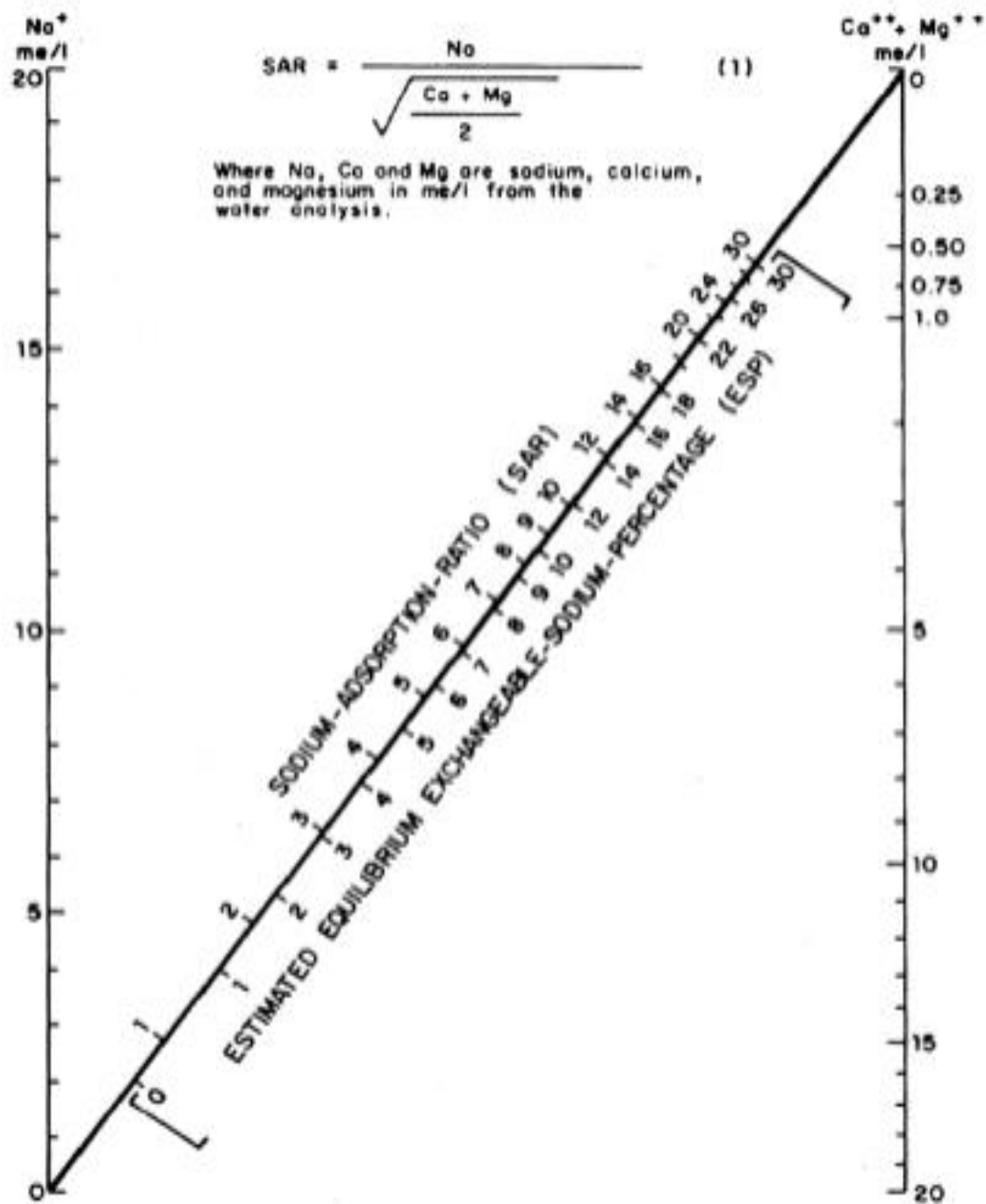
Када се одреди квантитативни садржај у води за наводњавање, онда треба одредити квалитативни садржај појединих јона, посебно за воде које су минерализоване у већем степену. Соли из воде за наводњавање у земљишту ступају у реакцију у облику јона. Најважнији катјони су: калцијум, магнезијум, натријум и калијум, а анјони: карбонати, бикарбонати, сулфиди, хлориди, нитрати.

Катјонске реакције у адсорптивном комплексу земљишта су опште познате. Ако преовлађује натријум над калцијумом и магнезијумом у води за наводњавање, опасност од алкализације је велика и обрнуто. У води у којој су доминантни калцијум и магнезијум опасност од алкализације је мала. Стога је неопходно утврдити апсолутни и релативни садржај појединих катјона. Потом се одређује коефицијент адсорпције натријума, вредност SAR, која се дефинише следећом једначином, при чему је садржај појединих катјона изражен у meq/l. Однос meq/l и $\mu\text{S/cm}$ је следећи: $\text{meq/l} = (\text{EC}_{25} - 10^6 / 100)$. Утврђивање вредности SAR је олакшано номограмом (слика 3: Номограм за одређивање вредности SAR воде за наводњавање (Richards, 1954)); (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001).

Најпоузданији показатељ опасности од присуства натријума у водама за наводњавање је вредност **SAR (Sodium Adsorption Ratio)**. Ова вредност је у инверзној вези брзине перколације воде у земљиште и њу је дефинисао Richard (1954) следећом формулом:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}}$$

Генерално, SAR вредност се дефинише кроз четири класе и то <10 као одлична, 10-18 као добра, 18-26 као употребљива и >26 неупотребљива вода за наводњавање. Механизам деловања Na^+ јона на земљиште испитују бројни аутори (Pfeifer et al. 1985, Prasad et al. 2001).



Слика 3. Номограм за одређивање вредности SAR воде за наводњавање (Richards, 1954)

Када је у питању деловање Na^+ добијену оцену употребљивости воде за наводњавање (Joshi et al. 2009) могуће је допунити испитивањем садржаја резидуалног Na_2CO_3 **RSC (Residual sodium carbonate)** користећи следећи образац за израчунавање (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001; Joshi et al., 2009):

$$\text{RSC} = (\text{HCO} + \text{CO}_3) - (\text{Ca} + \text{Mg})$$

Коришћењем овог обрасца врши се допунско утврђивање опасности од депоновања Na^+ јона у земљишта. За то се као оквирне, користе граничне вредности дате у табели 6: Граничне вредности резидуалног Na_2CO_3 (Joshi et al., 2009).

Табела 6. Граничне вредности резидуалног Na_2CO_3 (Joshi et al., 2009)

Оцена употребљивости воде	Вредност RSC
лоше воде	>2,5
на граници употребљивости	1,25-2,5
добре воде	<1,25

Одређивање релативног садржаја магнезијума (**MAR- Magnesium Adsorption Ratio**) се врши помоћу наведене формуле (Karunanidhi et al., 2021) :

$$\text{MAR} = \frac{\text{Mg}}{\text{Ca} + \text{Mg}} * 100\%$$

Вредност MAR указује на јонску стабилност земљишта и на потенцијалну опасност од алкализације у процесу коришћења воде за наводњавање која нема одговарајући састав (Karunanidhi i sar. 2021). Генерално, на основу MAR вредности вода за наводњавање се класификује у два типа, она која је погодна за наводњавање (вредност <50) и ону која није погодна за наводњавање (вредност >50), (Karunanidhi et al., 2021).

Индекс пермеабилности **PI (Permeability index)**, (Kirda, 1997)

$$PI = \frac{(Na+HCO_3)}{(Ca+Mg+Na)} * 100 (\%)$$

Вода је разврстана у 3 класе као што је приказано у табели 7: Граничне вредности индекса пермеабилности (Kirda 1997).

Табела 7. Граничне вредности индекса пермеабилности (Kirda 1997)

Оцена употребљивости воде	Вредност PI
Погодна	> 75
Добра	25-75
Непогодна	< 25

Келијев однос који се означава као **KR (Kelley's Ratio)** представља однос натријума према калцијуму и магнезијуму (Glover, 1996). Формула која се користи за израчунавање Келијевог односа је:

$$KR = \frac{Na}{Ca + Mg}$$

Вредности KR које су веће од 1 указују на повећан ниво натријума у води. Дакле, воде са KR мањим од један су погодне за наводњавање, док су оне са односом више од један неприкладне за наводњавање.

