

# Recentne promjene jezerskih površina na prostoru Irana - uzroci i posljedice

---

**Turić, Tea**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2022**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zadar / Sveučilište u Zadru**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:162:206049>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-13**



**Sveučilište u Zadru**  
Universitas Studiorum  
Jadertina | 1396 | 2002 |

*Repository / Repozitorij:*

[University of Zadar Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Sveučilišni diplomski studij Primijenjena geografija (jednopedmetni)

**Tea Turić**

**Recentne promjene jezerskih površina na prostoru  
Irana – uzroci i posljedice**

**Diplomski rad**

Zadar, 2022.

Sveučilište u Zadru

Odjel za geografiju

Sveučilišni diplomski studij Primijenjena geografija (jednoprredmetni)

Recentne promjene jezerskih površina na prostoru Irana –  
uzroci i posljedice

Diplomski rad

Studentica:

Tea Turić

Mentor:

doc. dr. sc. Denis Radoš

Zadar, 2022.



## Izjava o akademskoj čestitosti

Ja, **Tea Turić**, ovime izjavljujem da je moj **diplomski** rad pod naslovom **Recentne promjene jezerskih površina na prostoru Irana – uzroci i posljedice** rezultat mojega vlastitog rada, da se temelji na mojim istraživanjima te da se oslanja na izvore i radove navedene u bilješkama i popisu literature. Ni jedan dio mojega rada nije napisan na nedopušten način, odnosno nije prepisan iz necitiranih radova i ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem da ni jedan dio ovoga rada nije iskorišten u kojem drugom radu pri bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj, obrazovnoj ili inoj ustanovi.

Sadržaj mojega rada u potpunosti odgovara sadržaju obranjenoga i nakon obrane uređenoga rada.

Zadar, 30. rujna 2022.

# TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Sveučilište u Zadru

Diplomski rad

Odjel za geografiju

## RECENTNE PROMJENE JEZERSKIH POVRŠINA NA PROSTORU IRANA – UZROCI I POSLJEDICE

Tea Turić

Promjene jezerskih površina i njihovo presušivanje problem je koji znanstvenici intenzivno proučavaju od druge polovice 20. stoljeća. U ovom diplomskom radu istraživane su i analizirane recentne promjene jezerskih površina na prostoru Irana, njihovi uzroci te posljedice. Naglasak je stavljen na jezera Urmia, Tashk i Bakhtegan koja predstavljaju uže područje istraživanja rada. Rad je podijeljen u tri dijela. Prvi dio rada sastoji se od teorijske osnove općih geografskih obilježja Irana, koja su uvjetovala smještaj većine jezera u pustinjskoj unutrašnjosti i njihovu sklonost presušivanju. U drugom dijelu rada iznesena su obilježja glavnih endoreičnih drenažnih bazena u Iranu i jezera koja im pripadaju. U tom dijelu rada opisane su promjene u vrijednostima klimatskih elemenata i antropogeni čimbenici koji su uzrokovali presušivanje iranskih jezera. Posljednji dio rada sastoji se od analize promjene površine odabranih jezera unutar godine te na kraju razdoblja 1991. – 2021. Analiza je izvršena obradom Landsat satelitskih snimaka, izvođenjem vodenog indeksa normalizirane razlike (NDWI) i izračunom površine na temelju modela NDWI. Analiza je pokazala kako su na godišnjoj razini vrijednosti površina promatranih jezera najveće zimi i u proljeće. Dobivene vrijednosti površina jezera za 2021. ukazuju na značajno smanjenje u odnosu na 1991. godinu.

Rad sadrži: 84 stranice, 28 grafičkih priloga, 3 tablična priloga, 83 bibliografske reference; izvornik na hrvatskom jeziku

**Ključne riječi:** Iran, jezerske površine, Landsat satelitske snimke, NDWI, analiza promjena

**Mentor:** doc. dr. sc. Denis Radoš

**Povjerenstvo:** izv. prof. dr. sc. Ante Blaće (predsjednik), dr. sc. Fran Domazetović (član), doc. dr. sc. Denis Radoš (član)

**Rad prihvaćen:** 4. ožujka 2022.

## **BASIC DOCUMENTATION CARD**

University of Zadar

Graduation Thesis

Department of Geography

### **RECENT CHANGES OF LAKE SURFACES IN IRAN – CAUSES AND CONSEQUENCES**

Tea Turić

Changes in lake surfaces and their shrinking is a problem that scientists have been intensively studying since the second half of the 20th century. In this paper, recent changes in lake surfaces in Iran, their causes and consequences were investigated and analyzed. Emphasis is placed on Lake Urmia, Tashk and Bakhtegan, which represent the narrower research area. The paper is divided into three parts. The first part of the paper consists of the theoretical basis of Iran's general geographical features, which determined the location of lakes mostly in the desert interior and their tendency to shrink. In the second part, the characteristics of the main endorheic drainage basins in Iran and their lakes are presented. In this part of the paper, changes of climatic elements' values and anthropogenic factors that caused lake shrinking are described. The last part of the paper is an analysis of the surface area change of the selected lakes within the year and at the end of the period 1991 - 2021. The analysis was performed by processing Landsat satellite images, deriving the normalized difference water index (NDWI) and calculating the lake surface area based on the NDWI model. The analysis based on an annual level showed that the surface area values of the observed lakes are the largest in winter and spring. The obtained values of the lake surface area in 2021 indicate a significant decrease compared to 1991.

Thesis includes: 84 pages, 28 figures, 3 tables, 83 references; original in Croatian

**Keywords:** Iran, lake surface, Landsat satellite imagery, NDWI, change monitoring

**Supervisor:** Denis Radoš, PhD, Assistant Professor

**Reviewers:** Ante Blaće, PhD, Associate Professor (president), Fran Domazetović, PhD (member), Denis Radoš, PhD, Assistant Professor (member)

**Thesis accepted:** March 4th, 2022

## Sadržaj

1. Uvod .....	6
2. Objekt i ciljevi istraživanja.....	8
2.1. Hipoteze .....	8
2.2. Područje istraživanja .....	9
3. Pregled dosadašnjih istraživanja.....	11
4. Metodologija istraživanja .....	13
5. Geografska obilježja Irana.....	15
5.1. Reljefni oblici.....	15
5.2. Klimatska obilježja.....	19
5.3. Hidrološka obilježja .....	21
5.4. Administrativni ustroj i demografska obilježja.....	26
6. Recentne promjene jezerskih površina u Iranu.....	28
6.1. Jezerske površine i endoreični drenažni bazeni .....	28
6.1.1. Jezero Urmia .....	38
6.1.2. Jezera Bakhtegan i Tashk.....	42
6.2. Uzroci recentnih promjena jezerskih površina.....	45
6.2.1. Promjene u vrijednostima klimatskih elemenata .....	45
6.2.2. Antropogeni utjecaj.....	49
7. Analiza promjena jezerskih površina u Iranu (1991. – 2021.) .....	52
7.1. Primjena daljinskih istraživanja u analizi promjene vodenih površina.....	52
7.1.1. Multispektralne satelitske snimke prikupljene Landsat satelitom .....	53
7.1.2. Vodeni indeks normalizirane razlike (NDWI).....	55
7.2. Usporedba izvedenih modela NDWI za 1991. i 2021.....	57
7.2.1. NDWI modeli za područje jezera Urmia .....	57
7.2.2. NDWI modeli za područje jezera Bakhtegan i Tashk .....	60

7.3. Izračun površine jezera i promjene u razdoblju 1991. – 2021. ....	62
7.3.1. Urmia .....	62
7.3.2. Bakhtegan i Tashk.....	63
8. Posljedice promjena jezerskih površina .....	65
9. Zaključak .....	68
Literatura.....	70
Izvori.....	80
Popis grafičkih priloga.....	81
Popis tabličnih priloga .....	82
Sažetak .....	83
Summary.....	84



## Predgovor

Kada sam razmišljala o temi svog diplomskog rada, željela sam da to bude nešto gdje ću moći povezati znanja iz omiljenog kolegija, klimatologije, sa stečenim znanjem o radu u GIS softverima. Moram priznati da mi ispočetka nije bilo svejedno pisati o državi čiju geografiju gotovo ne poznajem, ali sam nakon svega iznimno sretna što sam se odlučila za ovako neuobičajenu temu. Prije svega, od srca bih se željela zahvaliti svome mentoru, doc. dr. sc. Denisu Radošu, na savjetima pri odabiru teme diplomskog rada te učestaloj pomoći kroz cijeli proces njegovog pisanja i uređivanja. Zahvaljujem se i članovima povjerenstva izv. prof. dr. sc. Anti Blaći i dr. sc. Franu Domazetoviću na ispravcima i sugestijama vezanima za rad. Također, njima i ostatku nastavničkog osoblja Odjela za geografiju veliko hvala na izlaženju u susret kada sam trebala uskladiti studijske i sportske obveze.

Beskrajno hvala upućujem roditeljima koji su mi tijekom cijelog života bezuvjetna podrška i oslonac, a tako je bilo i na ovom akademskom putu. Omogućili su mi studiranje u drugom gradu i pomogli u ostvarivanju ciljeva, zbog čega diplomski rad posvećujem upravo njima. Hvala i ostalim članovima obitelji, a posebno mom bratu i mojoj teti koji su me neumorno bodrili za vrijeme pisanja rada. Svim dragim prijateljima, kolegama, suigračicama iz kluba i trenerima veliko hvala na potpori i razumijevanju. Naposljetku, proteklih pet godina ne bi bile iste da nije bilo ogromne podrške, ljubavi i strpljenja mog dečka, kojemu se ovim putem posebno zahvaljujem.

## 1. Uvod

Procesi i pojave koji se događaju u prostoru dio su svakodnevnice života na Zemlji. Oni su potaknuti prirodnim ili antropogenim uzrocima, a posljedice koje nastaju uslijed njihovog djelovanja mogu biti korisne, ali i štetne. Jedan od procesa koji je iznimno koristan, a neprestano se odvija jest hidrološki ciklus. Hidrološkim ciklusom voda, elementarni spoj koji zauzima veći dio površine Zemlje, neprestano kruži u različitim oblicima (Chahine, 1992).

Posljednjih nekoliko desetljeća prisutan je problem narušavanja hidrološkog ciklusa u pojedinim dijelovima svijeta, što se odrazilo i na zalihe vode koje se nalaze u vodenim površinama. Posebno ugrožene su jezerske površine, u kojima je sadržan značajan udio vode na Zemlji, a važne su za održavanje stabilnosti okoliša. Recentno iskorištavanje zemljišta (*land use*) i vode za gospodarske aktivnosti te promjena klimatskih obilježja uzrokovali su djelomično ili potpuno nestajanje jezerskih površina. Posebno izložena promjeni površine su slana jezera, smještena većinom u aridnim (suhim) i endoreičnim područjima (Wurtsbaugh i dr., 2017).

Neka smanjenja jezerskih površina uzrokovala su ekološke katastrofe, kao što je to bilo u slučaju Aralskog jezera, nekoć površinom četvrtog najvećeg jezera u svijetu. Od 1960-ih je zbog intenzivnog iskorištavanja zaliha vode iz Amu-Darje i Sir-Darje, glavnih rijeka koje napajaju Aralsko jezero, površina ovog jezera drastično smanjena. Izmjerena površina jezera iz 2010. godine iznosila je 14.280 km<sup>2</sup>, što je ukazalo na smanjenje jezerske površine za gotovo 80 % u odnosu na maksimalnu izmjerenu (Gaybullaev i dr., 2012; Wang i dr., 2020; Yang i dr., 2020). Brzo i značajno smanjivanje površine zahvatilo je i jezero Čad u Africi, koje je vrlo važno za mnogobrojno stanovništvo država Sahela. Ovo jezero se od 1963. godine do 2013. godine smanjilo za čak 90 %. Kao razlozi nestajanja jezera Čad najčešće se navode neprekidne suše, dezertifikacija, deforestacija te loše upravljanje vodnim resursima (Gao i dr., 2011; Ikusemoran i dr., 2018).

Presušivanje, odnosno nestajanje Aralskog jezera i jezera Čad bilo je uvod recentnim promjenama jezerskih površina u svijetu. Krajem 20. stoljeća, a posebno u 21. stoljeću često se navodi problem nestajanja jezera na prostoru Irana. Iran je, poslije Saudijske Arabije, površinom druga po veličini država na Bliskom istoku (Ghader, 2018). Geografski smještaj i topografska obilježja uvjetovala su klimatsku raznolikost Irana. Samim time, česta je pojava klimatskih ekstrema, koja je imala značajnu ulogu u promjeni jezerskih površina. U klimatske ekstreme svrstavaju se vrlo visoke temperature zraka izmjerene u unutrašnjosti Irana te godišnja količina padalina. Naime, zbog prevladavajućih tipova suhe klime, u većini Irana godišnja količina padalina ne prelazi 250 mm (Malekinezhad, 2009).

Uzroci promjena jezerskih površina na prostoru Irana uz prirodne čimbenike su i antropogeni. U drugoj polovici 20. stoljeća broj stanovnika Irana naglo je porastao te je neposredno utjecao na povećanu potrebu za pitkom vodom u naseljenim mjestima. Osim toga, uslijed porasta broja stanovnika povećalo se iskorištavanje vode u poljoprivredne svrhe, razvio se sustav navodnjavanja i izgrađeno je nekolicina brana, što je naposljetku utjecalo na promjenu jezerskih površina. Nekoliko jezera u Iranu izgubilo je određeni udio svoje površine, a dosad najveći gubitak izmjeren je na slanom jezeru Urmia u sjeverozapadnom dijelu Irana. Posljedice promjena površine jezera Urmia, kao i ostalih jezera u Iranu koji su suočeni s istim problemom, vidljive su u okolišu, a i u društvu. Najčešće su prisutna smanjenja kvalitete tla i kvalitete života stanovništva područja oko jezera, salinizacija tla i dezertifikacija (Ghader, 2018). S obzirom na to da su klimatski elementi podložni promjenama, a ljudski utjecaj na okoliš se svakodnevno povećava, postoji mogućnost da promjene jezerskih površina u Iranu u bliskoj budućnosti budu izraženije nego što su trenutno.

## 2. Objekt i ciljevi istraživanja

Objekt istraživanja ovog diplomskog rada su promjene jezerskih površina na prostoru Irana, a odabran je na temelju problema vodoopskrbe koji je aktualan posljednjih godina u toj zemlji. Naglasak istraživanja bit će na jezerima koja su najviše suočena s problemom presušivanja.

Za potrebe istraživanja određeno je nekoliko ciljeva. S obzirom na to da je razvojem tehnologije omogućeno praćenje promjena jezerskih površina, glavni cilj je usporediti površine jezera na početku i na kraju promatranog razdoblja obradom i analizom satelitskih snimaka. Sporedni cilj je objasniti i analizirati prirodne i antropogene čimbenike koji su utjecali na promjenu jezerskih površina. Još jedan cilj je objasniti kakve su posljedice nastale zbog promjene jezerskih površina.

### 2.1. Hipoteze

Na temelju određenog glavnog cilja istraživanja, postavljena je polazna hipoteza koja će se ispitati u ovom diplomskom radu.

**H** – Površine jezera Urmia, Tashk i Bakhtegan smanjile su se za više od 50 % unutar svakog godišnjeg doba u razdoblju 1991. – 2021.

Posljednjih nekoliko desetljeća na globalnoj razini prisutne su promjene u vrijednostima klimatskih elemenata (temperatura, količina padalina, vjetar itd.), koje su dovele do češćih pojava klimatskih ekstrema. U Iranu, kao pretežito pustinjskom i stepskom području, promjene su se najviše odrazile na skromne vodne resurse, a ponajprije na jezerske površine. Jezero Urmia, nekoć najveće slano jezero u Iranu, izgubilo je značajan postotak površine. S istim problemom suočena su i manja slana jezera Tashk i Bakhtegan na jugu Irana. Iako su se neka od ovih jezera posljednjih godina počela obnavljati vodom, pretpostavka je da su se njihove površine smanjile za više od 50 % unutar svakog godišnjeg doba u promatranom razdoblju 1991. – 2021. Ova pretpostavka provjerit će se tako što će se nakon izvođenja vodenog indeksa normalizirane razlike (NDWI) za 1991. i 2021. usporediti ukupne površine klasa koje se odnose na prisutnost vode u jezeru.

## 2.2. Područje istraživanja

Područje istraživanja ovog diplomskog rada je Iran, država na Bliskom istoku površine 1,64 milijuna km<sup>2</sup>. S obzirom na površinu koju zauzima, klima u Iranu je izrazito raznolika. Prema Köppenovoj klasifikaciji klime, na prostoru Irana utvrđeno je devet klimatskih tipova (od ukupno 31) svrstanih unutar pet klimatskih razreda. Ipak, prevladavaju suhe klime (klimatski razred B), što je utjecalo na to da je vrijednost srednje godišnje količine padalina u 75 % područja Irana manja od 300 mm godišnje (Ghader, 2018). Uzimajući u obzir hidrološke značajke, veći dio Irana zauzimaju endoreični, odnosno zatvoreni drenažni bazeni. Endoreični bazeni nalaze se uglavnom u područjima stepske i pustinjske klime, a glavno obilježje im je da rijeke koje protječu na njihovom prostoru ne otječu u mora ili oceane, već zadržavaju vodu u jezerima ili močvarama. (Dehghanipour i dr., 2020).