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА

Код оцене погодности воде за наводњавање према различитим класификацијама разматра се већи или мањи број релевантних параметара квалитета. Од физичких параметара за наведене класификације и допунске оцене неопходни су: електропроводљивост, температура, суспендоване материје, суви остатак, од хемијских параметара: рН вредност, укупне растворене соли, врста и концентрација анјона, катјона. У наставку графички су приказани катјони, анјони као и електропроводљивост за анализиране локалитете.

Концентрације и промене садржаја анализираних катјона (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^{+}) и анјона (HCO_3^{-} , Cl^{-} , SO_4^{--}) у води, на разматраним мерним станицама у посматраном периоду од 2013. до 2020. године приказан је на сликама од 4 до 10, на 4. слици: Садржај катјона и анјона у води реке Колубаре, мерна станица Мислођи и 5. слици:

Електропроводљивост у води реке Колубаре, мерна станица Мислођин су приказани параметри површинске воде, док су на сликама; 6. Садржај катјона на мерној станици Обреновац-Беопетрол; 7. Садржај анјона и електропроводљивост на мерној станици Обреновац-Беопетрол; 8. Садржај катјона, анјона и електропроводљивост на мерној станици Звиздар; 9. Садржај катјона, анјона и електропроводљивост на мерној станици Боговађа и слици 10. Садржај катјона, анјона и електропроводљивост на мерној станици Ваљево-ГМС.

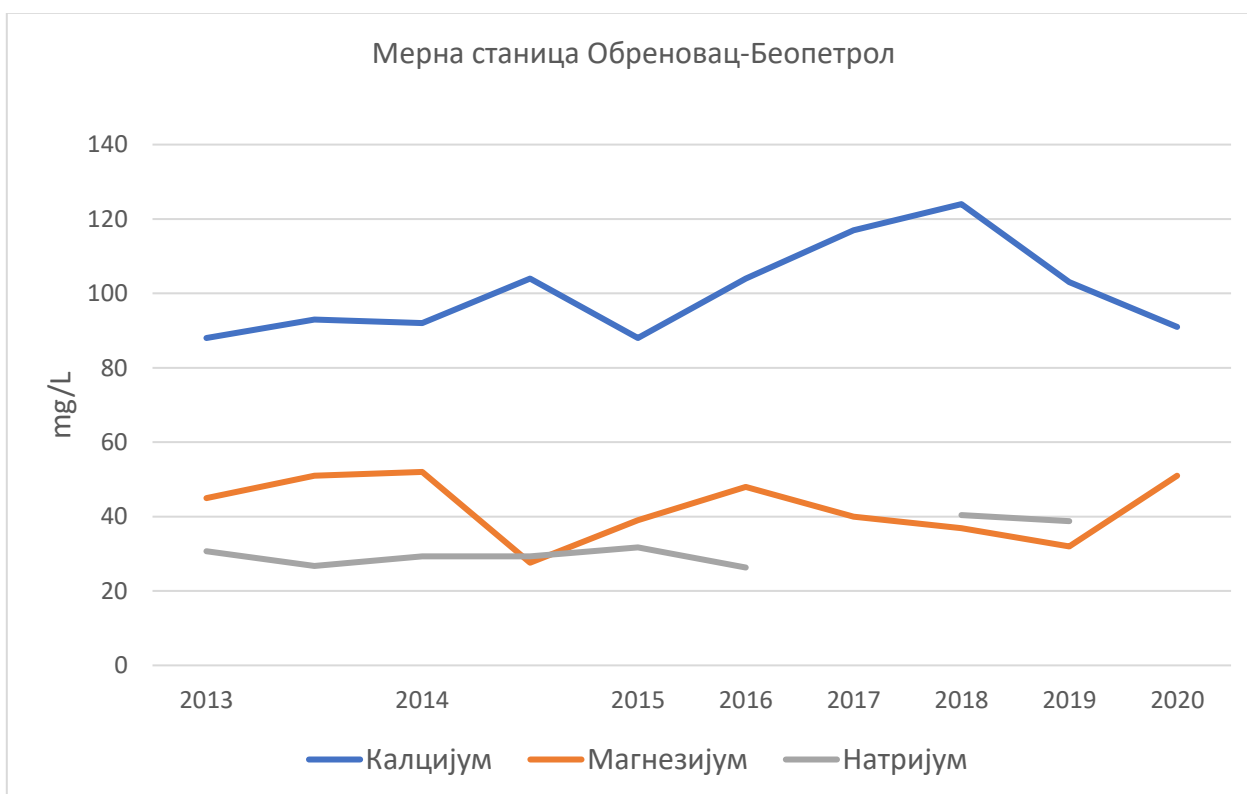
приказани параметри за подземне воде. Поред тога на овим сликама дате су и вредности електропроводљивости (EC dS/m) као показатељ укупне минерализације.



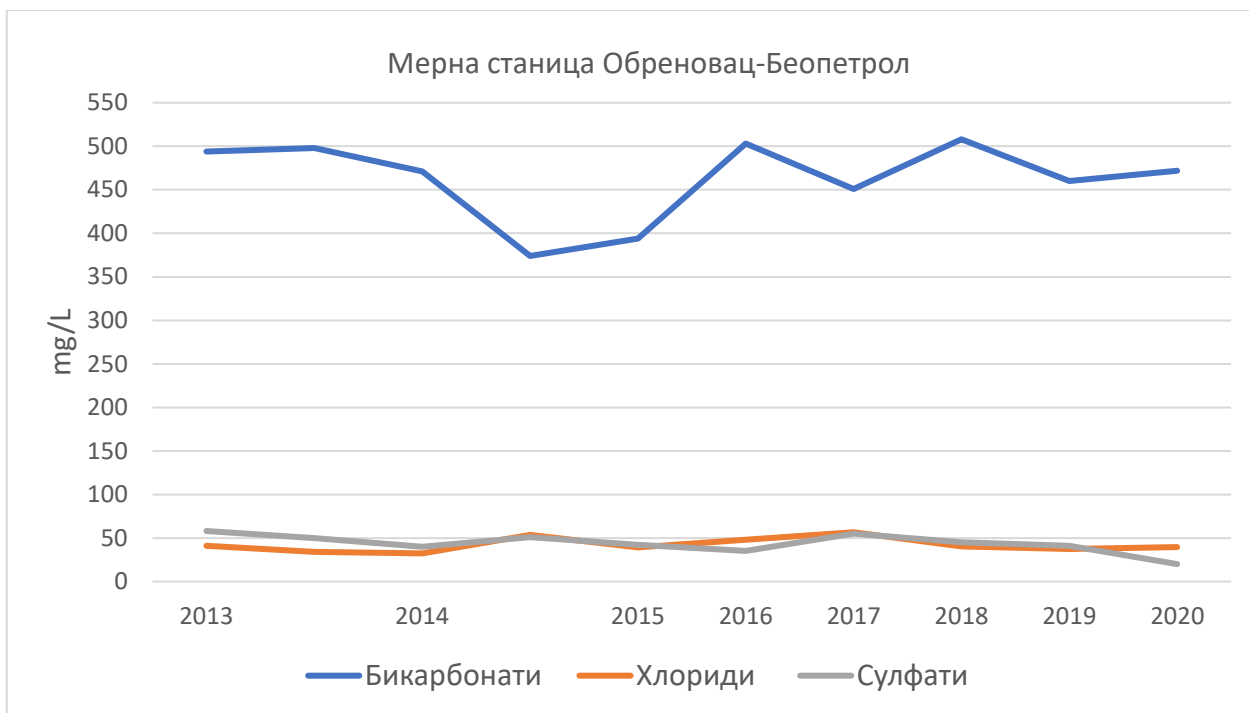
Слика 4. Садржај катјона и анјона на реци Колубари, мерна станица Мислођин