Uže područje istraživanja ovog diplomskog rada obuhvaća jezera Urmia, Bakhtegan i Tashk kao studije slučaja (Slika 1.). Urmia je endoreično slano jezero smješteno u sjeverozapadnom Iranu i pripada skupini najslanijih jezera u svijetu. Također, Urmia je nekoć bilo površinom najveće jezero u Iranu, sa slijevom koji obuhvaća područje od 52.000 km<sup>2</sup> (Fathian i dr., 2015). Međutim, zbog promjene klimatskih elemenata i antropogenog djelovanja u posljednja tri desetljeća, površina jezera Urmia sustavno je nestajala te se do 2017. godine smanjila za gotovo 90 %. U sjeveroistočnom dijelu pokrajine Fars nalaze se endoreična slana jezera Bakhtegan i Tashk, koja za vrijeme povišenog vodostaja čine homogenu vodenu cjelinu, tzv. *Neyriz Lakes*. Zbog obitavanja brojnih životinjskih vrsta, područje jezera Bakhtegan pod je zaštitom Ramsarske konvencije, a 1995. je proglašeno nacionalnim parkom. Kao i u slučaju Urmie, uslijed djelovanja prirodnih i društvenih čimbenika ova jezera suočavaju se s problemom nestajanja površine u posljednja dva desetljeća (Vahidipour i dr., 2021).



Slika 1. Područje istraživanja – jezera Urmia, Bakhtegan i Tashk u Iranu

Izvor: izrađeno prema podacima DIVA – GIS, URL 1

### 3. Pregled dosadašnjih istraživanja

Istraživanja o promjeni jezerskih površina u Iranu započela su krajem 20. stoljeća, a najveći broj radova objavljen je u posljednja dva desetljeća, otkada je prisutan snažan intenzitet promjena. U ovom poglavlju dan je pregled istraživanja koji se, na osnovu istog ili sličnog područja istraživanja, mogu povezati s temom ovog diplomskog rada.

**Adeli i dr. (2017)** istražili su prostorno-vremenske promjene površina jezera Tashk, Bakhtegan i Maharlu pod utjecajem godišnjih i sezonskih padalina. Za kreiranje karte zemljišnog pokrova koristili su Sentinel-2 satelitske snimke i nadziranu klasifikaciju, odnosno algoritam SVM (*Support Vector Machine*), kojim su piksele svrstali u dvije klase – voda i bez vode. Rezultati njihovog istraživanja pokazali su da je površina jezera Bakhtegan najviše izložena promjeni prije i nakon padalina, što bi mogao biti jedan od razloga presušivanja tog jezera.

**Alizadeh-Choobari i dr. (2016)** u svom radu istražili su utjecaj klimatskih promjena i antropološke čimbenika na smanjivanje jezera Urmia. Za potrebe istraživanja koristili su dugoročne podatke sakupljene na 22 meteorološke stanice te podatke o broju sagrađenih brana i površini navodnjavanih područja na prostoru slijeva jezera Urmia.

**Arkian i dr. (2018)** analizirali su utjecaj promjene u vrijednostima klimatskih elemenata na smanjivanje površine jezera Urmia. Koristili su podatke o brojnim parametrima, zabilježenim na četiri meteorološke stanice u blizini jezera. Od odabranih klimatskih elemenata (temperatura, količina padalina, vlažnosti zraka, evaporacija itd.), kao dominantan uzrok smanjivanja vodostaja jezera Urmia izdvajaju promjenu u vrijednostima količine padalina. Posebno ističu razdoblje 1995. – 2010., kada se nagli pad vodostaja jezera događao sinkrono sa smanjivanjem količine padalina.

**Fathian i dr. (2015)** ispitali su povezanost hidroloških i klimatskih obilježja područja oko jezera Urmia s trendom opadanja razine vode u jezeru. Analizirali su trendove temperature, količine padalina i protoka vode na mjesečnoj i godišnjoj razini, koristeći dugoročne podatke mjernih stanica na području cijelog slijeva jezera. Istaknuli su kako su sustavno povećavanje temperature na području slijeva i utjecaj ljudi na hidrološke procese, odnosno na smanjeni protok i napajanje jezera riječnom vodom glavni razlozi presušivanja jezera Urmia.

**Jahanbakhsh Ganjeh i dr. (2017)** proučavali su promjenu površine jezera Parishan korištenjem Landsat satelitskih snimki te su ju povezali s djelovanjem prirodnih i antropogenih čimbenika u razdoblju 1990. – 2015. Za klasifikaciju zemljišnog pokrova upotrijebili su nadziranu klasifikaciju i algoritam *Maximum Likelihood* (ML). Na temelju dobivenog modela istaknuli su kako je u promatranom razdoblju došlo do značajnog porasta poljoprivrednih i stambenih područja, ali i do smanjivanja jezerske površine,

**Pakzad i dr. (2021)** u svom radu istražili su utjecaj promjene površine jezera Tashk-Bakhtegan na vrijednosti klimatskih elemenata područja oko jezera, što je obrnuti pristup u odnosu na pojedina istraživanja koja se bave istim međuodnosom. Promjenu jezerske površine analizirali su korištenjem Landsat satelitskih snimaka za razdoblje 2000. – 2015., a za kreiranje modela zemljišnog pokrova odabrali su metodu nadzirane klasifikacije i algoritam SVM.

**Rahimi i Breuste (2021)** su na temelju satelitskih snimaka proučavali promjenu površine jezera Urmia u razdoblju 1987. – 2014. te izradili model transformacije zemljišta za 2025. godinu. Istaknuli su kako je promjena jezerske površine nejednaka, a da je najviše izražena bila između 2010. i 2014. godine. Njihov prognostički model ukazuje na nastavak negativnog trenda promjene površine, stoga je pravilno upravljanje jezerom nužno kako bi se potaknula njegova samoobnova.

**Rokni i dr. (2014)** također su analizirali prostorno-vremensku promjenu jezera Urmia, ali u razdoblju 2000. – 2013. godine. Koristili su Landsat 5, 7 i 8 satelitske snimke za klasifikaciju zemljišta i izvođenje nekoliko vrsta indeksa. Posebno su istaknuli NDWI (*Normalized Difference Water Index*), indeks kojim se mogu ocrtati i pratiti promjene vodenih površina. Na temelju NDWI indeksa uočili su negativan trend promjene jezerske površine tijekom promatranih 13 godina, a samo u razdoblju 2010. – 2013. izgubljena je njezina trećina u odnosu na 2000. godinu.

Postojeća istraživanja o promjenama jezerskih površina u Iranu uglavnom imaju kvalitetne metodološke pristupe, od kojih su neki primijenjeni i u pisanju ovoga rada. Zaključci koji su izneseni u radovima još uvijek su relevantni i mogu se koristiti kao podloga budućim istraživanjima o istoj problematici. Međutim, nedostatak većine provedenih istraživanja je usmjerenost na problem presušivanja jezera Urmia, zbog čega su ostala iranska jezera suočena s tim problemom donekle zanemarena.

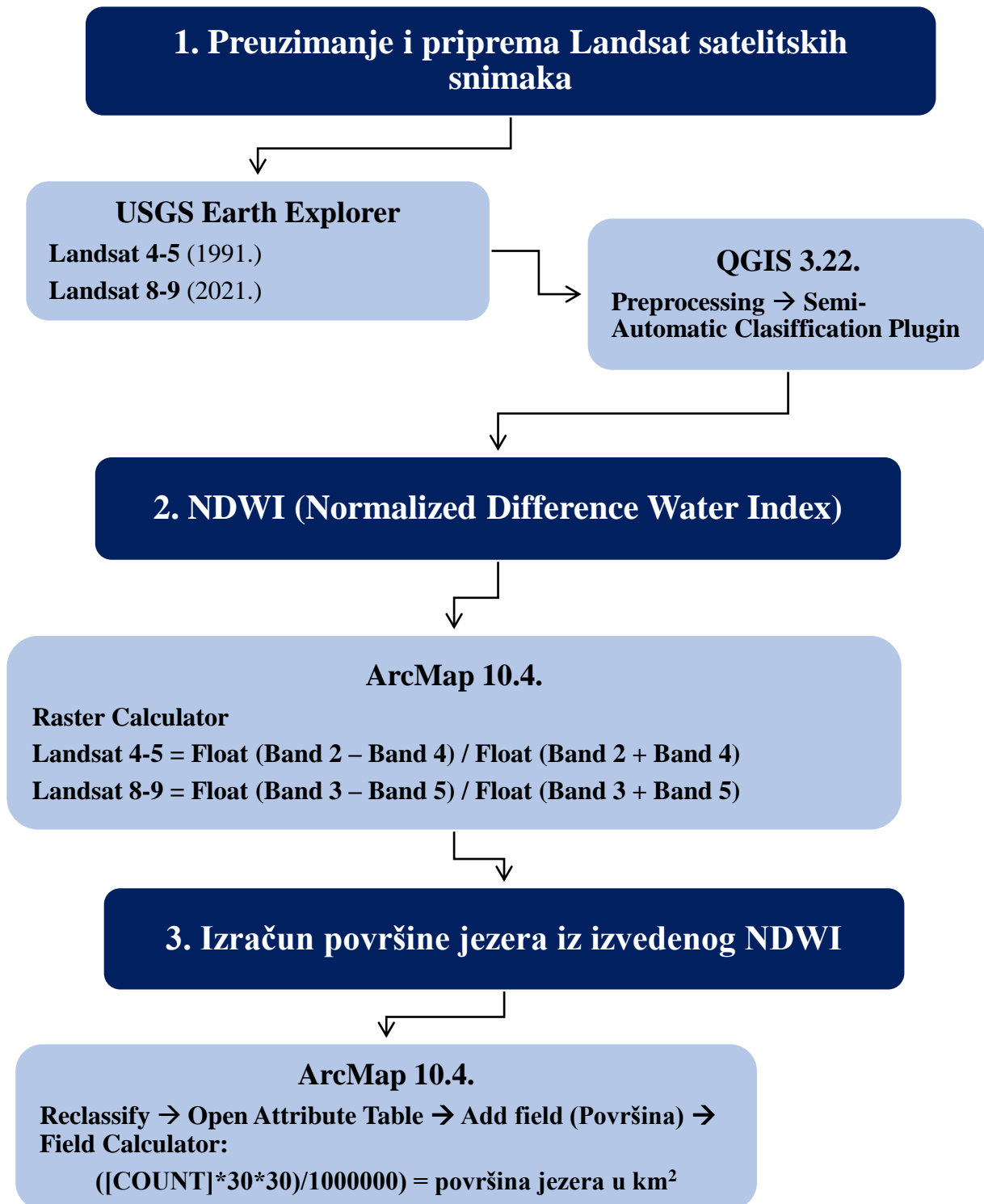


## 4. Metodologija istraživanja

Teorijska osnova rada temelji se na prikupljanju i analizi postojeće literature, izvora i internetskih izvora, a većinom su kompilirane informacije i znanstvene spoznaje objavljene u znanstvenim člancima i poglavljima u knjigama. Također, korištene su i enciklopedijske natuknice iz *Encyclopaedia Iranica*, najpoznatijeg sveobuhvatnog djela iz područja iranskih studija.

Za potrebe proučavanja i analize promjene jezerskih površina u Iranu, preuzete su multispektralne satelitske snimke *Landsat* iz zbirke portala *USGS Earth Explorer*. S obzirom na to da se u radu proučava stanje jezerskih površina 1991. i 2021., odnosno promjena koja je nastupila između ovih godina, preuzete su satelitske snimke *Landsat 4-5* i *Landsat 8-9* za područje istraživanja koje čine jezera Urmia, Bakhtegan i Tashk. Za pojedine mjesece unutar odabranih godina nije bilo čistih snimki (oblaci, smetnje itd.), zbog čega nije bilo moguće analizirati mjesečno stanje jezerskih površina. Stoga su preuzete satelitske snimke za svako godišnje doba, odnosno odabrana su ukupno četiri mjeseca po godini.

Prije obrade satelitskih snimaka, u softveru *QGIS 3.22*. korištenjem alata *Preprocessing* i metode *DOS1 (Dark Object Substraction)* izvršena je njihova atmosferska korekcija. U istom softveru satelitske snimke obrađene su na način da su sve snimke koje obuhvaćaju područje jednog jezera spojene u jedinstveni rasterski set podataka, a zatim su izrezane prema prostornom obuhvatu jezera. Analiza satelitskih snimaka izvršena je u softveru *ArcMap 10.4*. korištenjem alata *Raster Calculator*. Izveden je vodeni indeks normalizirane razlike (NDWI) za 1991. i 2021., pogodan za isticanje vodenih površina u odnosu na tlo i vegetaciju. Dobivene vrijednosti NDWI korištene su za izradu karata, koje omogućuju vizualno uočavanje jezerskih površina i njihove promjene između dvije promatrane godine, ali i tijekom godišnjih doba unutar jedne godine. Nakon toga, rasterski slojevi s vrijednostima NDWI za odabrana jezera ponovno su klasificirani, a unutar atributne tablice novonastalih slojeva izračunate su površine jezera svih godišnjih doba iz 1991. i 2021., na način da su zbrojene površine za dva razreda koja predstavljaju vodu, tj. jezera. Naposljetku su izračunate apsolutna i relativna promjena površine u promatranom tridesetogodišnjem razdoblju.



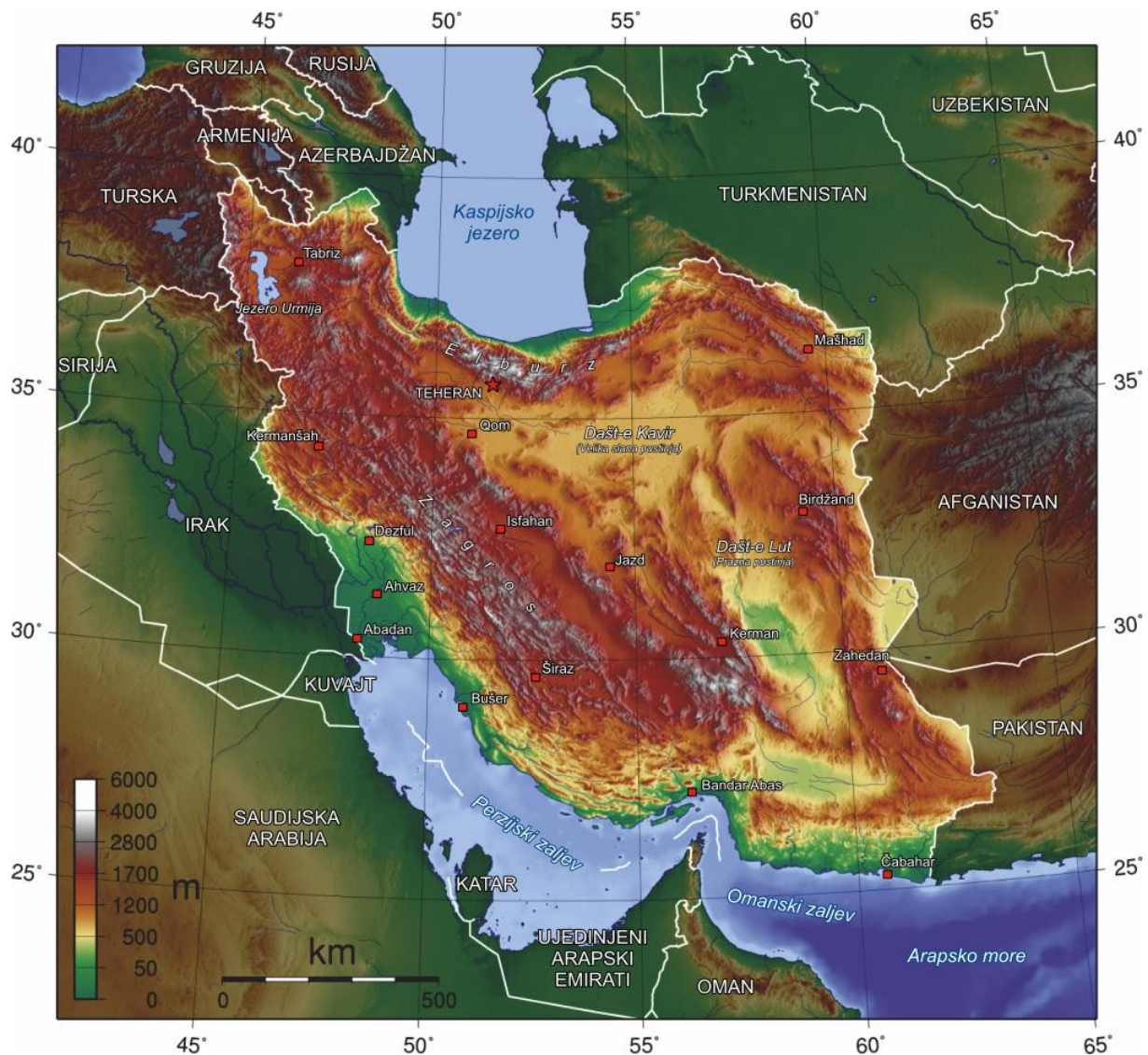
Slika 2. Shema korištenog metodološkog pristupa u istraživanju promjene jezerskih površina

## 5. Geografska obilježja Irana

### 5.1. Reljefni oblici

Prosječna nadmorska visina na prostoru Irana prelazi 1.000 m, što svrstava Iran u skupinu najviših zemalja, ali i ukazuje na to da su planine i gorja prevladavajući element reljefa. Na prostoru Irana pruža se nekoliko planinskih lanaca, od kojih se najviši nalaze na zapadnom i sjevernom dijelu. Njihovi vrhovi dosežu 4.500 – 5.000 m nadmorske visine, a ti planinski lanci zauzimaju i značajan dio površine Irana. S druge strane, na jugu i istoku Irana nalaze se uži i niži planinski lanci, često isprekidani kotlinama. U tim dijelovima Irana reljef ne predstavlja orografsku prepreku pa je utjecaj na klimu vidljiv u obliku pojave suše i pustinjskog pijeska. Sustav svih planinskih masiva okružuje Iransku visoravan, geomorfološku i povijesnu regiju koja se osim u Iranu pruža dijelom Afganistana i Pakistana. Iranska (perzijska) visoravan sastoji se od niza dolina (stepa) i pustinjskih visoravni na jugoistoku i istoku zemlje. Iako je nešto niža u odnosu na okolne planinske lance, visine na prostoru visoravni iznose od 300 do čak 2.000 m (Fisher, 1968).