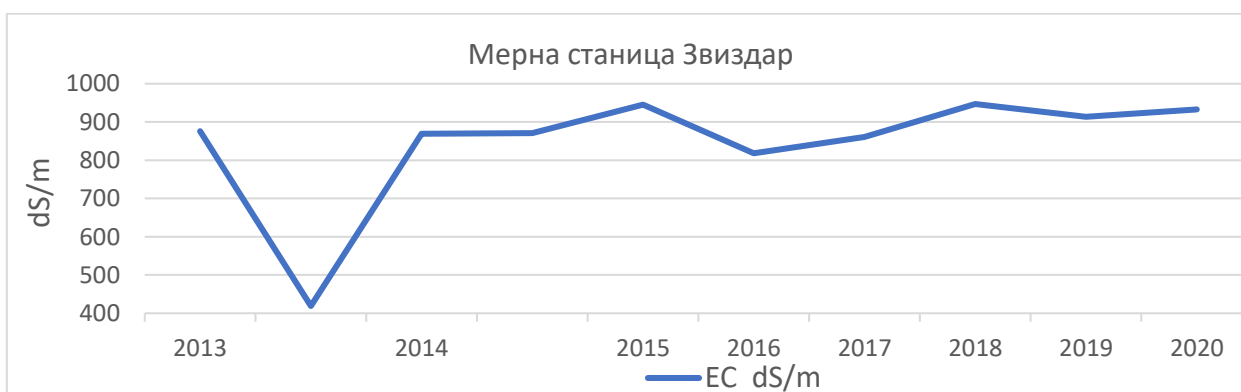
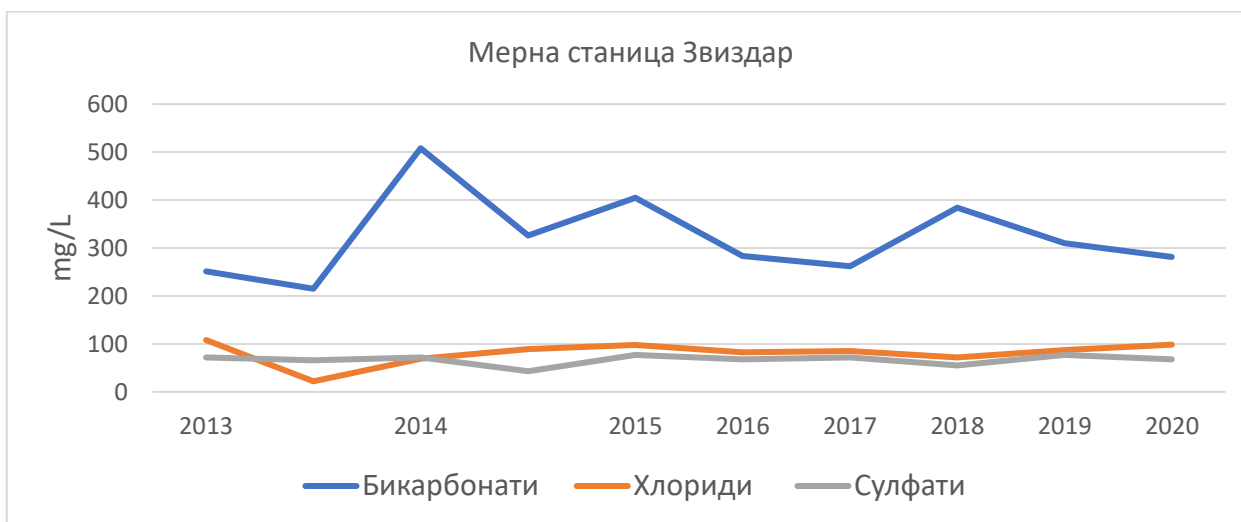
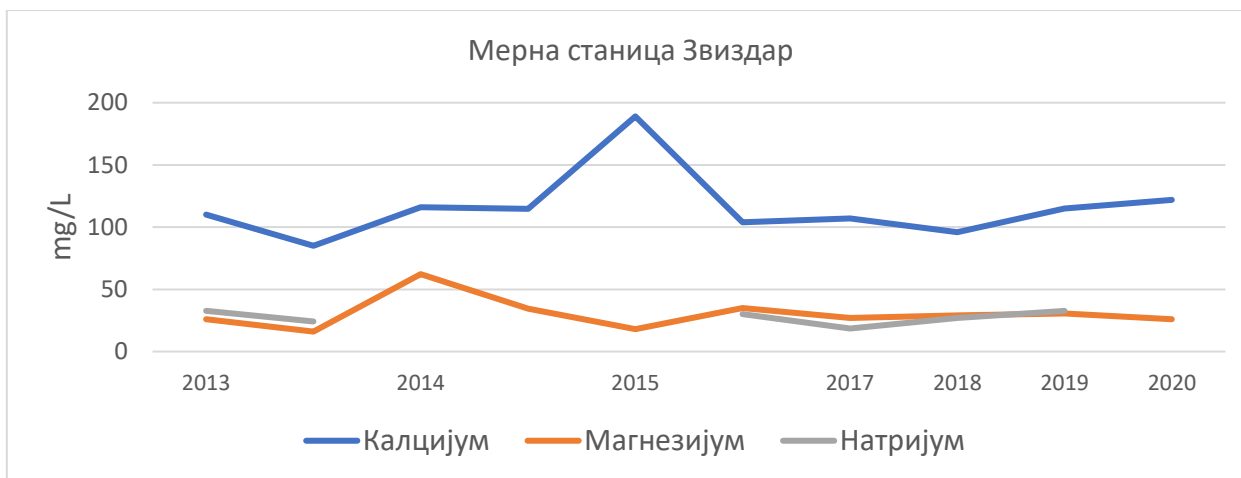
Слика 5. Електропроводљивост на реци Колубари, мерна станица Мислођин



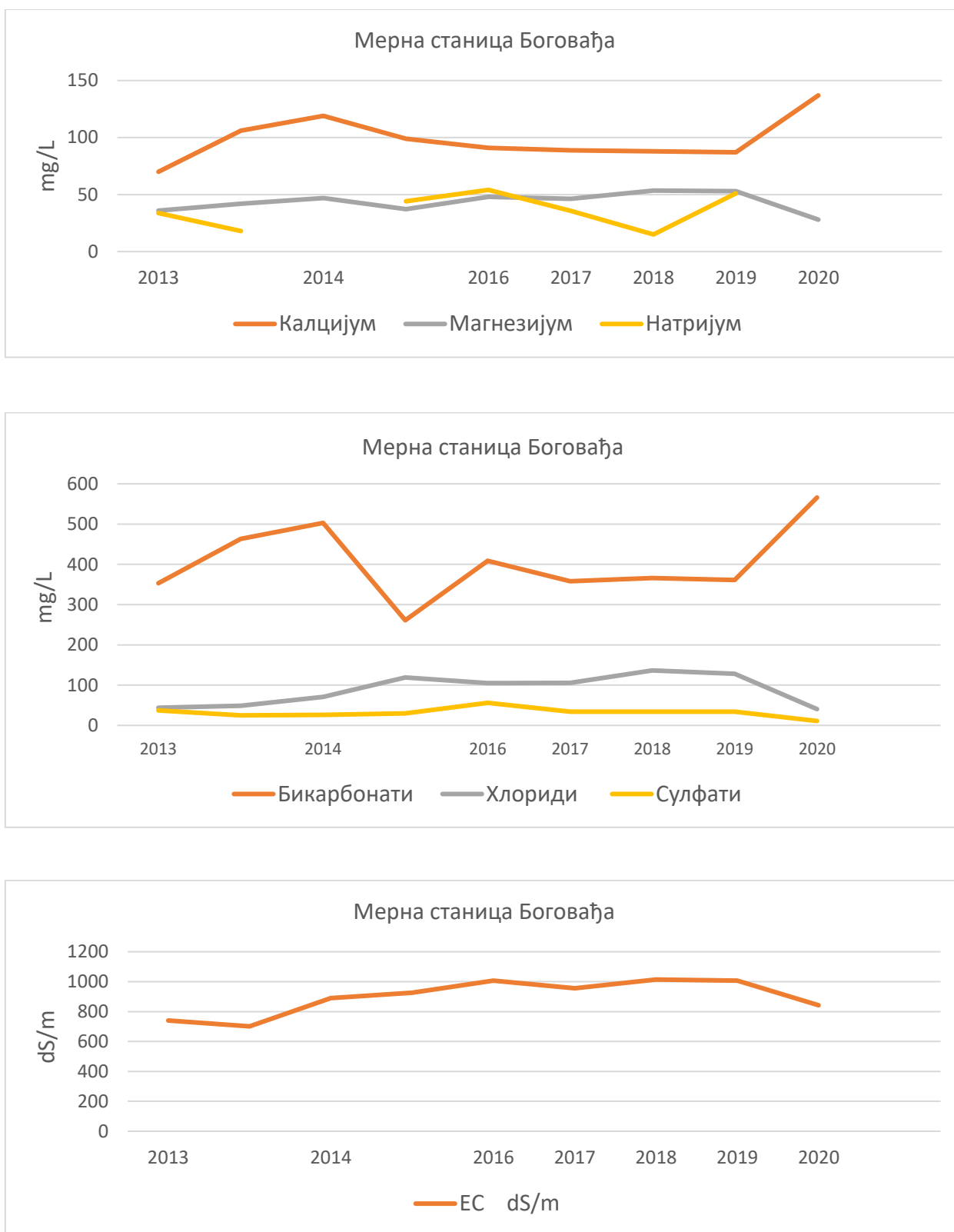
Слика 6. Садржај катјона на мерној станици Обреновац-Беопетрол



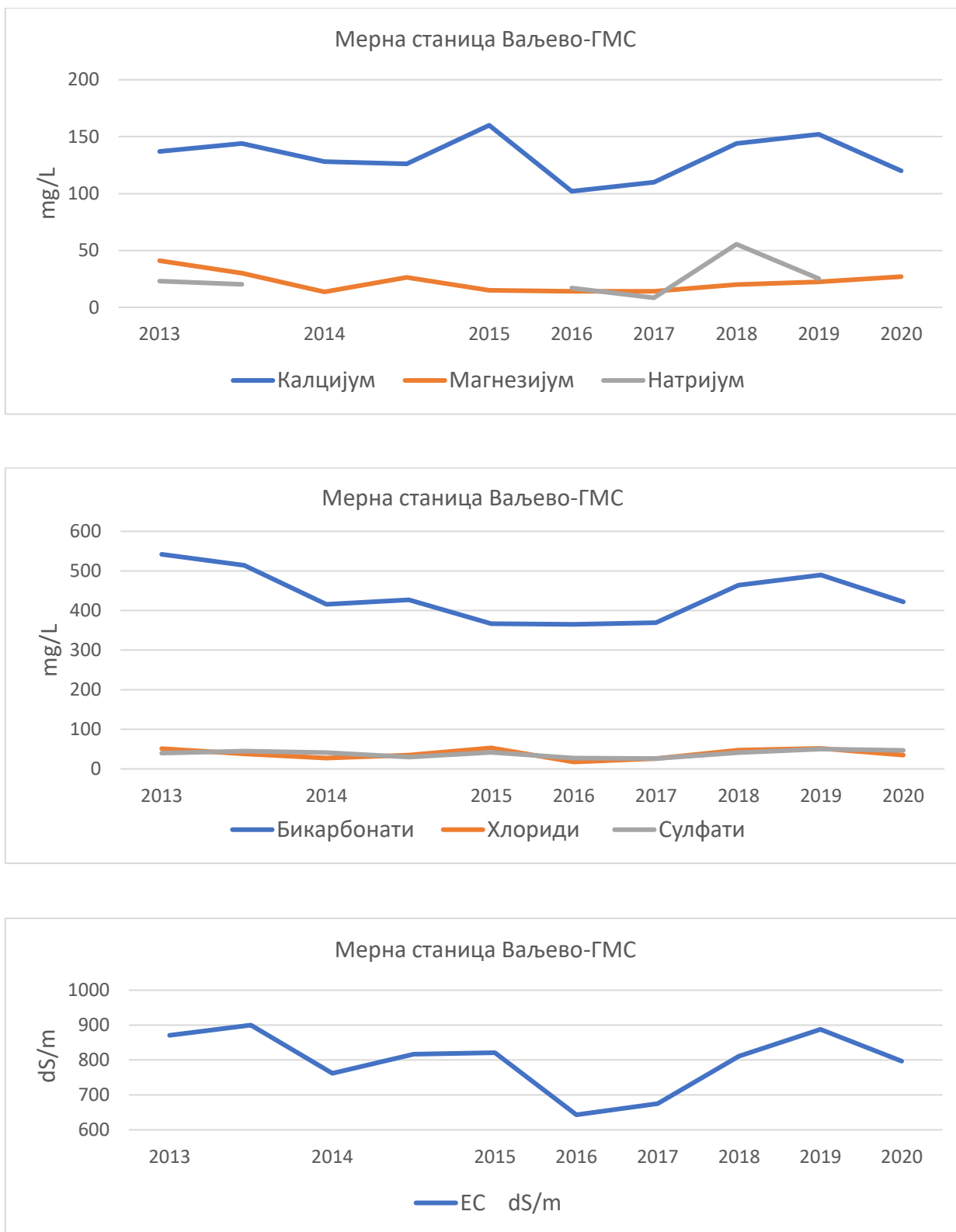
Слика 7. Садржај анјона и електропроводљивост на мерној станици Обреновац-Беопетрол



Слика 8. Садржај катјона, анјона и електропроводљивост на мерној станици Звиздар



Слика 9. Садржај катјона, ањона и електропроводљивост на мерној станици Боговађа

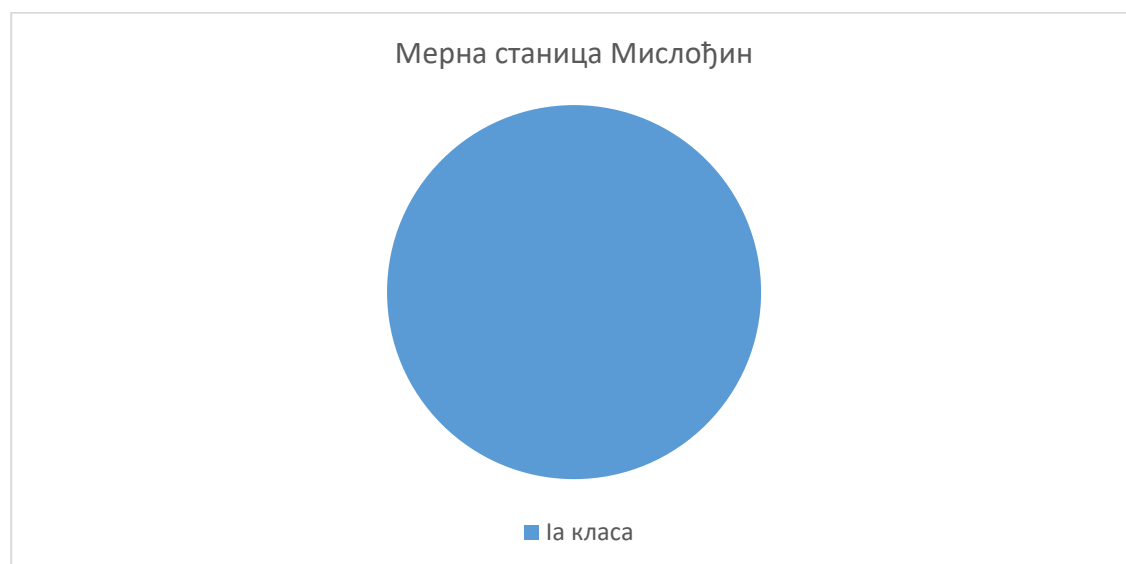


Слика 10. Садржај катјона, анјона и електропроводљивост на мерној станици Ваљево-ГМС

4.1 КЛАСИФИКАЦИЈА НЕЈГЕБАУЕРА

Заснована је на међусобно условљеним вредностима сувог остатка израженог у mg/l, са једне стране и односа суме концентрације калцијума и магнезијума према концентрацији натријума (и калијума), са друге стране. Према овој методи воде се сврставају у четири основне класе: од најбоље I (беспрекорне воде), преко II (добре воде), III (воде које треба испитати у датим условима), до најлошије IV класе (воде непогодне за наводњавање).

По Нејгебауеру анализирано је 56 узорака воде на мерној станици Мислођин који припадају првој класи воде, односно беспрекорној води када је у питању вода за наводњавање што је и приказано на слици 11: Графички приказ Нејгебауер класификације за површинску воду на мерној станици Мислођин.