Nekoliko je planinskih lanaca koji zauzimaju veći dio površine Irana i okružuju njegovu unutrašnjost. Najrazvijeniji od njih je Zagros, koji se nalazi na zapadu zemlje i zauzima gotovo trećinu ukupne površine. Zagros predstavlja jedinstvenu fizičku cjelinu, ali se sastoji od brojnih planina i gorja (slično kao Alpe). Cijeli planinski sustav dug je oko 1.200 km, a širok 600 km. Prosječna visina na Zagrosu iznosi 3.500 m, a najviši vrh je Qash-Mastan na planini Deni, visine 4.409 m (Kiyani Haftlang, 2003). Što se tiče strukture Zagrosa, mogu se izdvojiti dvije regije. Prva regija obuhvaća sjeverozapadni dio koji se pruža široko od granice Irana s Azerbajdžanom, Armenijom i Turskom do zone između gradova Kazvin, Hamadan i Kermanšah. Druga regija počinje od te zone i završava kod grada Bandar Abbas, koji je smješten na obali Perzijskog zaljeva i u blizini Hormuškog prolaza (Fisher, 1968).



Slika 3. Hipsometrijska karta Irana

Izvor: URL 2

Na sjeveru Irana nalazi se Alborz (Elburz), planinski lanac koji je lučno zakrivljen prema unutrašnjosti iranskog teritorija. Proteže se od granice s Azerbajdžanom, uz južni rub Kaspijskog jezera, sve do pokrajine Sjeverni Horasan na sjeveroistoku Irana. Za razliku od Zagrosa, ovaj planinski lanac je dosta uži (prosječna širina ispod 100 km), ali je skoro jednako visok. Prosječna nadmorska visina mu iznosi preko 3.000 m, a najviši vrh nalazi se na planini, odnosno stratovulkanu Damavand i iznosi 5.609 m. Damavand se nalazi nedaleko od Teherana te je najviša planina u Iranu i jedan od nacionalnih simbola (Kiyani Haftlang, 2003).

Srednjoiransko gorje smješteno je u unutrašnjosti Irana, a sastoji se od niza planina koje se pružaju u pravcu sjeverozapad-jugoistok, usporedno sa smjerom pružanja Zagrosa na zapadu. Za razliku od Zagrosa i Alborza koji su cjeloviti planinski sustavi, Srednjeiransko gorje isprekidano je zatvorenim (endoreičnim) sljevovima jezera i močvara. Iako neki planinski vrhovi dosežu nadmorske visine preko 4.000 m, prosječna visina Srednjoiranskog gorja je niža u odnosu na visinu ostalih planinskih lanaca koji okružuju Iransku visoravan. Najviši je u svom južnom dijelu gdje se nadovezuje na Zagros, a glavne komponente tog dijela Srednjoiranskog gorja su planine Kūh<sup>1</sup>-e Seh Konj sjeveroistočno od grada Kerman i Kūh-e Jabāl-e Bārez južno od grada Bam. Jugoistočno od Bama nastavlja se niz planina te se u pokrajini Sistan i Beludžistan Srednjoiransko gorje spaja s dijelom Istočnoiranskog gorja. Planinski prsten oko unutrašnjosti Irana zatvara upravo Istočnoiransko gorje, koje se pruža se od pokrajine Razavi Horasan na sjeveroistoku Irana do pokrajine Sistan i Beludžistan, koja graniči s Afganistanom i Pakistanom. Dužine je oko 2.800 km, a neki od njegovih važnih dijelova su masiv Kopet Dag na granici s Turkmenistanom i vulkanska planina Taftan na jugoistoku (Fisher, 1968; Kiyani Haftlang, 2003).

Gorski rub gotovo u potpunosti okružuje unutrašnjost Irana nepravilnog oblika, odnosno područje Iranske visoravni. Reljefne izoliranost prouzročila je nedostatak padalina i utjecala na izostanak vanjskog otjecanja vode u mora ili oceane. Zbog toga su na većem dijelu Iranske visoravni prisutna pustinjska i polupustinjska područja. Na sjeverozapadu i jugozapadu nalaze se (relativne) depresije na čijem su području endoreični sljevovi jezera (Urmia, Tashk-Bakhtegan). Središnji dio Iranske visoravni također je niži u odnosu na okolni planinski rub te ima izrazite pustinjske uvjete. Najznačajnije pustinje u središnjem dijelu visoravni su Dasht<sup>2</sup>-e Kavīr (Velika slana pustinja) i Dasht-e Lūt (Prazna pustinja). Pustinja Dasht-e Kavīr površinom je veća nego Hrvatska, a ime je dobila prema *kavirima*, slanim muljevitim nakupinama sedimenata koje isparavanjem postaju suhe i slane ploče poligonalnog oblika (Slika 4.). U pustinji Dasht-e Lūt izmjerena je temperatura pijeska preko 70 °C, što svrstava ovu pustinju u najtoplija područja na svijetu. Ostatak suhih područja na prostoru Iranske visoravni pripada tzv. *bīābānima*, polupustinjskim područjima (stepama) donekle pogodnim za poljoprivredno iskorištavanje. *Bīābānima* pripadaju i područja izvan prostora Iranske

---

<sup>1</sup> Kūh je pojam iz perzijskog jezika koji označava planinu, a sadržan je u nazivu brojnih reljefnih uzvisina u Iranu.

<sup>2</sup> U perzijskom jeziku postoje različiti nazivi kojima se imenuju pustinjska područja različitih fizičkih obilježja. Dasht označava suhu pustinju sastavljenu od sitnih i zbijenih djelića stijena. Lut je širok pojam koji se općenito odnosi na velika pustinjska područja, ali se pod njim najčešće podrazumijevaju velika sušna područja na istoku i jugu Irana (Fisher, 1968).

visoravni, a to su Muganska stepa u sjeverozapadnom dijelu Irana (priobalni dio Kaspijskog jezera), stepe u pokrajini Horasan na istoku te pojedine uzvisine s minimalno 350 mm padalina godišnje (Spooner, 1994).



Slika 4. Slane „ploče“ u pustinji Dasht-e Kavir

Izvor: URL 3

Osim prevladavajućih pustinja i stepa, ravničarskim područjima u Iranu pripadaju i nizine. Među njima se posebno ističe aluvijalna plodna nizina u pokrajini Huzestan na jugozapadu Irana, koja je ujedno ogranak povijesne Mezopotamije. Okružena je obroncima Zagrosa na sjeveru i istoku, Perzijskim zaljevom na jugu te iransko-iračkom granicom na zapadu. Dolinom protječu dvije važne rijeke – Karun, najduža i vodom najbogatija rijeka u Iranu te Karkheh. Uz južnu obalu Kaspijskog jezera pruža se oko 650 km duga plodna nizina. Zahvaća područje pokrajina Gilan, Mazandaran i Golestan, a osim plantaža riže na njoj se uzgajaju šećer, pamuk, duhan, kukuruz, čaj, agrumi itd. Nizinska područja različitog postanka nalaze se i uz obalni pojas Perzijskog i Omanskog zaljeva (Fisher, 1968).

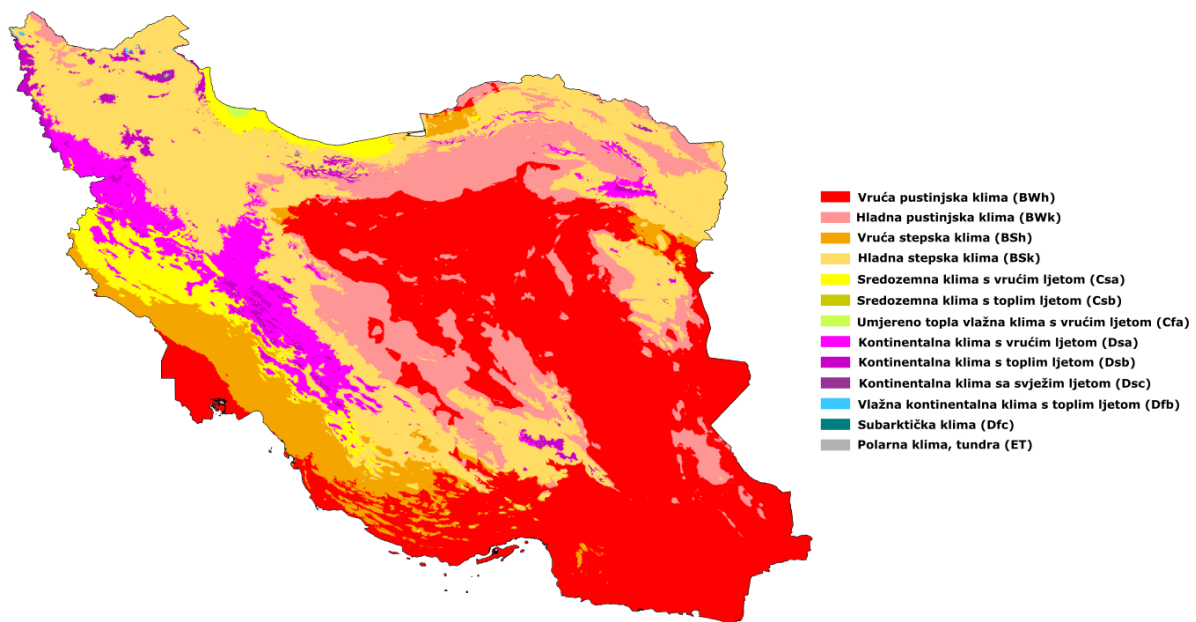
## 5.2. Klimatska obilježja

Klima u Iranu je vrlo raznolika, a razlog tomu su geografski smještaj u suptropskom i umjerenom klimatskom pojasu te izraženi utjecaj reljefa. Naime, planinski sustavi Zagros i Alborz onemogućuju prodor vlažnih zračnih masa iz smjera Kaspijskog jezera i Perzijskog zaljeva u unutrašnjost Irana. Zbog toga većim dijelom Iranske visoravni prevladavaju pustinjska i stepska klima, dok su vanjski obronci planinskih lanaca ponekad izloženi padalinama i imaju blažu klimu u odnosu na unutrašnjost. Posebno se ističe područje uz južnu obalu Kaspijskog jezera koje, zbog reljefne prepreke (Alborz) koja zaustavlja vlažnu zračnu masu nošenu vjetrom sjeveroistočnog smjera, prima najveću količinu padalina. Primjerice, gradovi Bandar-e Anzali i Rašt u pokrajini Gilan imaju prosječnu godišnju količinu padalina oko 2000 mm te su jedni od najkišovitijih gradova u Iranu (Ehlers, 1992).

Zapadni dio Irana, kojeg većinski zauzima planinski sustav Zagros, također prima dostatnu količinu padalina. Razlog tomu je prevladavajuća kontinentska klima koja je pod utjecajem sredozemne klime okolnog prostora niže nadmorske visine. Međutim, zbog povremenih vrućih i suhih razdoblja, prosječna godišnja količina padalina u ovom dijelu Irana ne prelazi 600 mm, što je značajno manje u odnosu na prostor kaspijske nizine. Područje južnog dijela Zagrosa ima obilježja stepske (polupustinjske) klime. Na višim nadmorskim visinama, odnosno planinskim obroncima Zagrosa, ljeta su umjereno topla, a zime vrlo hladne. U reljefnim ulegnućima između planina ljeta su vruća, a zime blage. Obalnim i priobalnim pojasom Perzijskog i Omanskog zaljeva izmjenjuju se stepska i pustinjska klima. Ljetne temperature na tom prostoru su iznimno visoke pa je tako u pokrajini Huzestan maksimalno izmjerena temperatura iznosila 54 °C. Osim toga, stalni dotok vlažnog morskog zraka dodatno otežava život stanovnicima tog područja, koji nerijetko napuštaju svoje domove u ljetnim mjesecima i odlaze u planinske predjele (Kiyani Haftlang, 2003).

Utjecaj klimatskih čimbenika na klimatska obilježja posebno je vidljiv na prostoru unutrašnjosti Irana, odnosno Iranske visoravni. Naime, visoki planinski lanci koji okružuju visoravan sa gotovo svih strana zaustavljaju prodor vlažnog zraka i oborinskih oblaka. Kao posljedica toga, na prostoru Iranske visoravni prisutni su pustinjski i stepski klimatski uvjeti. Na sjevernom i zapadnom dijelu visoravni obilježja suhih klima su nešto blaža zbog blizine planinskih lanaca. Međutim, utjecaj reljefa na klimu visoravni opada od zapada prema istoku i od sjevera prema jugu. Tako su u nižim predjelima središnjeg, istočnog i jugoistočnog dijela

visoravni najviše izražena obilježja pustinjske klime – vrlo vruća ljeta i oštre zime te velika razlika između dnevnih i noćnih temperatura. Prema klimatskim razredima koje je definirao W. Köppen, a kasnije nadopunio R. Geiger, oko 75 % teritorija Irana (1.200.000 km<sup>2</sup>) ima suhu (B) klimu (Slika 5.). Unutar tog klimatskog razreda, prevladava pustinjska klima (BW) koja zauzima oko 700.000 km<sup>2</sup> površine, a stepska klima (BS) 500.000 km<sup>2</sup> (Kiyani Haftlang, 2003). Klima na prostoru Iranske visoravni i južnog obalnog područja može se još detaljnije klasificirati na hladnije (BSk ili BWk) i toplije (BSh ili BWh) suhe klime. Na uskom prostoru uz Zagros i Alborz prisutna je sredozemna klima s vrućim ili toplim ljetima (Csa ili Csb), dok je na zapadnom dijelu padina Alborza (pokrajina Gilan) prisutna umjereno topla vlažna klima s vrućim ljetom (Cfa). Sam planinski prostor ima obilježja vlažne kontinentalne klime (Dsa i Dsb) (Ehlers, 1992).



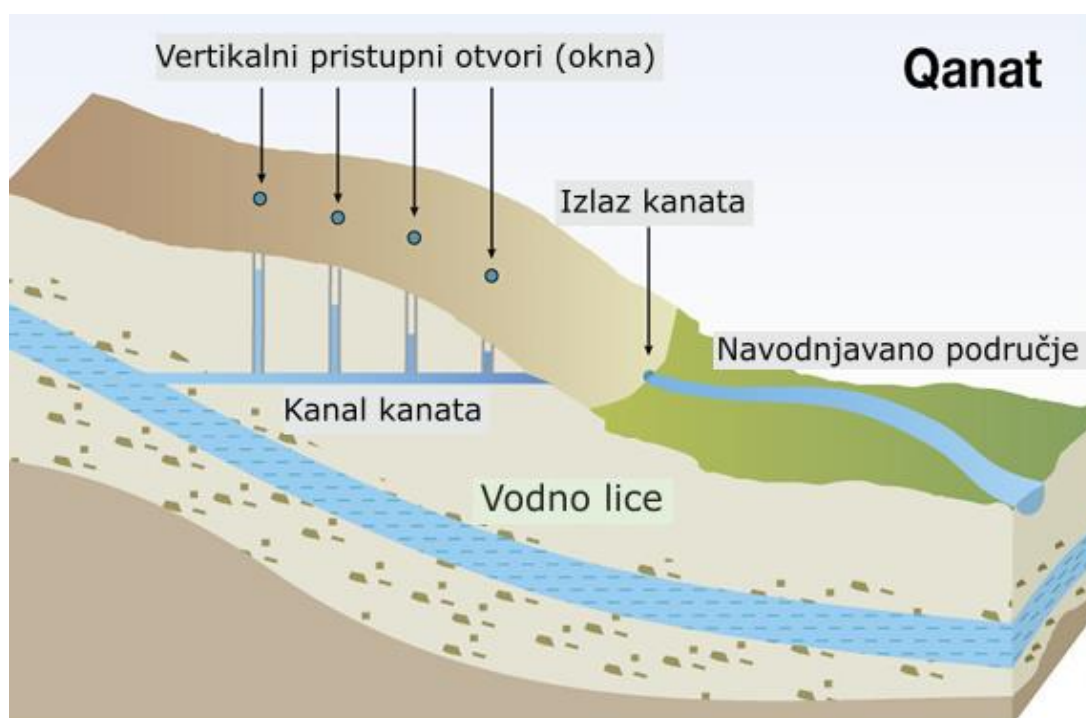
Slika 5. Köppen-Geigerova klimatska klasifikacija Irana (za razdoblje 1980. – 2016.)