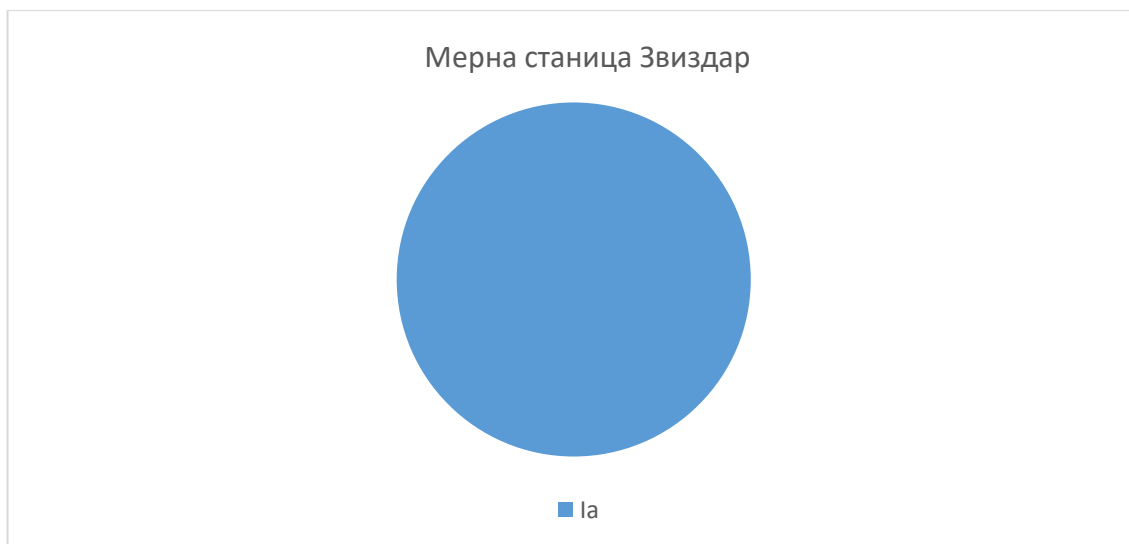
Слика 11. Графички приказ Нејгебауер класификације за површинску воду на мерној станици Мислођин

Анализирано је 8 узорака воде са мерне станице Обреновац-Беопетрол, припадају трећој класи воде у процентуалној заступљености са 75%, док је заступљеност прве и друге класе воде мања и износи свега 12.5 % што доводи до закључка да воду углавном треба испитати у датим условима пре њене употребе у сврху наводњавања. Вода је била беспрекорна (прва класа) само у другој половини 2014. и 2015. године (слика 12: Графички приказ Хејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Обреновац-Беопетрол).



Слика 12. Графички приказ Хејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Обреновац-Беопетрол

Узоркована вода за период 2013 - 2020. године на мерној станици Звиздар је беспрекорна за сврху наводњавања, алализирано је 7 узорака (слика 13: Графички приказ Хејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Звиздар).



Слика 13. Графички приказ Нејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Звиздар

На основу добијених резултата за одређени период закључујемо да је вода била беспрекорна у првој половини 2013. и 2014. као и 2017, док је у квалитет воде у другој половини 2013. године био упитан односно припадао је трећој класи воде, дакле воду је било потребно испитати у датим условима пре наводњавања што се понавља 2016. и 2019. године. Анализирано је 5 узорка воде (слика 14: Графички приказ Нејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Боговађа).



Слика 14. Графички приказ Нејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Боговађа

За период 2013-2020. године на мерној станици Ваљево анализирано је 7 узорака подземне воде. Квалитет воде је био беспрекоран, ако изузмемо 2019. годину када је воду било потребно претходно испитати у датим условима (слика 15: Резултати Нејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Ваљево-ГМС).



Слика 15. Резултати Нејгебауер класификације за подземну воду на мерној станици Ваљево-ГМС

4.2 КЛАСИФИКАЦИЈА US SALINITY LABOTATORY

Код оцене квалитета воде за наводњавање применом **класификације US Salinity Laboratory** разматра се (преко вредности EC и SAR) опасност од деградације земљишта изазване развојем процеса салинизације и алкализације. У зависности од вредности EC и SAR, самим тим на већу опасност од деградације земљишта и на лошији квалитет воде за наводњавање. У наставку текста биће графички приказане заступљености класа воде анализираних узорака (Слике 16-20); (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001) .

На мерној станици Мислођин анализирано је 48 узорака од 2013-2020. године, од чега је стопостотна заступљеност C2-S1 класе воде. Анализирана вода се може употребљавати за наводњавање ако постоје услови за испирање средњег интензитета. Биљке средње толерантности према солима могу се гајити у већини случајевима без посебних мера за сузбијање заслањивања. Мала је опасност да се појави штетни ниво адсорбованог натријума, међутим биљке осетљиве на натријум (нпр. коштичаво воће), могу да акумулирају знатне количине натријума (слика 16: Графички приказ заступљености класе површинске воде на мерној станици Мислођин).



Слика 16. Графички приказ заступљености класе површинске воде на мерној станици Мислођин

Анализирано је 8 узорака у периоду 2013-2020 године. На графику се види да је заступљеност класе воде C2-S1 мања са 12,5%, док је заступљеност C3-S1 класе далеко већа са 87,5%. и та слана вода се не може користити на ограничено дренираним земљиштима. Чак и код довољне дренираности земљишта потребне су посебне мере за спечавање заслањивања, а такође је потребан и избор биљака високе толерантности према солима. Мала је опасност од појаве штетне количине натријума, дакле може се употребљавати за наводњавање већине земљишта (слика 17: Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол).



Слика 17. Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол

Резултати анализираних узорака за дати период показују да је заступљеност C2-S1 класе воде 42,86% док је заступљеност C3-S1 класе 57,14%. Анализирано је 7 узорака за период 2013-2020 (слика 18: Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Звиздар).



Слика 18. Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Звиздар

Добијени резултати за мерне станице Боговађа и Ваљево-ГМС су индентични резултатима мерне станице Звиздар, дакле заступљеност C2-S1 класе воде је 42,86% а C3-S1 класе воде је 57,14%. Анализирано је 7 узорака за исти период (слике 19: Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Боговађа и 20: Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС).



Слика 19. Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Боговађа



Слика 20. Графички приказ заступљености класе подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС

4.3 ФАО КЛАСИФИКАЦИЈА

Изискује низ података неопходних за прецизније утврђивање класе воде. Анализирани подаци су: суви остатак, електропроводљивост, садржај натријума, хлора, калцијума, магнезијума, нитрата, бикарбоната, као и рН вредност.

Суви остатак у води представља соли које су присутне у једном литру воде. Најчешће соли које се јављају у сувом остатку су карбонати, бикарбонати, хлориди, сулфати, нитрати, магнезијум, калцијум, натријум, калијум.

Представља један од најважнијих параметара воде која се користи за наводњавање, јер услед повишеног садржаја растворених соли у води за наводњавање могу се изазвати негативне последице по наводњаване културе које нису толерантне на висок садржај соли, самим тим негативно утиче и на физичко-хемијска својства земљишта.

Анализом параметара доступних на сајту www.sepa.gov.rs добијамо резултате класификације приказане у табели 8: Сумарна табела ФАО класификације узоркованих водама.

Салинитет, односно утицај воде на приступачност воде наводњаваним биљкама одређује се на основу вредности ЕС и сувог остатка. Инфилтрациона својства дефинишу брзину упијања воде у земљиште, а дата су преко вредности SAR и ЕС. У групу токсичних јона уврштени су натријум, хлор и бор. На основу ових критеријума вода се сврстава у три класе погодности и употребљивости за наводњавање (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001):

- I без ограничења примене у сврху наводњавања
- II слабо до умерено ограничење
- III изразито ограничење

Код примене ФАО класификације пажњу треба посветити токсичном деловању јона Na^+ и Cl^- код наводњавања узгајаних култура применом методе кишења. У том случају се препоручује наводњавање ноћу, јер се на тај начин редукује или неутралише токсично дејство, односно своди се на ниво површинског наводњавања што је знатно мања вредност садржаја Na^+ и Cl^- у биљној маси. Поред тога топао и сув ветар је главни узрок повећања концентрације, адсорпције и одлагања (Агромедиа, 2023).

Важну улогу преузимају правилно подешени распрскивачи у ветровитим подручјима. Брзина окретања распрскивача приликом наводњавања такође може значајно допринети смањивању токсичног дејства на биљке. Један од кључних фактора је одредити однос времена влажења и сушења између два пролаза распрскивача (Ayers & Westcot, 1985).

Табела 8. Сумарна табела ФАО класификације узоркованих вода

Мерна станица	Број узо.	Заступљеност појединих класа по ФАО класификацији у %											
		Салинитет			Инфилтрација			Токсичност Na			Токсичност Cl		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Мислођин	93	40,86	29,03	11,83	62,4	/	/	100	/	/	100	/	/
Обреновац-Беопетрол	10	/	100	/	/	/	80	/	80	/	100	/	/
Звиздар	10	10	90	/	/	/	70	10	60	/	90	10	/
Боговађа	9	/	100	/	/	/	77,78	22,22	55,56	/	44,44	55,56	/
Ваљево-ГМС	10	40	60	/	/	/	70	50	20	/	100	/	/

4.4 ДОПУНСКЕ ОЦЕНЕ КВАЛИТЕТА

4.4.1 Sodium Adsorption Ratio (SAR)

С обзиром да се SAR вредност дефинише кроз четири класе и то <10 као одлична, 10-18 као добра, 18-26 као употребљива и >26 неупотребљива вода за наводњавање.

Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности су приказани у табелама 9: Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане повшинске воде на мерној станици Мислођин; 10: Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол; 11: Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Звиздар; 12: Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Боговађа и 13: Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС.

На основу спроведене класификације достављених узорака воде са мерне станице површинске воде Мислођин и мерних станица подземне воде: Обреновац-Беопетрол, Звиздар, Боговађа и Ваљево-ГМС можемо закључити да је вода стопостотно одличног квалитета за период 2013-2020 године када је у питању примена у сврху наводњавања.

Табела 9. Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане повшинске воде на мерној станици Мислођин

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	53		
2013-2020	53	100%	Одлична

Табела 10. Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	8		
2013-2020	8	100%	Одлична

Табела 11. Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Звиздар

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	Одлична

Табела 12. Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Боговађа

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-020	7	100%	Одлична

Табела 13. Процентуална заступљеност класа воде на основу SAR вредности узорковане подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	Одлична

4.4.2 Rasidual sodium carbonate (RSC)

Ефекат садржаја резидуалног Na_2CO_3 (RSC) на својства земљишта је опаснији од истог нивоа укупног алкалност. Штетни ефекат високог RSC додатно се погоршава са повећањем SAR-а (релативног садржаја натријума) исте воде (Pfeifer et al., 1985; Prasad et al., 2001), (Joshi et al., 2009).

Граничне вредности употребљивости воде за наводњавање:

Лоше воде >2,5

На граници употребљивости 1,25-2,5

Добре воде <1,25

На основу резултата спроведене студије квалитета воде на локацији Мислођин (површинска вода), Обреновац, Звиздар, Боговађа и Ваљево (подземна вода) закључено је да је вода стопостотно доброг квалитета за период узорковања 2013-2020. године и да не постоји опасност од нежељених ефеката по наводњавање усева и механизацију за наводњавање (табеле 14: Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане површинске воде на мерној станици Мислођин; 15: Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол; 16: Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Звиздар; 17: Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Боговађа; 18: Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС).

Табела 14. Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане површинске воде на мерној станици Мислођин

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	93		
2013-2020	93	100%	добре воде

Табела 15. Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	10		
2013-2020	10	100%	добре воде

Табела 16. Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Звиздар

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	10		
2013-2020	10	100%	добре воде

Табела 17. Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Боговађа

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	9		
2013-2020	9	100%	добре воде

Табела 18. Процентуална заступљеност класа воде на основу RSC узорковане подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	10		
2013-2020	10	100%	добре воде

4.4.3 Magnesium Adsorption Ratio (MAR)

Процена опасности од алкализације се врши на основу релативног садржаја магнезијума према чему је извршена подела воде у две групе: она која је **погодна за наводњавање** (вредност <50) и ону која **није погодна за наводњавање** (вредност >50).

Из спроведене анализе узорака за период 2013-2020 године, на основу правила о класификацији опасност од алкализације појављује се два пута опасност од алкализације и то на мерној станици Боговађа 2018. и 2019. године са вредностима 50,33 и 50,38 (табела 22: Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Боговађа), што представља процентуалну заступљеност од 22,22% остали узорци (77,78%) на анализираним мерним станицама су припадали првој групи, односно били су погодни за сврху наводњавања без опасности од алкализације (табеле 19: Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Мислођин; 20: Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Обреновац-Беопетрол; 21: Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Звиздар;

22: Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Боговађа и 23: Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Ваљево-ГМС.

Табела 19. Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Мислођин

Период узорковања	Укупан број узорака 93	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
2013-2020	93	100%	вода погодна за наводњавање

Табела 20. Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Обреновац-
Беопетрол

Период узорковања	Укупан број узорака 10	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
2013-2020	10	100%	вода погодна за наводњавање

Табела 21. Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Звиздар

Период узорковања	Укупан број узорака 10	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
2013-2020	10	100%	вода погодна за наводњавање

Табела 22. Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Боговађа

Период узорковања	Укупан број узорака 9	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
2013-2017 и 2020.	7	77,78%	вода погодна за наводњавање
2018. и 2019.	2	22,22%	вода непогодна за наводњавање

Табела 23. Погодност воде за наводњавање према MAR вредности на мерној станици Ваљево-ГМС

Период узорковања	Укупан број узорака 10	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
2013-2020	10	100%	вода погодна за наводњавање

4.4.4. Permeability index (PI)

Класификација према индексу пермеабилности биће извршена на основу следећих граничних вредности:

вода погодна за наводњавање >75

вода добра за наводњавање 25-75

вода непогодна за наводњавање >25

На основу спроведене анализе базиране на узорцима воде за период од 2013. године до 2020. године на мерној станици површинске воде Мислођин и мерним станицама подземне воде: Обреновац-Беоперол, Звизвар, Боговађа и Ваљево-ГМС индекс пермеабилности потврђује да је стопостотна заступљеност воде доброг квалитета у сврху наводњавања што је и приказано у табелама 24: Процентуална заступљеност класа воде на основу PI узорковане површинске воде на мерној станици Мислођи; 25: Процентуална заступљеност класа воде на основу PI узорковане подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол; 26: Процентуална заступљеност класа воде на основу PI узорковане подземне воде на мерној станици Звиздар; 27: Процентуална заступљеност класа воде на основу PI узорковане подземне воде на мерној станици Боговађа и 28: Процентуална заступљеност класа воде на основу PI узорковане подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС

Табела 24. Процентуална заступљеност класа воде на основу РІ узорковане повшинске воде на мерној станици Мислођин

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	69		
2013-2020	69	100%	добра

Табела 25. Процентуална заступљеност класа воде на основу РІ узорковане подземне воде на мерној станици Обреновац-Беопетрол

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	8		
2013-2020	8	100%	добра

Табела 26. Процентуална заступљеност класа воде на основу РІ узорковане подземне воде на мерној станици Звиздар

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	добра

Табела 27. Процентуална заступљеност класа воде на основу РІ узорковане подземне воде на мерној станици Боговађа

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	добра

Табела 28. Процентуална заступљеност класа воде на основу РІ узорковане подземне воде на мерној станици Ваљево-ГМС

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	добра

4.4.5. Kelley's Ratio (KR)

Келијев однос је однос натријума према калцијуму и магнезијуму, погодност воде за наводњавање се одређује према KR вредности, дакле ако је $KR < 1$ вода је погодна за наводњавање, док она са $KR > 1$ није погодна за наводњавање (Glover, 1996).

Из добијених резултата анализираних узорака за период од 2013. године до 2020. године на мерној станици површинске воде Мислођин (табела 29: Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Мислођин) и мерним станицама подземне воде: Обреновац-Беопетрол, Звиздар, Боговађа и Ваљево-ГМС (табеле 30: Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Обреновац-Беопетрол; 31. Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Звиздар; 32. Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Боговађа и 33: Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Ваљево-ГМС) закључено је да је вода стопостотно погодна за наводњавање, без негативних последица на земљиште, наводњаване културе и механизацију.

Табела 29. Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Мислођин

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	57		
2013-2020	57	100%	вода је погодна за наводњавање

Табела 30. Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Обреновац-Беопетрол

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	8		
2013-2020	8	100%	вода је погодна за наводњавање

Табела 31. Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Звиздар

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	вода је погодна за наводњавање

Табела 32. Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Боговађа

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	вода је погодна за наводњавање

Табела 33. Погодност воде за наводњавање према KR на мерној станици Ваљево-ГМС

Период узорковања	Укупан број узорака	Процентуална заступљеност класе	Класа воде
	7		
2013-2020	7	100%	вода је погодна за наводњавање

6. ЗАКЉУЧАК

Квалитет воде којом се врши наводњавање је неопходно пратити како би се спречиле или умањиле негативне последице како на приносе и земљиште тако и на коришћену опрему.