Izvor: URL 4



### 5.3. Hidrološka obilježja

Voda je oduvijek predstavljala bogatstvo i bila je nužna za život ljudi na prostoru Irana. Još su u doba Perzijskog Carstva ostvarena izvanredna dostignuća u iskorištavanju podzemnih voda. Naime, Perzijanci su osmislili *qanat* (kanat), sustav za upravljanje vodom, sastavljenog od niza podzemnih tunela koji dovode vodu iz podzemlja do površine (Slika 6.). Kanati su iznimno važni u područjima koji oskudijevaju vodom, kao što je to veći dio Irana. Ova tehnologija iskorištavanja vode proširila se u drugim dijelovima Azije, ali i ostalim kontinentima. Tako su brojni kanati pronađeni u Kini, Maroku, Španjolskoj, Meksiku itd. Najstariji poznati kanat izgrađen je prije 2.700 godina, a pronađen je u blizini iranskog grada Gonabad. Dubok je oko 360 m, dug 45 km, a zanimljivo je kako još uvijek služi kao izvor vode koja se koristi u prehrambene i poljoprivredne svrhe. Bez obzira na važnost kanata i njihovom doprinosu kroz povijest, današnji Iran pripada skupini zemalja koje oskudijevaju vodnim resursima (Yazdandoost, 2016).



Slika 6. Shematski prikaz sustava kanata

Izvor: URL 5

Iranom, kao većinski pustinjskom zemljom, ne protječu velike rijeke. U jugozapadnom dijelu zemlje nalazi se Karun, vodom najbogatija rijeka u Iranu. Ulijeva se u Shatt al-Arab, koju tvore Eufrat i Tigris, a ušće joj je u Perzijskom zaljevu (FAO, 2008). Osim što je najbogatija vodom, Karun je jedina plovna rijeka u Iranu. Stotinjak kilometara uzvodno od ušća, do grada Ahwaza, mogu ploviti veći brodovi, a manji čamci plove i dalje od toga. Njezina plovnost omogućila je sustavno mjerenje podataka o protoku još od 1894. godine. Praćenjem režima ustanovljeno je kako Karun najveći protok vode ima u travnju, a najmanji u listopadu (Fisher, 1968; Wilber, 1981). Slijevu Perzijskog zaljeva pripadaju još rijeke Dez i Karkheh, koje izvire u Zagrosu. Dez je važna pritoka Karunu, dok se Karkheh ne ulijeva izravno u Perzijski zaljev niti je pritoka drugoj rijeci, već utječe u močvarno područje Hur al-Azim na iransko-iračkoj granici (Ehlers, 2011).

Nasuprot rijekama slijeva Perzijskog zaljeva, koje su egzoreičnog<sup>3</sup> karaktera, postoje rijeke koje svoj tok završavaju u jezerima ili pustinjama u unutrašnjosti zemlje. Shodno tomu, na prostoru Irana izdvajaju se tri endoreična drenažna bazena – Kaspijsko jezero, jezero Urmia i veliki pustinjski drenažni bazen. Razvodnica koja odvaja endoreične drenažne bazene Irana od slijeva Perzijskog zaljeva ne podudara se sa smjerom pružanja Zagrosa, najviše reljefne prepreke, već je pomaknuta istočno u unutrašnjost i prati liniju južno od grada Hamadana (Slika 7.). S obzirom na to, pojedini tokovi u unutrašnjosti Irana prolaze kroz planine Zagrosa te pripadaju slijevu Perzijskog zaljeva. Time čine ovo područje iznimno složenim i zanimljivim u geomorfološkom smislu (Fisher, 1968).

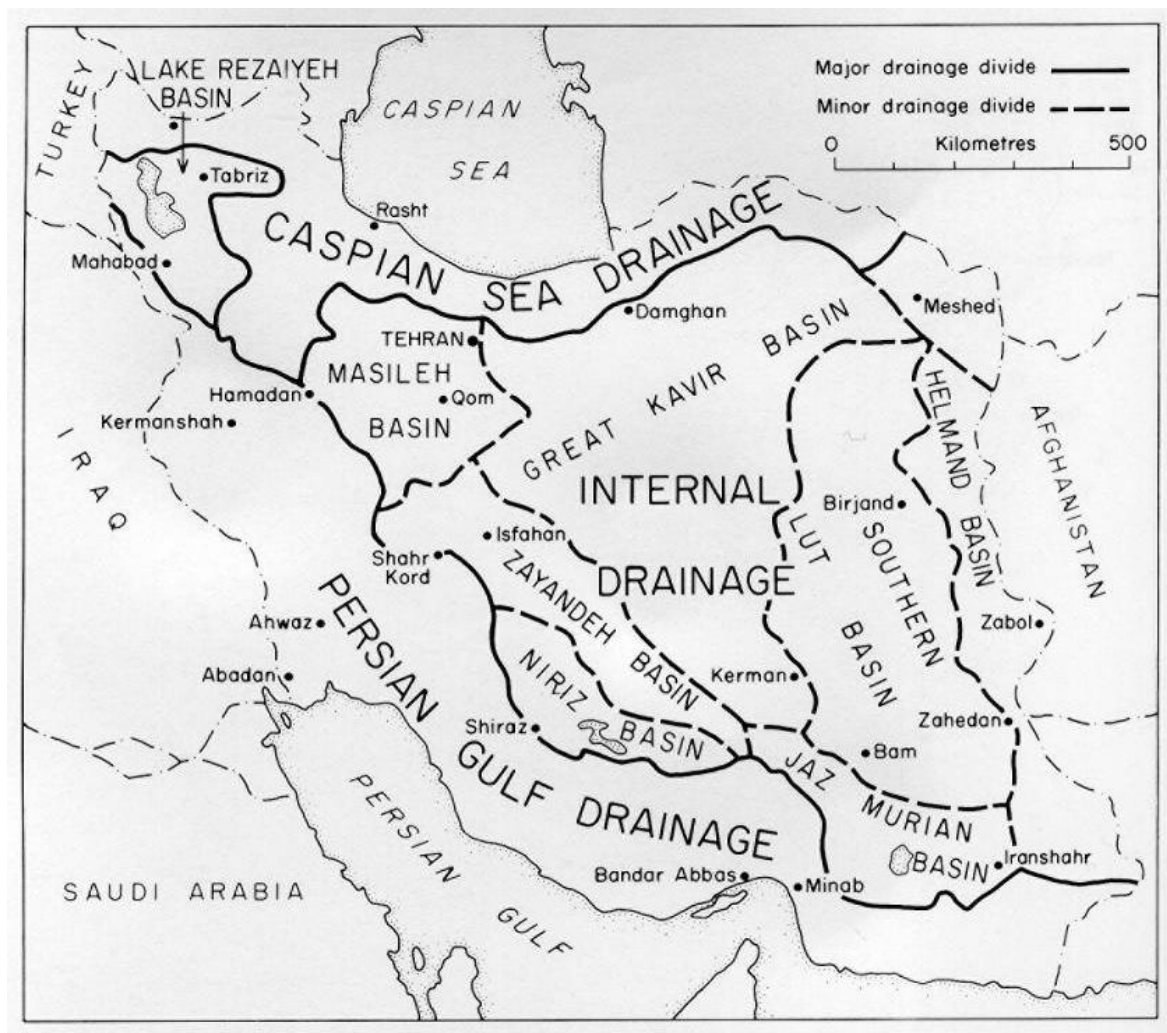
Glavne rijeke kojima je ušće u Kaspijskom jezeru su Aras i Sefid-Rud<sup>4</sup>. Aras je oko 1000 km duga rijeka te ne protječe isključivo kroz Iran. Naime, izvire u Turskoj, zatim protječe kroz Armeniju, a dio koji protječe Iranom ujedno je prirodna granica prema Azerbajdžanu. S druge strane, Sefid-Rud izvire u Alborzu i cijelom svojom dužinom (670 km) protječe kroz Iran. Ima dvije važne pritoke, Ghezel Ozan i Shah-Rud, koje je dobila zahvaljujući presijecanju Alborza jednim dijelom svoga toka (Fisher, 1968; Wilber, 1981).

---

<sup>3</sup> Egzoreični tokovi (rijeke ili potoci) se neposredno ili posredno ulijevaju u mora, oceane i jezera.

<sup>4</sup> Rud je pojam iz perzijskog jezika koji označava rijeku ili potok, a sadržan je u brojnim nazivima rijeka u Iranu.

Od ostalih rijeka koje utječu u Kaspijsko jezero izdvajaju se Gorganrud i Atrak u pokrajini Golestan na sjeveru Irana. Gorganrud započinje svoj tok na sjeveroistočnim obroncima Alborza, točnije na planini Aladagh. Ima južni smjer toka sve do grada Akgala, gdje skreće na zapad i ulijeva se u Kaspijsko jezero. Njezino porječje površine je oko 10.000 km<sup>2</sup> te je plodno za uzgoj raznih kultura, posebice pamuka. Atrak je granična rijeka između Turkmenistana i Irana, a izvire u planinama Istočnoiranskog gorja. Zbog iskorištavanja vode jednog dijela toka za navodnjavanje, Atrak utječe u Kaspijsko jezero samo u doba visokog vodostaja (Zanjani, 2002).



Slika 7. Glavni drenažni bazeni i razvodnice u Iranu (puna linija – razvodnica između velikih drenažnih bazena, isprekidana linija – razvodnica između manjih drenažnih bazena)

Izvor: URL 6

U jezero Urmia ulijeva se nekolicina rijeka i potoka, većinom sezonskog karaktera. Ipak, drenažnom bazenu ovog jezera pripadaju i dvije važne rijeke višegodišnjeg karaktera, Zarrineh Rud i Aji Chay (Talkheh Rud). Zarrineh Rud se ulijeva u Urmiu s južne strane, a iako ima stalni tok, protok vode joj varira sezonski, tako da je najveći u proljeće, a najmanji za vrijeme sušnih razdoblja. Aji Chay prolazi pokraj grada Tabriza i utječe u jezero Urmia iz istočnog smjera. Osim kišom, opskrbljuje se i topljenjem snijega s visokih vulkanskih planina Sabalan i Sahand, što ju čini vodom bogatijom od Zarrineh Rud. Također, voda koju pritoke donose Aji Chay (u prijevodu „gorka rijeka“) sadrži otopljene soli i mineralne tvari, zbog čega je njezina aluvijalna ravnica oko područja Urmie izložena salinizaciji i nepovoljna je za poljoprivredni uzgoj (Fisher, 1968; Ehlers, 1984).

Rijeke koje svoj tok završavaju u pustinjskoj unutrašnjosti Irana, a imaju višegodišnji karakter, nalaze se uz padine planinskih sustava Alborza i Zagrosa. Režim tih rijeka uglavnom ovisi o otapanju snijega s okolnih planinskih vrhova. S druge strane, u istočnom i južnom dijelu Iranske visoravni uglavnom nema stalnih tokova, već je riječ o sezonskim potocima koji se pojavljuju u slučaju obilnih padalina. Na južnim padinama središnjeg dijela Alborza izvire rijeka Karaj, koja se nakon spajanja s pritokom Jajrud ulijeva u endoreično slano jezero Namak, stotinjak kilometara južno od Teherana. Zbog opskrbljivanja vodom iz otopljenog snijega s obližnjih planina, Karaj i Jajrud imaju visoke vrijednosti godišnjeg protoka vode, čiji je maksimum krajem travnja i početkom svibnja. Na obje rijeke su izgrađene brane, a Amir Kabir brana na rijeci Karaj je iznimno važna za Teheran i područje oko njega jer od 1961. osigurava vodu za navodnjavanje i proizvodi električnu energiju. Osim Karaj i Jajrud, u planinama Alborza izvire i rijeka Hablehrud, čija se voda koristi za navodnjavanje područja oko Garmsara, grada na rubu pustinje Dasht-e Kavīr (Beaumont, 1982).

Ipak, najvažnija i najveća rijeka na prostoru Iranske visoravni je Zayandehrud, a izvire u planini Zard Kūh, u središnjem dijelu Zagrosa. Protječe prema istoku, prolazi kroz grad Isfahan, a svoj tok završava u povremenom slanom jezeru Gavkhouni. U rano proljeće Zayandehrud ima najveći protok vode te je široka više od sto metara i duboka oko dva metra. Kao i kod gotovo svih rijeka u Iranu, njezina voda iskorištava se u svrhu navodnjavanja. Neke od važnijih rijeka koje također izvire u Zagrosu su Qom i Kor (Wilber, 1981).

Qom (Kom) prolazi kroz istoimeni grad i završava svoj tok u jezeru Namak, dok Kor protječe dolinom drevnog perzijskog grada Perzepolisa na jugu Irana te se ulijeva u jezero Bakhtegan. U istočnom Iranu, gdje su posebno izraženi pustinjski uvjeti, malo je stalnih riječnih tokova. Izdvaja se samo rijeka Helmand, koja izvire u Hindukušu te joj se veći dio toka nalazi u Afganistanu. Ulijeva se u jezero Hamun, a važna je za navodnjavanje jednog dijela iranske pokrajine Sistan i Beludžistan (Wilber, 1981).



Slika 8. Riječni tokovi u Iranu

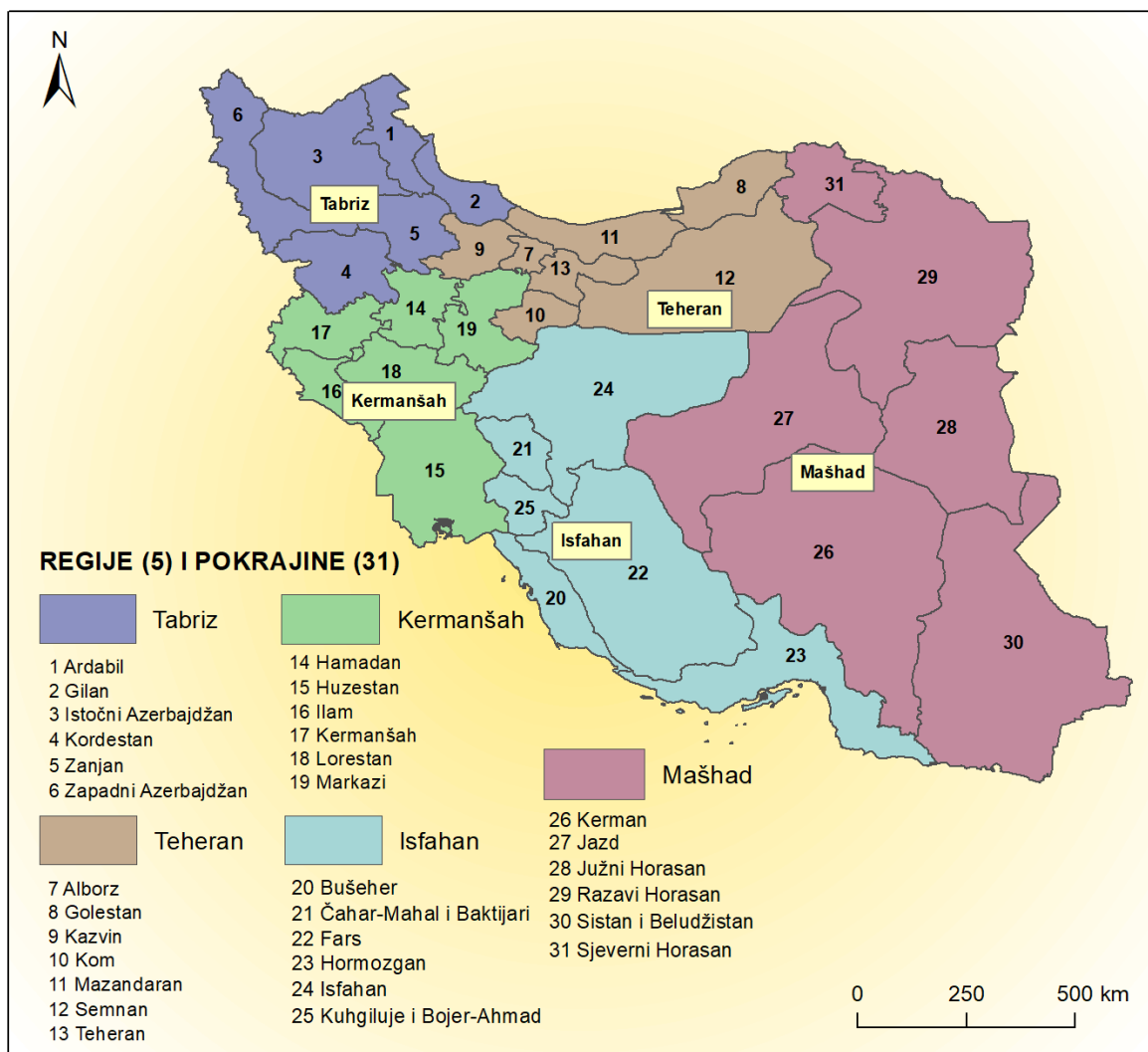
Izvor: URL 7

## 5.4. Administrativni ustroj i demografska obilježja

Od kraja 18. stoljeća pa sve do 1925. godine Iran je bio ustrojen kao apsolutistička monarhija, dok je u ostatku 20. stoljeća dolazilo do smjenjivanja vlasti. S druge strane, moderni teritorij Irana je, uz minimalne promjene, zadržan još od 1857. i potpisivanja Pariškog ugovora kojim se okončao Anglo-perzijski rat. Uz promjenu vlasti, u 20. stoljeću administrativni ustroj Irana također je bio podložan promjenama. Tako je od 1906. do 1950. Iran bio podijeljen u dvanaest pokrajina (ostāna), koje su do danas ostale administrativne jedinice prvog reda. Nakon 1950., broj iranskih pokrajina bio je smanjen, a tadašnjih deset pokrajina bile su Gilan, Mazandaran, Istočni Azerbajdžan, Zapadni Azerbajdžan, Kermanšah, Huzestan, Fars, Kerman, Horasan i Isfahan. U razdoblju 1960. – 1981. broj pokrajina počeo je rasti jer su dotadašnje administrativne jedinice drugog reda počele dobivati status prvog reda, odnosno postajale su pokrajine. Posljednja izmjena pokrajina dogodila se 2010. godine, kada se Alborz odvojio od Teherana i postao 31. iranska pokrajina. Iako u Iranu pokrajine formalno predstavljaju najviši stupanj administrativnog ustroja, važno je istaknuti i postojanje regija, koje nisu definirane ustavom niti su administrativne jedinice. Naime, Ministarstvo unutarnjih poslova Irana je 2014. podijelilo 31 pokrajinu u pet regija (Slika 9.), uzevši u obzir njihov geografski smještaj i međusobne sličnosti. Cilj kreiranja regija bilo je postizanje regionalnog razvoja, odnosno stvaranje sinergije i rješavanja problema među susjednim pokrajinama (URL 8; URL 9).

Osim redovitih izmjena administrativnog ustroja, 20. i 21. stoljeće u Iranu obilježeno je i kontinuiranim rastom stanovništva. Iran je, prema procjenama, na početku prošlog stoljeća imao 10 milijuna stanovnika, dok je taj broj porastao na 13 milijuna do 1933. godine. Upravo je prvu trećinu 20. stoljeća obilježio spori rast broja stanovnika, što potvrđuje i stopa porasta stanovništva koja je za to razdoblje iznosila 0,8 % godišnje. Međutim, trend kretanja stanovnika promijenio se početkom 1950-ih, kada je stopa mortaliteta počela padati, dok je stopa fertiliteta naglo rasla. Prema popisu stanovnika iz 1956., Iran je imao 18,9 milijuna stanovnika, a dvadeset godina kasnije već 33,7 milijuna. Posebno značajno razdoblje za iransku demografiju počelo je 1979., kada je došlo do promjene političkog režima iz monarhije u islamsku republiku. Primjenom šerijatskog zakona i pronatalitetne politike, početkom 1980-ih stopa ukupnog fertiliteta (SUF) naglo je porasla te je iznosila 6,5 djece po ženi. Ipak, nakon popisa stanovnika 1986. godine i uvođenja programa planiranja obitelji, vrlo visoke vrijednosti SUF-a počinju konstantno opadati pa je početkom 21. stoljeća SUF iznosio 2,1 živorođene djece po ženi, što je u okvirima vrijednosti koja osigurava normalnu reprodukciju i zamjenu

generacija. Zahvaljujući napretku u tehnološkom, zdravstvenom i obrazovnom sektoru, kao i sveobuhvatnom ruralnom razvoju, posljednja dva desetljeća SUF ima gotovu istu vrijednost. Prema posljednjem popisu stanovništva (2016.) Iran je imao 79,9 milijuna stanovnika, a prema najnovijim procjenama više od 85 milijuna. Medijalna starost iranskog stanovništva iznosi 32 godine, što ga svrstava u skupinu mladih zemalja u odnosu na neke azijske ili europske države, kao što su primjerice Japan (48 godina) ili Hrvatska (44 godine) (Hosseini-Chavoshi i Abbasi-Shavazi, 2012; SCI, 2016).



Slika 9. Iranske regije i pokrajine

Izvor: izrađeno prema podacima *DIVA – GIS*, URL 1

## 6. Recentne promjene jezerskih površina u Iranu

### 6.1. Jezerske površine i endoreični drenažni bazeni

Jezerske površine pripadaju vodnim resursima koji su izrazito ekološki i ekonomski značajni za područja unutar kojih se nalaze, a posebno u onima gdje prevladavaju pustinjski i polupustinjski uvjeti, kao što je slučaj u Iranu. Ekonomski značaj jezera očituje se kroz njihovo iskorištavanje u različite namjene kao što su vodoopskrba, obnova podzemnih voda i proizvodnja energije, dok se ekološki temelji na očuvanju, zaštiti te obnovi biljnog i životinjskog svijeta (Pakzad i dr., 2021).

Jezerske površine u Iranu uglavnom su smještene na području endoreičnih drenažnih bazena, a zajedničko obilježje im je velika osjetljivost na varijabilnost klime i nepovoljne antropogene aktivnosti. Uz to, sklone su gubitku vode zbog njezinog prodiranja kroz zemlju i procesa evapotranspiracije. Naime, u sušnim i polusušnim područjima, razina evapotranspiracije (zbroj atmosferskog isparavanja i transpiracije biljaka) viša je nego razina padalina. Shodno tomu, jezerske površine u Iranu većinom su periodične te u određenim dijelovima godine u potpunosti presušuju, a samo manjina njih su stalnog karaktera. Zbog visokih razina isparavanja, čija je posljedica progresivno nakupljanje soli, na prostoru Irana prevladavaju slana jezera (Yapiyev i dr., 2017).

Slana jezera i slane močvare u Iranu nastala su u depresijama različitih oblika i veličina. Najveće takvo jezero na svijetu, čija nadmorska visina iznosi -28 metara jest Kaspijsko jezero. Samo južna obala Kaspijskog jezera administrativno pripada Iranu, odnosno dio koji se nalazi sjeverno od planinskog lanca Alborz (Elburz), a osim što je jezero, ujedno je i endoreični drenažni bazen. Sjeverni dio Kaspijskog jezera plići je u odnosu na središnji i južni dio, a razlog tomu su veliki riječni nanosi na ušću Volge i ostalih manjih rijeka (Slika 10.). Tako je prosječna dubina sjevernog dijela jezera samo pet metara, dok u središnjem dijelu iznosi 192 metra, a u južnom 345 metara. Ipak, najveća izmjerena dubina Kaspijskog jezera iznosi 1.025 metara, što je vrijednost dubine koja je svojstvena velikim morima, kao što je Sredozemno (Planhol, 1990).



Osim razlika u dubini, dijelovi Kaspijskog jezera na sličan se način razlikuju i po salinitetu. Naime, salinitet jezera se, zbog ušća brojnih rijeka, povećava od sjevernog prema južnom dijelu. Primjerice, na području ušća Volge vrijednost saliniteta iznosi 1 ‰, a u izoliranom zaljevu Kara-Bogaz-Gol čak 350 ‰. Prosječna vrijednost saliniteta je 13 ‰, što ukazuje na to da je voda u Kaspijskom jezeru blago slana (Planhol, 1990).



Slika 10. Dijelovi Kaspijskog jezera i njihove dubine

Izvor: Mityagina i dr., 2019.

Iako se Kaspijsko jezero cijelom površinom ne nalazi unutar teritorija Irana, ono je kao i većina iranskih jezera izloženo recentnim promjenama površine. Predviđa se kako će razina vode u Kaspijskom jezeru do kraja 21. stoljeća pasti za 9 –18 metara. Kao uzrok toga ističe se značajno povećanje razine isparavanja, a opskrba jezera vodom neće biti povećana zbog gradnje brana na rijekama i nedovoljne količine padalina (Prange i dr., 2020).

U pustinjskoj unutrašnjosti Irana vlažna razdoblja vrlo su kratka i rijetka, ali se ponekad za vrijeme njihovog trajanja voda nakuplja u postojećim suhim koritima, što dovodi do pojave sezonskih slanih jezera ili močvara. Ipak, zbog ekstremnih klimatskih uvjeta većina korita ostaje godinama suha, a na njihovoj površini oblikuje se tvrda slana kora, koja je specifična za slana jezera. U Iranu se takvi slani slojevi različitih debljina definiraju kao *kavir*, što je ujedno naziv za tip pustinje koja prevladava na prostoru Iranske visoravni (Fisher, 1968; Finlayson, 2018).

Stotinjak kilometara istočno od Koma i 130 kilometara južno od Teherana smješteno je jezero Namak, čiji istočni dio graniči s Velikom slanom pustinjom (Dasht-e Kavīr), odnosno njezinim zapadnim dijelom koji ima status nacionalnog parka. Jezero Namak u literaturi je poznato i pod nazivom Slano jezero, a razlog je prekrivenost njegovog korita slojevima soli različitih debljina (od 5 do 54 m) (Slika 11.). Iako mu površina iznosi 1.806 km<sup>2</sup>, većina jezera je suho i prekriveno slanim naslagama koje su na sjevernom dijelu korita dosta tvrđe u odnosu na muljeviti južni dio (Nodefarahani i dr., 2020). Uzevši u obzir standardni izgled jezera, Namak zbog svoje muljevitosti i plitkosti, koja varira od 45 cm do jednog metra, više nalikuje slanoj močvari (*salt marsh*) nego jezeru.



Slika 11. Nakupine slanih sedimenata na površini jezera Namak

Izvor: URL 10

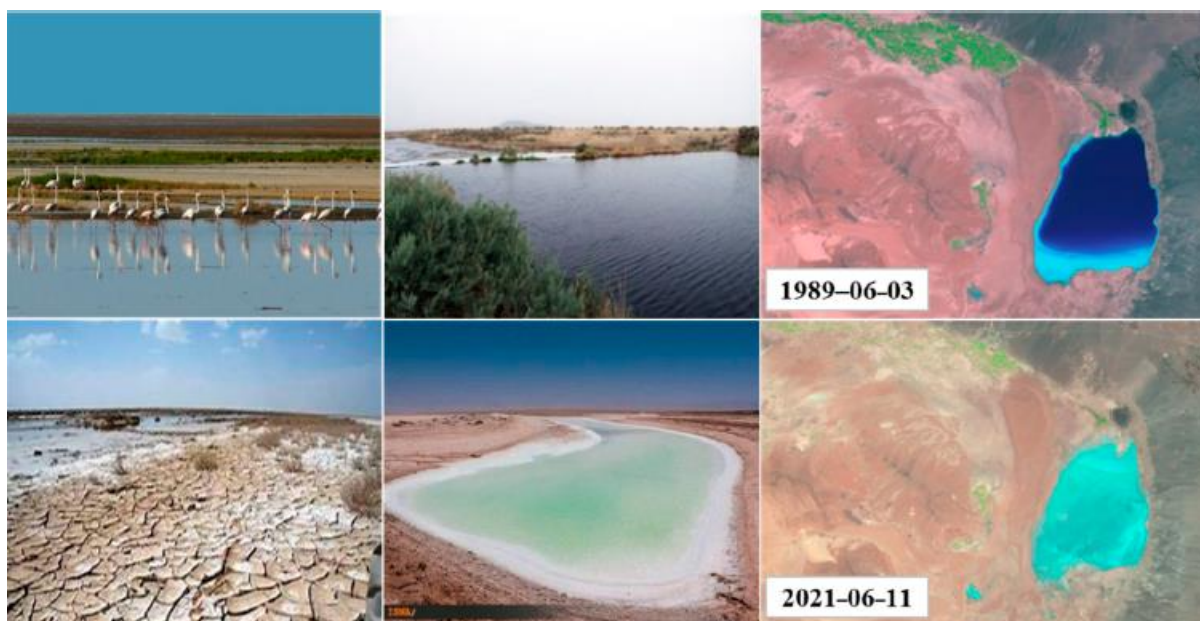
Što se tiče drenažnog bazena jezera Namak, njegova površina iznosi 92.560 km<sup>2</sup>, odnosno zauzima oko 5 % površine Irana. Najviše vode u jezero dospije površinskim otjecanjem rijeke Kom, koja je glavna rijeka drenažnog bazena. Druge važne rijeke su Jajrud i Karaj, ali se količina vode kojom su nekoć snabdijevale jezero značajno smanjila nakon izgradnje brana (Amir Kabir i Latyan) u gornjem toku obiju rijeka. S obzirom na to da je korito jezera Namak veći dio vremena u potpunosti suho, izgledna je pojava dezertifikacije i širenja pustinjske prašine na području drenažnog bazena u kojem je smještena četvrtina stanovništva u Iranu (Nodefarahani i dr., 2020) (Sheikh i dr., 2020).

Osim jezera Namak, još je nekolicina slanih jezera i močvara smješteno u kotlinama istočno od Zagrosa. Među njima se može izdvojiti Gavkhouni, slano jezero u kojem svoj tok završava Zayandehrud, najvažnija i najveća rijeka na području visoravni. Ovo jezero ima izrazitu ekološku i gospodarsku vrijednost za grad Isfahan i istoimenu pokrajinu u središnjem dijelu Irana. Zbog bogate flore i faune te niskih vrijednosti dubina (80 –150 cm) Gavkhouni se u literaturi češće definira kao slana močvara. Još jedan razlog svrstavanja pod močvare jest to što je od 1975. područje koje obuhvaća jezero, ali i donji tok Zayandehruda (površine 476 km<sup>2</sup>) zaštićeno Ramsarskom konvencijom<sup>5</sup> kao međunarodno močvarno područje.

Drenažni bazen jezera Gavkhouni površine je 41.524 km<sup>2</sup> i smatra se najvećom i najvažnijom poljoprivrednom, industrijskom i urbanom zonom središnjeg Irana. Klima na prostoru bazena značajno varira, što je posebno vidljivo u prosječnoj količini padalina koja se kreće između 50 i 1.500 mm, a smanjuje se od zapadnog (uz Zagros) prema istočnom dijelu, u kojemu se nalazi jezero Gavkhouni. Iako je nekoć Zayandehrud, glavna rijeka ovog drenažnog bazena, bila izdašnija vodom, posljednjih je godina zbog njezinog presušivanja u donjem toku jezero Gavkhouni gotovo postalo solana (Slika 12.). Osim suše, temeljni uzroci presušivanja Zayandehruda, a zatim i nestašice vode u drenažnom bazenu su loše upravljanje vodnim resursima i pretjerano iskorištavanje vode za navodnjavanje (Zaki, 2020; Azadi i dr., 2022).

---

<sup>5</sup> Ramsarska konvencija je međunarodna konvencija o očuvanju i održivom korištenju močvara, a donesena je 2. veljače 1971. u iranskom gradu Ramsaru. Tekst dogovora o zaštiti i očuvanju vlažnih područja do sada je potpisala i prihvatila 171 država, a prema podacima iz 2018. na popisu močvara od međunarodnog značaja nalazilo se 2331 ramsarsko područje (pet ih je u Republici Hrvatskoj) (URL 11).



Slika 12. Stanje jezera (močvare) Gavkhouni 1989. i 2021.

Izvor: Azadi i dr., 2022.

U pokrajini Fars, nekoć domovini drevnog perzijskog naroda, nalazi se slikovito slano jezero Maharlu. Smješteno je u povišenoj sinklinalnoj ravnici, na nadmorskoj visini od 1.453 m, a udaljeno je svega 15 km od sjedišta pokrajine, grada Shiraza (Slika 13.). Smjer pružanja jezera je SZ-JI, što je jednako smjeru pružanja obližnjeg planinskog sustava Zagros, koji ima utjecaj na hidrološke i hidrogeološke značajke Maharlua. Kao i kod ostalih slanij jezera u Iranu, razina vode u koritu i površina koju Maharlu obuhvaća ovise o godišnjem dobu, količini padalina, razini evaporacije itd. Do sada najveća zabilježena dubina u koritu iznosi tri metra, dok je najveća zabilježena površina 250 km<sup>2</sup>. Maharlu se snabdijeva vodom iz izravnih padalina, ali i iz sezonskih rijeka, planinskih potoka i krških izvora koji površinski i podzemno otječu prema njemu. Rijeka Khoshk, koja prolazi kroz Shiraz, ima najveći protok u pripadajućem endoreičnom drenažnom bazenu površine 4.255 km<sup>2</sup> i značajno utječe na kemijski sastav Maharlua (Faghieh i dr., 2012; Zare i dr., 2020).

Visoka godišnja stopa evaporacije (oko 2.400 mm), slane kupole (dijapiri) i naslage gipsa u blizini jezera utjecale su na salinitet jezera koji iznosi ekstremnih 250 ‰, što je vrijednost svojstvena pojedinim dijelovima Mrtvog mora. Zbog toga je jezero siromašno ribom (zabilježena samo jedna vrsta), a prevladavaju različite vrste algi zahvaljujući kojima Maharlu ima privlačnu i neobičnu boju. Također, unatoč kolebanju vrijednosti površine i iznimno niskom vodostaju, Maharlu nema trend potpunog presušivanja kao druga jezera u pokrajini Fars, ponajprije Tashk i Bakhtegan (Afsar, 2004; Faghieh i dr., 2012;).