Анализом узорака површинске воде на мерној станици Мислођин закључујемо да сваки од анализираних узорака за период 2013-2020. припада Ia (беспрекорна вода, у сврху наводњавања) класи воде на основу Нејгебауер класификације, док се резултати помоћу класификације Америчке лабораторије разликују.

Наиме вода припада C2-S1 класи воде и може се употребљавати за наводњавање ако постоје услови за испирање средњег интензитета. На основу FAO класификације резултати показују да постоји умерена опасност од заслањивања и то у 29,03% анализираних узорака вод, док је код 11,83% повећана опасност од салинизације земљишта. Помоћу допунске оцене SAR (релативни садржај натријума) вода се рангира као одлична у сврху наводњавања, јер ни један узорак није прелазио вредност 10 која је гранична за поменућу класу. Уз допунску оцену RSC (резидуални натријум карбонат) може се закључити да је вода доброг квалитета, јер су све добијене вредности анализираних узорака биле $<1,25$.

Допунска оцена MAR (релативни садржај магнезијума) указује да је вода погодна за наводњавање, јер није прелазила вредност од 50%. Коришћењем PI (индекс пермеабилности) добијамо вредности које се крећу у интервалу од 25 до 75, што одговара критеријумима за „добру воду“. Допунском оценом KR (однос натријума према калцијуму и магнезијуму) резултати указују да су вредности <1 , дакле вода је погодна за наводњавање.

Анализирани узорци подземне воде у периоду 2013-2020. на мерној станици Обреновац на основу Нејгебауер класификације припадају IIIa (воде које треба испитати пре употребе) класи воде и то 75% анализираних узорака, 12.5% припада Ia (беспрекорне воде) класи и 12.5% Ib (беспрекорне воде). Када је у питању класификација Америчке лабораторије резултати показују да 12,5% припада C2-S1, док 87.5% припада C3-S1 класи воде и та слана вода се не може користити на ограничено дренажним земљиштима.

FAO класификацијом установљено је да је умерена опасност од салинизације присутна код свих анализираних узорака за наведени период. Повећана опасност за смањење инфилтрације воде у земљиште се јавља код 80% анализираних узорака, док се умерена опасност од токсичног деловања Na на гајене културе јавља код 80% анализираних узорака.

Допунска оцена SAR указује на то да је вода одличног квалитета, дакле SAR вредности су <10 . Резидуални натријум карбонат (RSC) се креће у границама вредности $<1,25$ што одговара води доброг квалитета. Релативни садржај магнезијума (MAR) је повољан, не прелази вредност од 50%, дакле вода је погодна за наводњавања.

Индекс пермеабилности (PI) потврђује да је вода добра за наводњавање, као и на основу односа натријума према калцијуму и магнезијуму (KR) где је исто закључено.

На основу спроведених анализа за узорке подземне воде на мерној станици Звиздар у периоду од 2013-2020. године коришћењем Нејгебауер класификације резултати указују да је вода у континуитету припадала Ia (беспрекорна вода, у сврху наводњавања) класи. Класификацијом Америчке лабораторије установљено је да 42,86% припада C2-S1 класи, а 57,14% C3-S1 класи воде.

На основу спроведене FAO класификације 90% узорака воде представља опасност од умерене салинизације, 70% повећана опасност за смањење инфилтрације, умерена опасност од токсичног деловања Na јавила се код 60% узорака, док је умерена опасност од токсичног деловања Cl присутна код 10% анализираних узорака.

Допунске оцене SAR, RSC, MAR, PI и KR доводе до индентичних резултата као и за прва два локалитета.

Након спроведених анализа подземне воде на мерној станици Боговађа у периоду од 2013-2020. године помоћу класификације по Нејгебауеру добијене вредности указују да је вода припадала Ia класи са уделом од 16,67% , Ib класи са 33,33% , IIIa класи са 16,67% и IIIb (воде које треба испитати пре употребе) класи са уделом од 33,33%. На основу класификације Америчке лабораторије добијени су индентични резултати као и за мерну станицу Звиздар.

FAO класификација нам указује на умерену опасност од салинизације земљишта код свих анализираних узорака воде, повећану опасност од смањења инфилтрације воде у земљиште код 77,78% анализираних узорака, умерена опасност од токсичног деловања Na јавила се код 55,56% узорака, док је умерена опасност од токсичног деловања Cl присутна код 55,56% анализираних узорака. Допунским оценама квалитета воде закључујемо следеће: SAR вода се рангира као одлична (вредности добијене прорачуном, не прелазе вредност 10), RSC (добијене вредности су $<1,25$) и PI (вредности се крећу у интервалу 25-75) добре воде, MAR 2018. и 2019. вода није била погодна за наводњавање, јер је релативни садржај магнезијума прелазео 50 %, док је 2013-2017. и 2020. била погодна за наводњавање.

Допунском оценом КР закључујемо да је вода погодна за наводњавање. Анализом подземне воде на мерној станици Ваљево за период 2013-2020. класификацијом по Нејгебауеру установљено је да је вода углавном припадала Ia класи воде, осим 2019. године када је сврстана у IIIa класу воде. Уз помоћ класификације Америчке лабораторије долази се до индентичних резултата као и за мерне станице Звиздар и Боговађа.

FAO класификацијом се може закључити да је присутна умерена опасност од заслањивања земљишта од 60%, због садржаја соли у води којом се наводњава, а повећана је и опасност од смањења инфилтрације од 70%, као и умерена опасност од токсичног деловања Na од 20%, јер се исти додаје приликом наводњавања таквом водом. Допунским оценама добијени су индентични резултати као и за мерне станице Мислођин, Обреновац и Звиздар, дакле на основу SAR вредности може се установити да је вода одлична за наводњавање, на основу резултата RSC вода се рангира као добра вода. Релативни садржај магнезијума не прелази 50% што значи да је вода погодна за наводњавање. На основу индекса пермабилности може се закључити да је вода доброг квалитета. Однос натријума према калцијуму и магнезијуму је био у границама за воду повољну за наводњавање.

Нису сва земљишта погодна за наводњавање, због тога пре доношења одлуке о градњи система и куповини опреме за наводњавање треба прикупити одређене информације о квалитету односно о својствима земљишта. У неповољним климатским условима неопходна је примена система наводњавања и одводњавања за успешне производне резултате. У случају неопрезног наводњавања може доћи до нежељених последица као што су: превлаживање површинског слоја, заслањивање и алкализација, нарочито ако је повремено висок ниво подземне воде, а уз то је и минерализована.

Анализирана површинска вода у периоду од 2013. до 2020. године на мерној станици Мислођин задовољавала је критеријуме за наводњавање, док подземна вода на мерним станицама Обреновац-Беопетрол, Звиздар, Боговађа и Ваљево-ГМС није задовољавала критеријуме за наводњавање у истом периоду анализирања, услед учестале промене у квалитету воде за наводњавање.

7. ЛИТЕРАТУРА

1. Ayers R. S., Westcot D. W. (1976, 1985) *Water quality for agriculture, Irrigation and drainage paper 29*, FAO. Rome.
2. Bauder T.T. & Waskom R.M., Davis J.G. (2007) *Irrigation Water Criteria*, 1-3, Colorado State University, USA.
3. Белић, С., Шкорић, М., Белић, А., Савић, Р., Бугарски, Р., Драговић, С., ... & Максимовић, Л. (1996). *Употребљивост вода Војводине за наводњавање*. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет. *Abstract in english: Monograph: Suitability of Waters for Irrigation in Vojvodina*.
4. Белић, С., Шкорић, М. (1991). *Наводњавање малих поседа*. Generalpublic Beograd
5. Белић С., Савић, Р., & Белић, А. (2003). *Употребљивост вода за наводњавање*. Водопривреда, 35, 37-49.
6. Белић, С., Савић, Р., & Белић, А. (2005) *Irrigation water quality needs*. Зборник радова Грађевинског факултета, Суботица, (14), 47-52.
7. Белић, С., Савић, Р., & Белић, А. (2007). *Употребљивост воде за наводњавање као основа одрживог коришћења природних ресурса*. У монографији Одрживе мелиорације (уредник С. Белић), 146-162.
8. Белић, С., Савић, Р., & Белић, А. (2003). *Употребљивост вода за наводњавање*. Водопривреда, 35, 37-49.
9. Белић, С., Белић, А., Максимовић, И., Савић, Р., Нешић, Љ., Вранешевић, М. (2011). *Употребљивост воде за наводњавање*. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет.
10. Бошњак, Ђ., (1999). *Наводњавање пољопривредних усева*. Универзитет у Новом Саду, Пољопривредни факултет.
11. Благојевић, Б., Срђевић, З., & Срђевић, Б. *Критеријуми и подкритеријуми за оцену погодности локалитета за наводњавање*
12. Van de Graaff R., Patterson R.A. (2001). *Explaining the Mysteries of Salinity, Sodicty, SAR and ESP in On-site Practice*, Conference Advancing On-site Wastewater Systems, Australia.