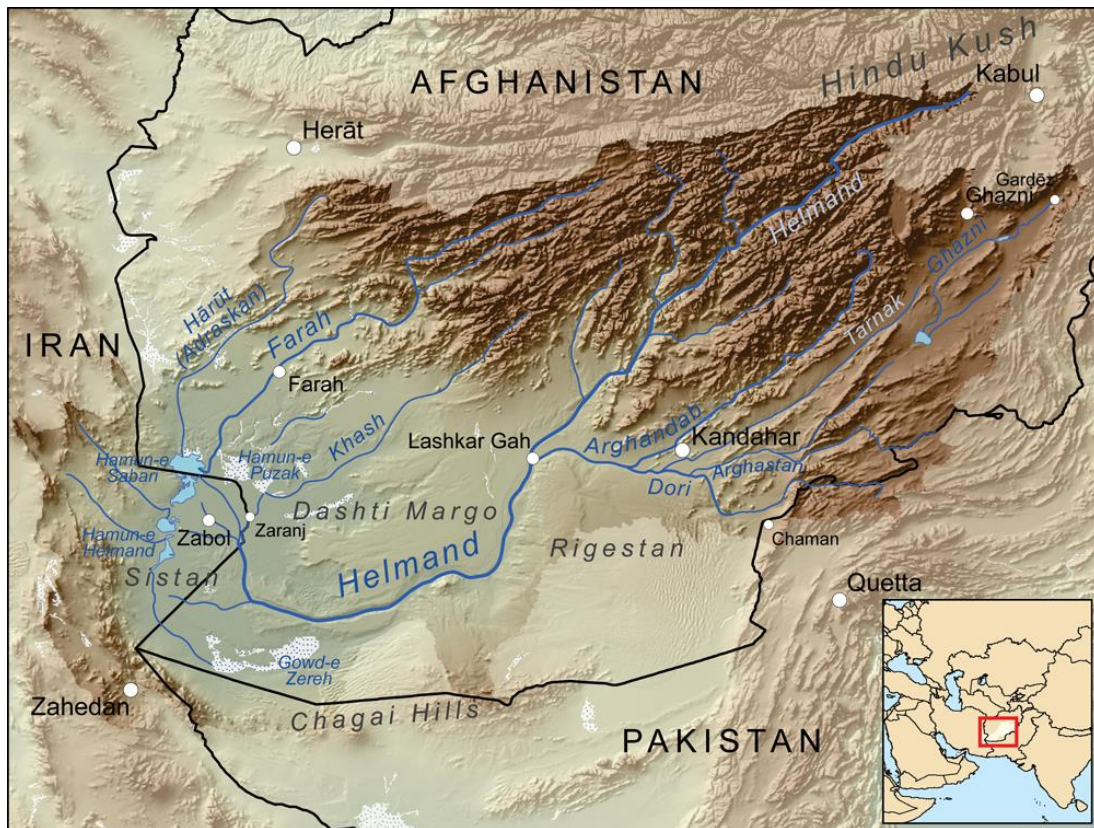
Slika 13. Satelitska snimka jezera Maharlu i grada Shiraza

Izvor: URL 12

Istočno od Iranske visoravni, odnosno u pokrajinama Kerman te Sistan i Beludžistan na granici s Afganistanom, pustinjski uvjeti sve su više izraženi. Stoga je postojanje jezerskih površina i močvarnih predjela rijetko, ali vrlo značajno za lokalno stanovništvo. Njihovi nazivi često sadržavaju prefiks *hamun*, što se odnosi na pustinjska jezera ili močvarna područja sezonskog karaktera koja se pojavljuju na prostoru istočnog Irana, južnog Afganistana i zapadnog Pakistana.

Jedno od tih jezera je Hamun-e Jaz Murian smješteno u reljefnoj depresiji na granici između pokrajina Kerman i Sistan i Beludžistan. Depresija je ujedno i drenažni bazen jezera, a prosječna nadmorska visina joj je 360 m te se prostire na površini veličine 69.600 km<sup>2</sup>. Okružena je stjenovitim i sušnim planinskim lancima visokih 2.000 – 2.500 m. Jezero se pojavljuje sezonski na zapadnom dijelu depresije, a zbog specifičnih klimatskih uvjeta i visoke razine evaporacije, preko 50 % Jaz Muriana većim dijelom godine postaje blatna močvara, čija je voda prezasićena solju. Uslijed dugotrajnog nedostatka padalina i nedovoljnog opskrbljivanja vodom iz glavnih pritoka (Bampur i Halil), ovo jezero godinama presušuje u potpunosti. Nasuprot tome, tijekom vlažnijih godina zadržava vodu zimi i u proljeće, a ljeti mu se površina smanjuje ljeti (Ghorbani, 2013; Rashki i dr., 2017).

Posebno važno za područje istočnog Irana je jezero Hamun-e Helmand, koje se nalazi u graničnom području Irana i Afganistana, a administrativno pripada pokrajini Sistan i Beludžistan. Klimatski uvjeti koji su prisutni na prostoru ove pokrajine svrstavaju se među najnepovoljnije u cijelom svijetu. Razlog su ekstremno sušna i vruća razdoblja te vjetrovitost, odnosno pojava meteorološko-atmosferskog fenomena naziva „vjetar od 120 dana“. On je redovito prisutan u četveromjesečnom razdoblju svibanj-rujan, a svojim puhanjem raznosi dijelove sedimenata, čime doprinosi trajnoj eroziji deflacijom i izaziva pješčane oluje. Stoga je u ovakvim uvjetima gotovo nemoguće postojanje jezerskih površina stalnog karaktera, no zahvaljujući rijeci Helmand dolazi do sezonskog pojavljivanja jezera Hamun-e Helmand, kao i još dva jezera s kojima tvori kompleks jezera Hamun. Naime, na granici Irana i Afganistana rijeka Helmand dijeli se u dva rukavca, Sistan i Parian. Ogranak Sistan svoj tok završava u najnižem dijelu istoimenog endoreičnog drenažnog bazena i time vodom snabdijeva jugozapadni dio kompleksa, odnosno jezera Hamun-e Saberi te Hamun-e Helmand, koje se u potpunosti nalazi unutar iranskog teritorija (Slika 14.). S druge strane, ogranak Parian teče duž granice Irana i Afganistana i ulijeva se u jezero Hamun-e Puzak, koje pripada Afganistanu. Osim rijeke Helmand koja osigurava više od 75 % dotoka vode, jezera snabdijevaju i rijeke Khash, Harut i Farah. (Ehlers, 2003; Rashki i dr., 2013; Sharifikia, 2013).



Slika 14. Drenažni bazen kompleksa jezera Hamun

Izvor: URL 13

U proljetnim mjesecima, nakon otapanja snijega na obroncima Hindukuša i veće količine padalina, površina jezera je najveća. Međutim, pojava dugotrajnih suša na prostoru drenažnog bazena u protekla dva desetljeća uzrokovala je povećanje razine evaporacije, a zatim potpuno presušivanje jezera u periodima od nekoliko mjeseci. Na smanjenje površine jezera utjecala je i gradnja brana na rijeci Helmand u Afganistanu za potrebe navodnjavanja poljoprivrednih površina lokalnog stanovništva. Unatoč visokim stopama evaporacije i okruženost nepovoljnim pustinjskim uvjetima, Hamun je slatkovodno jezero, koje ima nisku koncentraciju otopljenih čvrstih tvari (minerala, soli, metala i sl.). Maksimalni salinitet vode u jezeru tijekom kasnog ljeta doseže do 2,5 ‰, a tijekom proljetne sezone poplava drastično se smanjuje na 0,3 ‰. Zbog toga je Hamun oduvijek predstavljalo oazu stanovništvu ravnice Sistan, ali i raznolikoj flori fauni. Iranska vlada je veći dio kompleksa, odnosno jezera Helmand i Saberi proglasila Ramsarskim područjem još 1975. godine (Rashki i dr., 2013; Sharifikia, 2013; Hamzeh i dr., 2016).

Hamun nije jedino slatkovodno jezero u pustinjskom dijelu Irana. U pokrajini Fars na jugozapadu zemlje smješteno je jezero Parishan, koje je zbog svoje bioraznolikosti od 1975. zaštićeno Ramsarskom konvencijom, a od 1976. nalazi se na UNESCO-ovom popisu rezervata biosfere. Ovisno o godišnjem dobu i vremenskim uvjetima (pojava suše), površina Parishana varira između 0 km<sup>2</sup>, odnosno potpunog presušivanja i 52 km<sup>2</sup>, što je dosad maksimalna izmjerena vrijednost. Za razliku od jezera Hamun, Parishan nema stalnih pritoka pa mu opskrba vodom ovisi isključivo o padalinama, čija prosječna godišnja vrijednost ne prelazi 250 mm. Na promjenu površine jezera utjecalo je, osim klimatskih ekstrema, iskopavanje više od 800 dubokih bunara oko jezera, uz pomoć kojih su se zalihe podzemne vode iskoristavale za navodnjavanje poljoprivrednih površina. Unatoč tomu što je slatkovodni rezervoar, voda iz jezera nije pogodna za piće. Dijelom je to rezultat porasta ljudskih naselja i turističkih mjesta u regiji, koji su uzrokovali porast smeća bez stvaranja odgovarajuće infrastrukture za sanitarno odlaganje (Jones i dr., 2015; Jahanbakhsh Ganjeh i dr., 2017).

Slatkovodna jezera nisu rijetka pojava u područjima Irana gdje su klimatski uvjeti povoljniji. Međutim, površinom su znatno manja u odnosu na slana jezera, zbog čega se većinom iskoristavaju u turističke svrhe. Uzevši u obzir način njihovog nastanka, prevladavaju jezera tektonskog podrijetla. Jedno od poznatijih iranskih slatkovodnih jezera tektonskog podrijetla jest Zarivar (Zrebar) u pokrajini Kordestan (Kurdistan) na zapadu Irana. Ovo jezero nastalo je uslijed intenzivne erozije geoloških formacija u sjevernom, naboranom dijelu Zagrosa (Khoram i Hoshmand, 2011). Nalazi se na 1.285 m nadmorske visine, dužine je oko pet kilometara, a površine 8,9 km<sup>2</sup>. Zarivar nema pritoka, stoga ga vodom snabdijevaju padaline koje otječu s okolnih planina (prosječna godišnja vrijednost oko 650 mm) i izvori smješteni na dnu jezera. Zajedno s močvarnim kompleksom u neposrednoj blizini uvršteno je u još jedno područje zaštićeno Ramsarskom konvencijom. Krajolik koji okružuje Zarivar obilježavaju planine, šume i brojne oranice, zbog čega se nalazi u samom vrhu turističke ponude Irana (Nhu i dr., 2020b).





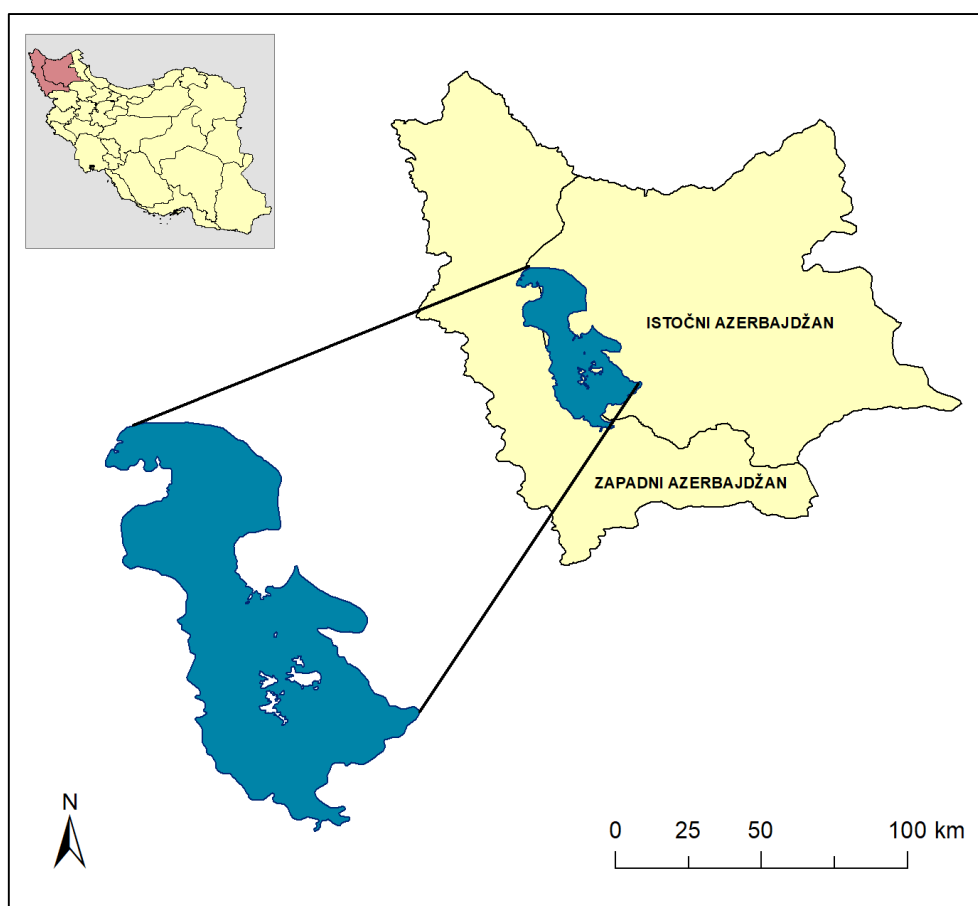
Slika 15. Jezero Zarivar i obližnji krajolik

Izvor: URL 14

Ostala slatkovodna jezera nastala tektonskim aktivnostima uglavnom su smještena na padinama planinskog lanca Alborz (Elborz) na sjeveru Irana. Neka od poznatijih među njima su jezero Valašt u pokrajini Mazandaran i Tar u pokrajini Teheran. Nastanak Valašta povezuje se s aktivacijom klizišta u najvišem dijelu doline Valašt, koja se pruža u smjeru SZ-JI. Ovo jezero se, kao i Zarivar, vodom napaja izravnim padalinama i drenažom s okolnih padina te podzemnom vodom iz manjih izvora (Ehteshami-Moinabadi i Nasiri, 2019). Jezero Tar smješteno je u rasjednoj istočno od grada Damavand na nadmorskoj visini od gotovo 3.000 m te pripada skupini planinskih slatkovodnih jezera. S obzirom na snježno-šumsku klimu koja prevladava na ovom prostoru, veliki udio vode u Tar dopijeva pritocima koji nastaju topljenjem snijega na okolnim planinama (Sharifi i dr., 2021). Uz sva prirodna, na prostoru Irana nalaze se brojna umjetna jezera nastala izgradnjom brana na rijekama, čija je prvotna uloga bila smanjivanje gubitka vode i stvaranje važnih vodospremnika. Međutim, njihova nekontrolirana gradnja u posljednjih nekoliko desetljeća izazvala je presušivanje rijeka, a zatim i jezera.

### 6.1.1. Jezero Urmia

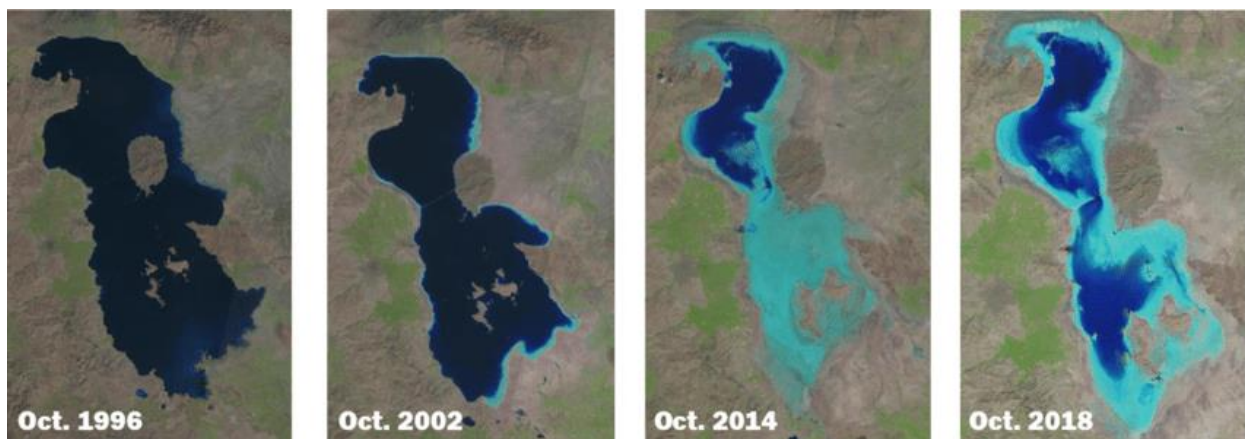
Posebnu pozornost prilikom proučavanja recentnih promjena jezerskih površina pridaje se Urmiji, najvećem iranskom jezeru koje je od kraja 20. stoljeća suočeno s intenzivnim smanjenjem površine. Ovo slano jezero u sjeverozapadnom dijelu Irana gospodarski je značajno za cijelu državu, a posebno za pokrajine Istočni i Zapadni Azerbajdžan kojima administrativno pripada (Slika 16.). Uz to, Urmia je jedan od najvrjednijih ekosustava koji zajedno s pripadajućim otočićima ima status nacionalnog parka i Ramsarskog područja, a od 1976. nalazi se i na popisu UNESCO-ovih rezervata biosfere. Ovo jezero ujedno je stanište endemske vrste rakova *Artemia urmiana*, koji su izvor hrane za velike populacije ptica poput pelikana, plamenaca i čaplji (Jalili i dr., 2016).



Slika 16. Geografski smještaj jezera Urmia

S geološkog gledišta, Urmia je smještena u središtu depresije koja je nastala uslijed aktivnosti rasjeda Tabriz i Veliki Zagros. Ovi rasjedi, kao i planinski lanci sjeverozapadnog Irana, pripadaju tektonski vrlo aktivnom području, odnosno zoni sudaranja Arapske i Euroazijske litosferne ploče te sabijanja Iranske i Turske mikroploče. Bez obzira na to što se

Urmia nalazi na području nižem u odnosu na okolne planinske sustave, njegova nadmorska visina iznosi 1.273 m. Što se tiče površine jezera, ona se u samo nekoliko desetljeća znatno promijenila, odnosno smanjila (Slika 17.). Maksimalne vrijednosti površine izmjerene su krajem osamdesetih i početkom devedesetih godina prošlog stoljeća, a iznosile su 5.000 – 6.000 km<sup>2</sup>. Međutim, nakon 1995. započelo je progresivno opadanje površine pa je npr. nakon šesnaest godina njezina vrijednost iznosila 2.366 km<sup>2</sup> (kolovoz 2011.), a nakon dvadeset godina 1.750 km<sup>2</sup> (proljeće 2015.). Zabrinjavajuće stanje Urmije potaknulo je lokalne i državne vlasti na pokretanje programa obnove jezera, zahvaljujući kojem je posljednjih godina primjetan blagi porast njegove površine. U istom vremenskom razdoblju, zabilježen je i negativan trend vrijednosti dubine jezera. Nekoć je, ovisno o dijelu jezera (sjeverni dio je dublji u odnosu na južni), dubina iznosila 8 – 12 m, dok je maksimalno izmjerena vrijednost 16 m. No, nakon gubitka velikog dijela površine, voda u koritu jezera ne prelazi 1,5 m čak ni u vrijeme proljetnog maksimuma. Opadanja vrijednosti površine i dubine jednim su dijelom uvjetovala porast saliniteta jezera, čiji današnji prosjek iznosi oko 30 ‰. Međutim, vrijednosti saliniteta nisu jednake u svim dijelovima Urmije. Izgradnjom nasipa jezero je podijeljeno na dva jednaka dijela između kojih voda slabije cirkulira zbog uskog prolaza. Sjeverni dio Urmije slaniji je u odnosu na južni, a razlog su manji broj riječnih pritoka koji imaju ušće na tom području, ali i izgradnja nasipa u najužem dijelu jezera kojim je smanjena cirkulacija vode između sjevernog i južnog dijela (Talebi i dr., 2016.; Sharifi i dr., 2018).



Slika 17. Satelitske snimke promjene površine Urmije (1996. – 2018.)

Izvor: USGS 2019; prema Schmidt i dr., 2021.

Kao i većina iranskih jezera, Urmia se nalazi na području zatvorenog, tj. endoreičnog drenažnog bazena površine oko 52.000 km<sup>2</sup> (3,25 % površine Irana). Kada je riječ o topografiji bazena, prevladava planinski teren (65 % površine) koji ga okružuje i jasno odvaja od ostalih drenažnih bazena. Središte bazena zauzimaju prostrane poljoprivredne ravnice (21 % površine), a samo jezero i njegovo okolno područje zauzimaju 14 % površine bazena. Takva kružna struktura pogodovala je slijevanju pritoka različitih duljina prema jezeru smještenom u središtu bazena. Upravo riječno otjecanje prevladava u snabdijevanju Urmije vodom, što nije slučaj kod ostalih slanih jezera u Iranu, čije napajanje većinski ovisi o padalinama. To je i jedan od razloga zašto Urmia, bez obzira na značajan gubitak površine, još uvijek pripada jezerima stalnog karaktera. Od trinaest rijeka koje izravno utječu u jezero, najvažnije su Zarrineh Rud i Simineh Rud, koje se ulijevaju s juga te Aji Chay koja prolazi kroz Tabriz i utječe u Urmiju s istoka. Manji udio dotoka vode (oko 25 %) u jezero osiguravaju površinsko otjecanje, padaline te resursi podzemne vode (Ehlers, 2013; Saemian i dr., 2020).

Obilježja drenažnih bazena usko su povezana s godišnjim promjenama površine jezera i razine vode u njihovim koritima. U slučaju Urmije, topografska i klimatska obilježja drenažnog bazena imaju najveći utjecaj na godišnji ciklus jezera. Prema Köppenovoj klasifikaciji, većina područja slijeva Urmije ima hladnu stepsku klimu (BSk). To je podtip suhe klime kojeg obilježavaju topla i suha ljeta s temperaturama višim od 35 °C te vrlo hladne zime u kojima temperature mogu biti -20 °C, a čak i niže. Ipak, dugoročnim prikupljanjem podataka (60 i više godina) na meteorološkoj postaji u blizini jezera izračunata je prosječna godišnja temperatura od 11,6 °C i prosječna godišnja količina padalina u vrijednosti 339 mm. Što se tiče godišnjeg režima padalina, vlažna sezona traje sedam mjeseci u godini, s tim da je u razdoblju studeni – prosinac vrhunac snježnih padalina, a u razdoblju ožujak – svibanj proljetnih kiša. Shodno ovim klimatskim obilježjima, godišnji protok rijeka, a time i vodostaj te površina jezera, najveći su u kasno proljeće. Južni pritoci uglavnom osiguravaju dotok slatke vode iz otopljenog snijega, dok je voda koja dotječe sjevernim pritocima slanija i boćata, što je posljedica otopljenih soli sakupljenih protjecanjem tih pritoka suhim i slanim područjima (Zeinoddini i dr., 2015; Talebi i dr., 2016).

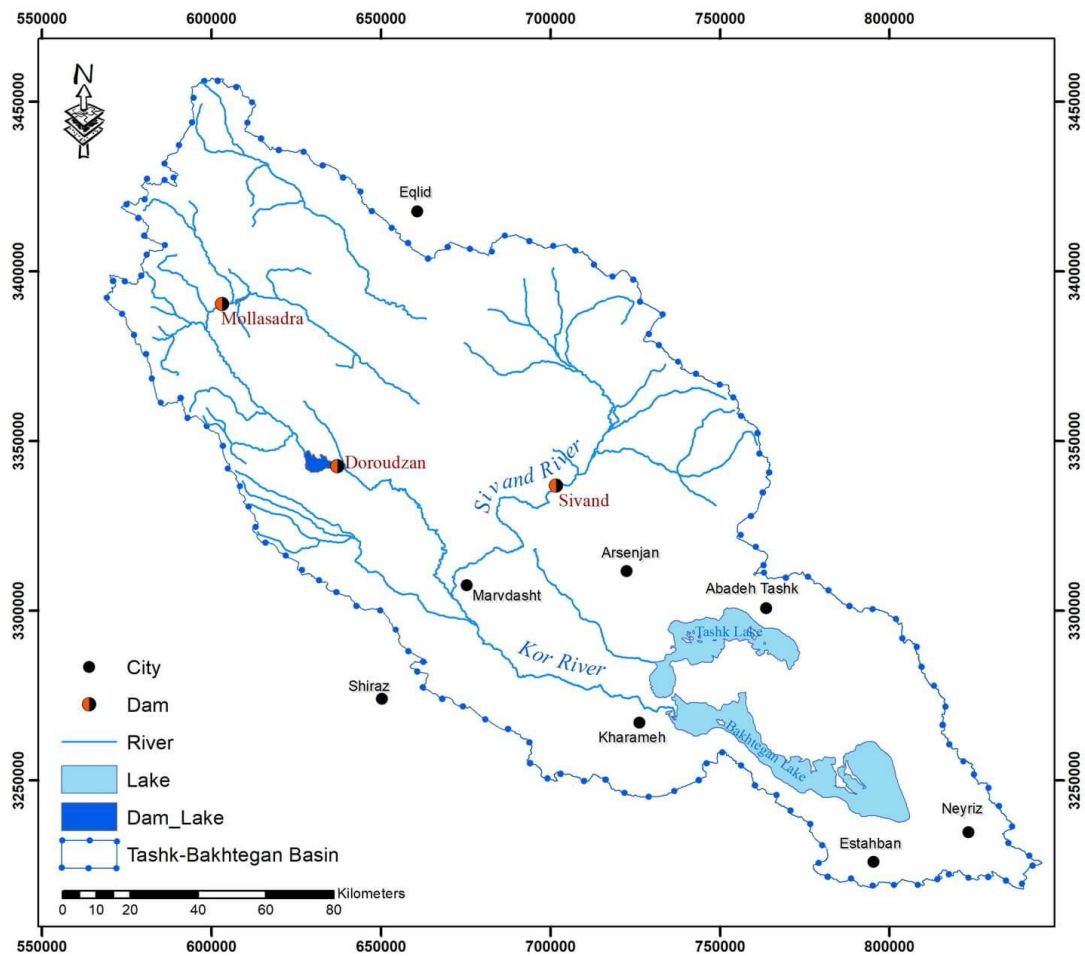
Za razliku od godišnjih oscilacija površine i vodostaja koje se mjere u centimetrima i posljedica su režima temperature i padalina na području drenažnog bazena, dugoročne oscilacije Urmije značajne su i zabrinjavajuće jer su izravan pokazatelj hidrološke i ekološke ranjivosti jezera. S obzirom na to da je Urmia endoreično jezero, odnosno nema značajnog istjecanja vode, jedini način na koji voda napušta jezero je isparavanjem. Iako su klimatske varijabilnosti česta pojava na području drenažnog bazena Urmije te su oduvijek utjecale na fluktuacije jezera, tijekom posljednjih nekoliko desetljeća zabilježena su dugotrajna sušna razdoblja, značajno smanjenje padalina i kontinuiran rast temperatura zraka. To je posljedično izazvalo povećanje stope evaporacije, a time i smanjilo izravnu opskrbu jezera vodom. No, stopa isparavanja zajedno sa svim prirodnim čimbenicima nije jedini uzrok kontinuiranog smanjivanja površine Urmije. Znanstvena zajednica uglavnom je složna da je ljudsko djelovanje također imalo veliku ulogu. Kako bi se proširile poljoprivredne površine koje su iznimno važne za život iranskog stanovništva, u posljednja tri desetljeća izgrađeno je preko 50 brana na rijekama unutar drenažnog bazena Urmije. Osim toga, izgrađeni su cjevovodi za preusmjeravanje vode te stanice za crpljenje podzemne vode. Iako je dokazano kako su prirodni i antropogeni čimbenici uzrok recentnog opadanja površine Urmije, još uvijek ne postoji jedinstveni zaključak o tome koji su čimbenici prevladali (Ehlers, 2013; Schmidt i dr., 2021).

### 6.1.2. Jezera Bakhtegan i Tashk

U sjeveroistočnom dijelu pokrajine Fars, istočno od Shiraza, smještene su slana jezera Bakhtegan i Tashk, koja su u prošlosti za vrijeme visokog vodostaja tvorila jedinstvenu jezersku površinu, poznatu pod nazivom Neyriz. Međutim, zbog recentnog smanjenja površine potaknutim sličnim uzrocima kao i u slučaju ostalih iranskih jezera, spajanje Bakhtegana i Tashka danas je rijetka pojava. Ova jezera smještene su istočno od završnog dijela Zagrosa te su posljednja u nizu jezera koja se nalaze u kotlinama istočno od padina najvećeg planinskog masiva u Iranu. Nastanak kotline u kojoj se nalaze Tashk i Bakhtegan, kao i ostalih kotlina na prostoru njihovog drenažnog bazena, povezan je se geološkim aktivnostima u Zagrosu. Naime, njegova prepoznatljiva kompaktna struktura narušena je u južnom dijelu, gdje se višestrukim rasjedima oblikovao krajolik u kojemu se izmjenjuju visoke antiklinale i sinklinale, odnosno kotline ispunjene sedimentima erozije. S obzirom na nepovoljne klimatske uvjete u tom području Irana, većina kotlina je suha pa je postojanje Bakhtegana i Tashka vrlo značajno za pokrajinu Fars. Njihovu važnost potvrđuje i to što su, zbog nekadašnje iznimne bioraznolikosti, uvršteni na listu Ramsarskih područja 1975. godine, a Bakhtegan od 1995. ima i status nacionalnog parka. Naime, u jezeru i na području oko njega pronađene su brojne vrste sisavaca, gmazova i riba te čak 218 vrsta ptica (Vahidipour i dr., 2021).

U načelu su Bakhtegan i Tashk jezera stalnog karaktera, no zbog sve češćih presušivanja mogu se svrstati i u skupinu sezonskih jezera. Prema podacima koji su prikupljeni u posljednjih nekoliko godina, površina Bakhtegana za vrijeme vlažne sezone iznosi 750 – 850 km<sup>2</sup>, a Tashka 250 – 400 km<sup>2</sup>. Sklonost presušivanju obaju jezera može se povezati i s prosječnom dubinom vode koja iznosi oko pola metra, dok je maksimalna izmjerena dubina vode tri metra. Drenažni bazen Bakhtegana i Tashka površine je 31.511 km<sup>2</sup> te u širem smislu pripada velikom pustinjском drenažnom bazenu. Planinski teren zauzima veći dio površine, oko 16.600 km<sup>2</sup>, što je vidljivo i u vrijednostima maksimalne i minimalne nadmorske visine. Maksimalna nadmorska visina bazena iznosi 2.930 m, a minimalna 1.545 m. Na oko 60 % površine bazena prisutna je stepska klima, dok su na ostatku područja raspoređene pustinjska, ali mediteranska klima (Csa). Prosječna godišnja temperatura zraka je 19 °C, a prosječna godišnja količina padalina (za razdoblje 1968. – 2018.) iznosi 232 mm. Ipak, prilikom tumačenja ovih podataka treba uzeti u obzir recentnu klimatsku promjenu, koja je vjerojatno utjecala na dosadašnje prosječne vrijednosti klimatskih elemenata (Ghader, 2018; Zaki i dr., 2019; Vahidipour i dr., 2021).

Glavna i jedina stalna rijeka u drenažnom bazenu je Kor, koja izvire u Zagrosu i dužine je 280 km. Kor ima nekoliko pritoka, a najveća i najvažnija je Sivand, rijeka čiji rukavci izvire u gorjima sjeveroistočnog dijela pokrajine Fars (Slika 18.). Nekada je u donjem dijelu svog toka rijeka Kor protjecala kroz močvare Kamjan i Doshakh te se naposljetku ulijevala u jezero Bakhtegan. U ovim se močvarama prije 1980-ih sakupljala voda koja je dolazila otjecanjem te višak vode koje biljke ili tlo nisu sadržale prilikom navodnjavanja. Potom se sakupljena voda polako i kontinuirano ispuštala u jezero Bakhtegan, zbog čega nije postojao strah od presušivanja jezera (Torabi Haghighi i Kløve, 2017; Ghader, 2018).



Slika 18. Drenažni bazen jezera Bakhtegan i Tashk

Izvor: URL 15

Međutim, u posljednja dva desetljeća uslijed razvoja sustava navodnjavanja u ravnici Korbal, smještenoj između gradova Kharameh i Marvdasht močvare su u potpunosti presušile. Na njihovo presušivanje utjecalo je još i smanjenje protoka rijeke Kor. Naime, prekomjernim iskorištavanjem vode za potrebe stanovništva, pojavom dugotrajnih sušnih razdoblja, a posebno izgradnjom brana protok se smanjio na manje od  $1 \text{ m}^3/\text{s}$ . Iako je reguliranje toka Kora započelo prije više od tisuću godina izgradnjom brane Band-e Amir, otvaranje brana Douroudzan 1973. i Mollasadre 2006. utjecalo je na značajno povećanje količine vode koja se skretala prema poljoprivrednim područjima u svrhu njihovog navodnjavanja. Na smanjenje vrijednosti protoka utjecala je i izgradnja brane Sivand na glavnoj pritoci Kora. Kako je ova rijeka temeljni izvor vode za Bakhtegan, sve promjene vezane za njezin tok posljedično su se odrazile na jezero, odnosno izazvale su njegovo potpuno presušivanje 2007., koje se nastavilo sve do danas. S obzirom na to da se zbog niskog vodostaja posljednjih desetljeća Bakhtegan više ne spaja sa susjednim jezerom, problem nestajanja površine prisutan je i kod jezera Tashk, u kojega voda iz glavne rijeke drenažnog bazena više ne dotječe. Ono se opskrbljuje vodom iz malog izvora Gomban (protoka  $0,7 \text{ m}^3/\text{s}$ ) te iz prirodnih i umjetnih drenažnih kanala na području oko jezera. Trenutno stanje Bakhtegana i Tashka ukazuje na to da količina vode koja dotječe rijekama i drenažnim kanalima, kao i ona dobivena padalinama i sezonskim poplavama, nije dostatna za održavanje njihove stalnosti jer su oba jezera većinu godine u potpunosti suha (Torabi Haghighi i Kløve, 2017; Vahidipour i dr., 2021).

Osim gubitka vode na površini, odnosno u rijekama i jezerima, drenažni bazen Bakhtegana i Tashka suočen je i s intenzivnim gubitkom podzemne vode, koja je temelj društvene i gospodarske stabilnosti tog područja. Na prostoru drenažnog bazena raspoređeni su aluvijalni vodonosnici ukupne površine  $10.564 \text{ km}^2$  i prosječne debljine 30 – 50 m. Donedavno je, zbog dostupnosti, relativno dobre kvalitete i niskih troškova eksploatacije, podzemna voda bila najpouzdaniji i najkorisniji izvor vode u pokrajini Fars. Međutim, uslijed nedostatka površinske vode u drenažnom bazenu, u posljednjih nekoliko godina pretjerano se iskorištavaju podzemne vode, što je uzrokovalo iscrpljivanje njezinih zaliha. Naime, godišnje se u pokrajini Fars iz 40.000 bunara i bušotina crpi oko 4 milijarde  $\text{m}^3$  podzemne vode. Stoga, uz očekivani rast stanovništva i klimatske promjene, održivo upravljanje nužno je za budućnost resursa podzemne vode na prostoru drenažnog bazena Bakhtegana i Tashka (Zaki i dr., 2019).