13. Вранешевић, М., Илић, М., & Бездан, А. (2018). *Оцена квалитета воде реке Бегеј за потребе наводњавања*. Српско друштво за заштиту вода, 189.
14. Вранешевић, М., Бездан, А., Благојевић, Б., Савић, Р., Земунац, Р., Шекуларац, Г., & Аксић, М. (2023). *Assessment of groundwater quality for irrigation in northern Vojvodina*. XXVIII саветовање о биотехнологији са међународним учешћем.
15. Вранешевић, М., Бездан, А., Благојевић, Б., Шекуларац, Г., Савић, Р., & Аксић, М. (2022). *Хидрохемијска оцена квалитета воде за наводњавање у Банату*.
16. Vranešević, M., Zemunac R., Grabić J., & Salvai A. (2024). *Hydrochemical Characteristics and Suitability Assessment of Groundwater Quality for Irrigation. Applied Sciences*, 14 (2), 615. *quality on the territory of Kikinda municipality (Vojvodina, Serbia)*. Environmental Earth Sciences, 72, 525-534.
17. Водопривредна основа Србије, Институт за водопривреду „Јарослав Черни“ 2001, Београд
18. Вучић Н. (1976) *Наводњавање пољопривредних култура*, Пољопривредни факултет Нови Сад
19. Glover C.R. (1996). *Irrigation Water Classification Systems*, Guide A-116, Las Cruces, NM 5C, 2.
20. Закон о водама. Службени гласник РС., 30/2010, 93/2012
https://www.paragraf.rs/propisi/zakon_o_vodama.html 22.10.2024.
21. Ilić, M., Vranešević, M., Bezdan, A., & Blagojević B. (2019). *Classification of Water Quality of Banat Watercourses in Serbia for the Needs of Irrigation. Journal of Environmental Geography*, 12(1-2), 51-57.
22. Joshi M. D., Kumar A., Agrawal N. (2009) *Assessment of the Irrigation Water Quality of River Gang in Haridwar District*, Rasajan Journal 2, 285-292, India.
23. Karunanidhi D., Aravinthasamy P., Subramani T., Raj Setia (2021). *Groundwater suitability estimation for sustainable drinking water supply and food production in a semi-urban area of south India: a special focus on risk evaluation for making healthy society*. Sustain. Cities Soc. 73.
24. Kirda, C. (1997). *Assessment of irrigation water quality*. Options Mediterraneennes. Serie A: Seminaires Mediterraneens (CIHEAM), (31).

25. Миљковић, Н., Рујевић, Д., & Божић, М. (1994). *Погодност земљишта и квалитета вода у условима наводњавања у Србији и актуелни пратећи проблеми*. Наводњавање и одводњавање у Србији, 27-33.
26. Meireles, A. C. M., Andrade, E. M. D., Chaves, L. C. G., Frischkorn, H., & Crisostomo, L. A. (2010). *A new proposal of the classification of irrigation water*. *Revista Ciência Agronômica*,
27. Marić, N., Mrazovac Kurilić, S., Matić, I., Sorajić, S., & Zarić, J. (2014). Groundwater quality on the territory of Kikinda municipality (Vojvodina, Serbia). *Environmental Earth Sciences*, 72, 525-534.
28. Ненадовић Н. (2023): *Квалитет воде реке Дрине и њених десних притока са аспекта наводњавања* (Мастер рад). Универзитет у Новом Саду Пољопривредни факултет
29. Нешић, Л. (2003). *Квалитет воде за наводњавање и салинитет земљишта у интензивној повртарској производњи*.
30. Prasad A., Kumar D., Singh D.V. (2001) *Effect pf Residual Sodium Carbonate in Irrigation Water on the Soil Sodification and Yield Palmarosa and Lemongrass*, *Agricultural Water Management* 50, 161-172.
31. Prasad A., Kumar D., Singh D.V. (2001) *Effect pf Residual Sodium Carbonate in Irrigation Water on the Soil Sodification and Yield Palmarosa and Lemongrass*, *Agricultural Water Management* 50, 161-172.
32. Pfeifer J., Balazsi C., Kiss B.A., Pecz A., Toth L. (1999) *The Influence of Residual Sodium on the Formation and Reductive Decomposition of Hexagonal Tungsten Oxide.*, *Journal of Materials Science Letters* 18, 1103-1105.
33. Richard L. A. (1954) *Diagnosis and Improvement of Saline and Alkali Soils*. U. S. Department of Agriculture Handbook, 60, p. 160.
34. Robinson C.W. (1984) *Sodium Adsorption Ratio-Exchangeable Sodium Percentage Relationships in a High Potasium Saline-Sodic Soil*, *Irrigation Science* /1984) 5, 173-179.
35. Seilsepour M., Rashidi M., Khabaz B.G. (2009) *Prediction of Soil Exchangeable Sodium Percentage Based on Soil Sodium Adsorption Ratio*, *American-Euroasian J. Agric&Environ.Sci* 5, 1-4.

36. Слуњски, Л. (2018). *Методологија узорковања површинских и подземних вода* (Завршни рад). Вараждин: Свеучилиште у Загребу, Геотехнички факултет. Преузето са <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:470371> 22.08.2024.
37. Србија, Р. (1994). *Правилник о дозвољеним количинама опасних и штетних материја у земљишту и води за наводњавање и методама њиховог испитивања*. Службени гласник Републике Србије, (23).
38. Резултати испитивања квалитета површинских и подземних вода. Министарство пољопривреде и заштите животне средине. Агенција за заштиту животне средине, Београд <http://www.sepa.gov.rs/index.php?menu=5000&id=1304&akcija=showDocuments&ema=Vode> 23.08.2024.
39. Стојаковић, Д. (2020). *Наводњавање пољопривредног земљишта* (Doctoral dissertation, Josip Juraj Strossmayer University of Osijek. Faculty of Civil Engineering and Architecture Osijek. Department for Hydrotechnics and Ecology).
40. Yıldız, S., & Karakuş, C. B. (2020). *Estimation of irrigation water quality index with development of an optimum model: a case study*. Environment, Development and Sustainability, 22, 4771-4786.
- Интернет извори:
41. Agromedia. (2023). Улога и значај наводњавања. Агромедиа. Преузето са <https://www.agromedia.rs/agro-teme/mehanizacija/uloga-i-znacaj-navodnjavanja/> 26. 09. 2024.
42. Википедија. (2023). Обреновац. Википедија. Преузето са <https://sr.wikipedia.org/src/%D0%9E%D0%B1%D1%80%D0%B5%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%86> 08. 10. 2024.
43. Википедија. (2023). Колубара. Википедија. Преузето са <https://sr.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%80%D0%B0> 12. 10. 2024.

44. Гугл мапе. (2023). Колубарски округ. Гугл мапе. Преузето са <https://www.google.com/maps/place/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D1%83%D0%B1%D0%B0%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B8+%D0%BE%D0%BA%D1%80%D1%83%D0%B3/@44.330647,19.9454154,10z/data=!3m1!4b1!4m6!3m5!1s0x4759f246406c37b7:0x262ac6ed883e41ac!8m2!3d44.3509811!4d20.0004305!16zL20vMDMza2oz?entry=ttnu> 18. 10. 2024.
45. Richards, L. A. (1954). Nomogram for determining the SAR values of irrigation water. US Salinity Laboratory. Преузето са https://www.researchgate.net/figure/Nomogram-for-determinating-the-SAR-values-of-irrigation-water-Richard-1954_fig1_266506192 20. 10. 2024.
46. Richards, L. A. (1954). Salinity classification of irrigation water samples. US Salinity Laboratory. Преузето са https://www.researchgate.net/figure/Salinity-classification-of-irrigation-water-samples-Richards-1954_fig1_305603568 02. 11. 2024.
47. Turisti.rs. (2023). Река Колубара. Туристи.рс. Преузето са <https://turisti.rs/destinacije/reka-kolubara/> 06. 11. 2024.