## 6.2. Uzroci recentnih promjena jezerskih površina

### 6.2.1. Promjene u vrijednostima klimatskih elemenata

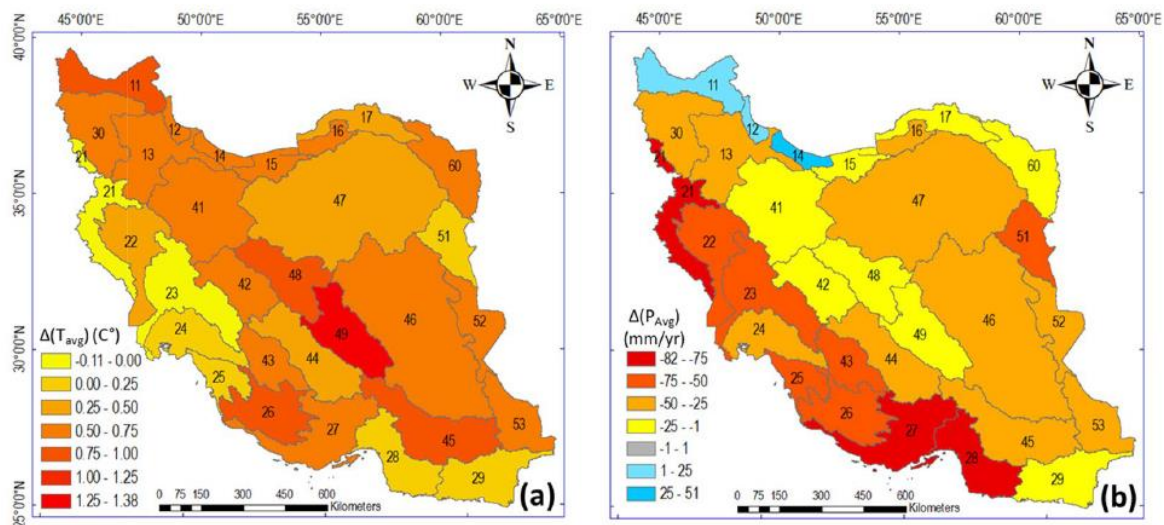
Prirodne katastrofe koje se pojavljuju u različitim dijelovima svijeta većinom se povezuju s iznenadnim događajima kao što su požari, poplave ili uragani. Njihovo nastajanje i trajanje je kratko, dok su posljedice koje uzrokuju dugoročno štetne po okoliš i ljudske živote. Međutim, prirodnim katastrofama pripadaju i događaji koji nastupaju vrlo sporo, a čiji je utjecaj također vrlo nepovoljan. U tu skupinu svrstavaju se npr. porast razine mora, topljenje ledenjaka, nestajanje vodenih ekosustava, a prvenstveno jezera koja imaju ključnu ulogu u održavanju ekološke ravnoteže (Schmidt i dr., 2021).

Nestajanje jezera, odnosno promjene njihovih površina, pojava je koja ima višestruke uzroke, ali se posljednjih desetljeća često povezuje s klimatskim varijacijama iznad nekog prostora. One su prisutne u svim dijelovima svijeta, a posebno osjetljiva na klimatske promjene su područja sa suhom klimom, kao što je Iran. Iako su klimatski varijacije te klimatski ekstremi zabilježeni i u dalekoj prošlosti Irana, promjene u trendovima vrijednosti klimatskih elemenata zabilježene u posljednjih nekoliko desetljeća ostavile su trajne posljedice na iranska jezera. Klimatski elementi koji su značajno utjecali na promjenu jezerskih površina su prvenstveno temperatura, količina padalina i evaporacija (isparavanje). Uz to, sve vodene površine, uključujući jezera, pod stalnim su utjecajem globalnog zagrijavanja i klimatskih promjena, zbog čega se očekuje kako će se, bez obzira na lokalna klimatska obilježja, oscilacije njihovih površina nastaviti i u budućnosti (Kiani i dr., 2017).

Posljednjih nekoliko godina različita su istraživanja usmjerena ka proučavanju prostornih i vremenskih promjena u vrijednostima klimatskih elemenata na području Irana, ali i drenažnih bazena s jezerskim površinama u njihovim središtima. Iako metodološki pristupi prilikom istraživanja ovog problema nisu ujednačeni, većina rezultata utvrđuje povezanost trendova vrijednosti klimatskih elemenata s promjenama jezerskih površina. Primjerice, Soltani i dr. (2016) proučavali su varijacije u vrijednostima temperature i padalina u razdoblju 1975. – 2010. na nacionalnoj razini. Prema dobivenim rezultatima, vrijednosti godišnje maksimalne i minimalne temperatura diljem Irana u svakom su desetljeću prosječno porasle za 0,31 °C i 0,59 °C. Također, unutar razdoblja 1995. – 2010. stopa pojave toplih dana ( $T_{\max} \geq 25$  °C) i toplih noći ( $T_{\min} \geq 20$  °C) dvostruko je veća u odnosu na stopu pojave hladnih dana ( $T_{\min} < 0$  °C) i hladnih noći. S druge strane, vrijednosti godišnjih i sezonskih padalina nisu prostorno

ujednačene. Statistički značajan negativan trend zabilježen je na postajama u južnom i jugozapadnom dijelu Irana, dok u središnjem i sjevernom dijelu zemlje nema statistički značajnog trenda u razdoblju proučavanja. Dakle, za razliku od vrijednosti temperature koje su imale jedinstveni obrazac promjene na nacionalnoj razini (porast zabilježen na više od 85 % svih meteoroloških postaja), promjena u količini padalina imala je nejednak prostorni raspored.

Promjene vrijednosti klimatskih elemenata na prostoru drenažnih bazena iranskih jezera donekle se podudaraju s promjenom na nacionalnoj razini. Rezultati sveobuhvatnih istraživanja trendova klimatskih elemenata na području glavnih drenažnih bazena u Iranu ukazuju kako su u razdoblju 1986. – 2016. vrijednosti temperature imale pozitivan, a vrijednosti količine padalina negativan trend (Slika 19.). Trend vrijednosti evapotranspiracije nije ujednačen i razlikuje se, ovisno o kojem je drenažnom bazenu riječ. Također, u ovom tridesetogodišnjem razdoblju na prostoru većine drenažnih bazena zabilježeno je smanjenje otjecanja i gubitak zaliha vode (Moshir Panahi i dr., 2020).



Slika 19. Promjena u (a) prosječnoj temperaturi (T) i (b) prosječnoj količini padalina (P) u 30 glavnih drenažnih bazena u Iranu između dva podrazdoblja (1986. – 2000. i 2001. – 2016.).

Izvor: Moshir Panahi i dr., 2020.

Međutim, s obzirom na površinu i klimatska obilježja Irana, iz rezultata ovakvih istraživanja nije moguće izvesti jedinstveni zaključak o uzroku promjene jezerskih površina. Naime, promjena nekih jezerskih površina u Iranu zaista je potaknuta promjenom u vrijednostima klimatskih elemenata, dok su promjene pojedinih jezerskih površina nastupile zbog drugih uzroka. Zato je većina istraživanja usmjerena je na proučavanje trendova

vrijednosti klimatskih elemenata na prostoru jednog drenažnog bazena i to najčešće drenažnog bazena Urmije, najvećeg iranskog jezera.

Kada su u pitanju trendovi klimatskih elemenata na prostoru drenažnog bazena Urmije, kao polazna pretpostavka uglavnom se ističe kako će promjena trenda vrijednosti temperatura i količine padalina utjecati na smanjenje površine Urmije i smanjenje razine vode u jezeru. Proučavanjem dugoročnih podataka utvrđeno je kako je odstupanje uobičajenih klimatskih trendova započelo 1995. godine. Naime, podaci prikupljeni na meteorološkim postajama drenažnog bazena Urmije za razdoblje 1995. – 2010. pokazuju značajan negativan trend vrijednosti srednje godišnje količine padalina (smanjenje za 76 mm) i pozitivan trend srednje godišnje temperature (porast za 1,4 °C). Istovremeno je zabilježeno smanjenje razine vode u jezeru za dva metra. U nekim istraživanjima proučavane su još vrijednosti evaporacije, broja sunčanih sati, brzina vjetra, vlažnost zraka itd. Godišnje vrijednosti evaporacije i broja sunčanih sati na većini odabranih meteoroloških stanica imale su trend porasta, dok su brzina vjetra i vlažnost zraka imale trend smanjenja. Osim rezultata na godišnjoj razini, dobiveni su i rezultati za pojedine klimatske elemente na mjesečnoj razini. Za većinu mjeseci unutar promatranih godina zabilježeni su trend pada količine padalina, odnosno trend porasta temperature i evaporacije. Međutim, od siječnja do lipnja intenzitet smanjenja padalina, odnosno porasta temperature i isparavanja veći je nego od srpnja do prosinca. Nasuprot tome, opadanje razine vode u jezeru Urmia intenzivnije je u tom razdoblju nego u prvoj polovici godine. Stoga, ne postoji sezonska povezanost između klimatskih elemenata i razine vode u jezeru te kolebanja njegove površine (Zoljoodi i Didevarasl, 2014; Fathian i dr., 2015; Arkian i dr., 2018).

Naposljetku, kako bi se utvrdila povezanost godišnjih vrijednosti temperatura i količine padalina s vrijednostima razine vode u jezeru izvedene su korelacijske i regresijske analize. One su ukazale su na postojanje povezanosti, no dok neka istraživanja ističu kako je veći utjecaj na smanjenje vodostaja i površine Urmije imalo povećanje temperature, druga prednost daju promjenama u količini padalina. Ipak, bez obzira što promjenu vrijednosti klimatskih elemenata u istom razdoblju prati i snižavanje vodostaja jezera, zaključak gotovo svih istraživanja ovog problema je kako je trend snižavanja vodostaja i površine Urmije bio znatno izraženiji nego trend klimatskih elemenata. Ovakav scenarij ukazuje na to da su antropogeni uzroci također imali utjecaj na Urmiju, možda čak i u većoj mjeri nego prirodni (Zoljoodi i Didevarasl, 2014; Fathian i dr., 2015; Arkian i dr., 2018).

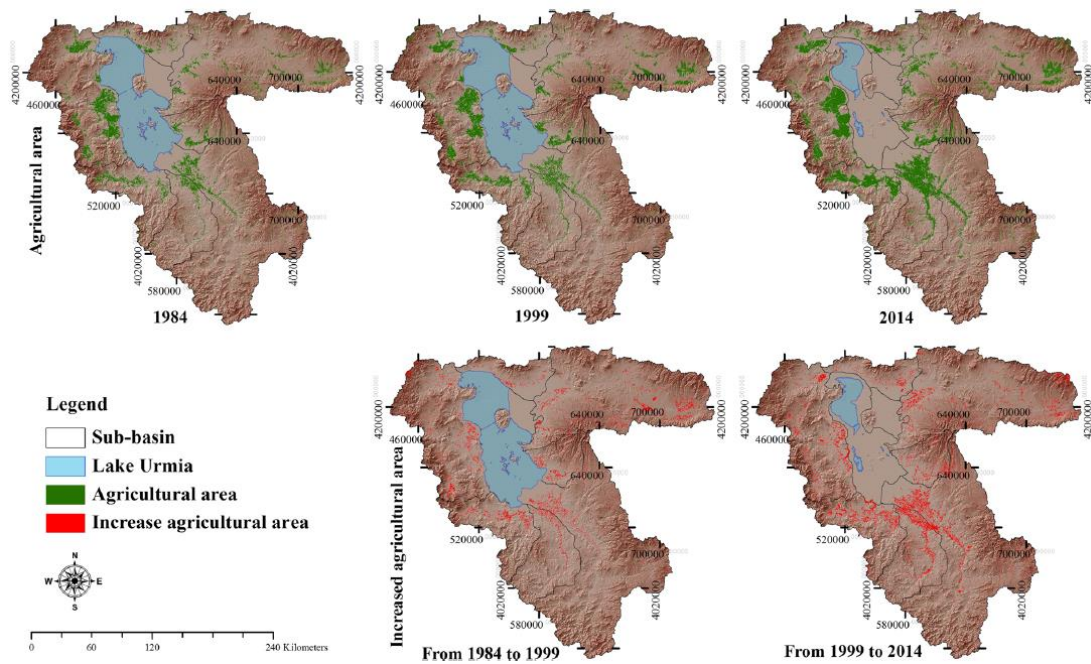
Povezanost klimatskih trendova s promjenama jezerskih površina vidljiva je i na prostoru drenažnih bazena još nekih iranskih jezera. Primjerice, slični rezultati kao i kod Urmije dobiveni su istraživanjem klimatskih trendova na području drenažnog bazena jezera Bakhtegan i Tashk. Analizom vrijednosti odabranih klimatskih elemenata (temperatura, količina padalina, evaporacija, broj sunčanih sati i broj snježnih dana) za razdoblje 1985. – 2010. utvrđen je porast vrijednosti temperature, evaporacije te porast broja sunčanih sati. S druge strane, količina padalina i broj snježnih dana imaju negativan trend. U istom vremenskom razdoblju, površine Bakhtegana i Tashka smanjile su za više od dvije trećine, dok se razina vode jezerima smanjila za gotovo šest metara. Koliko su jezera osjetljiva na promjenu vrijednosti klimatskih elemenata, a ponajprije na smanjenje količine padalina, potvrđeno je i izračunom standardnog oborinskog indeksa (SPI). Ovaj indeks često se koristi u meteorološkoj praksi, a služi za opisivanje i praćenje meteorološke suše na nekom području. Izračun mu je jednostavan jer je potrebno poznavanje samo podataka o količini padalina. Razmatranjem izračunatog godišnjeg SPI za područje drenažnog bazena Bakhtegana i Tashka utvrđeno je kako su sušna razdoblja nastupila 1992. – 2003. i 2006. – 2011. Najsušnija godina bila je 2008., kada je izmjerena vrijednost godišnje količine padalina iznosila 73,07 mm, dok je najkišovitija 1995. godina. S obzirom na provedene analize, zaključak je kako je među odabranim klimatskim elementima, kolebanje vrijednosti količine padalina najviše utjecalo na Bakhtegan i Tashk (Kiani i dr., 2017).

Dugotrajna i ekstremna sušnih razdoblja izazvana sustavnim manjkom padalina utjecala su i na presušivanje kompleksa jezera Hamun na istoku Irana, odnosno u graničnom području granici Irana i Afganistana. Satelitskim i meteorološkim promatranjem utvrđeno je kako je u razdoblju 1985. – 2005. značajno kolebanje razine vode u jezerima i njihove površine povezano s anomalijom količine padalina. Na temelju te povezanosti izdvojena su četiri razdoblja stanja jezera. U prvom razdoblju (1985. – 1988.) zabilježene su niske razine vodostaja i smanjivanje površine jezera, no prisutan je dotok vode. Drugo razdoblje (1989. – 1993.) obilježila je visoka razina vodostaja jezera te je zabilježen značajan protok vode u njihovom drenažnom bazenu. Od 1994. – 1999. bio je prisutan balans između dotoka i odljeva vode, zbog čega je u svakoj godini održavan umjereni volumen vode u jezerima. Posljednje razdoblje (2000. – 2005.) ujedno je i najkritičnije jer se zbog pojave suše dotok vode u jezero drastično smanjio, uslijed čega su sva jezera u kompleksu presušila. Od tada pa do danas, korita jezera kompleksa Hamun većinom su suha te se ispunjavaju vodom sezonski, odnosno za vrijeme vlažnih razdoblja čija je pojava sve rjeđa, a trajanje sve kraće (Rashki i dr., 2013).

### 6.2.2. *Antropogeni utjecaj*

U dalekoj prošlosti Perzijanci su bili prepoznati kao pioniri održivog upravljanja vodom. Njihova sposobnost razvijanja inovativnih metoda za regulaciju, preusmjeravanje i distribuciju vode u sušnom području, gdje je njezina dostupnost sezonska, bila je jedinstvena za razdoblje u kojem su živjeli. Međutim, nagli rast stanovništva i socioekonomski razvoj nakon Iranske revolucije 1979., uzrokovao je veliku potražnju stanovništva za hranom i vodom. Kako bi se rastuće potrebe zadovoljile, vodni resursi iskorištavani su na različite načine, što je naposljetku izazvalo nestašicu i krizu vodnih resursa. U skupinu vodnih resursa koja je ugrožena ljudskim djelovanjem ubrajaju se i jezerske površine. Iako je dokazano kako su promjene jezerskih površina isprva potaknute klimatskim varijacijama, za njihovo brzo i intenzivno smanjivanje odgovorni su i antropogeni uzroci vezani uz prekomjerno iskorištavanje vode na području drenažnih bazena (Madani, 2014; Schmidt i dr., 2021).

Istraživanja antropogenih uzroka promjene jezerskih površina većinom su, kao i istraživanja prirodnih uzroka, usmjerena na proučavanje jezera Urmia. Na presušivanje Urmije koje je započelo krajem 20., a nastavilo se u 21. stoljeću, značajno je utjecalo smanjenje protoka vode u rijekama koje svoj tok završavaju u ovom jezeru. Naime, količina ispuštene riječne vode smanjila se za gotovo tri četvrtine u razdoblju od 1980-ih do 2010. Kao uzrok smanjenja protoka i ispusta riječne vode, a potom i smanjenja površine Urmije, najčešće se ističe gradnja brana na rijekama unutar drenažnog bazena. Samo u posljednjih trideset godina izgrađeno je oko pedeset velikih brana, kojima se voda preusmjerila prema poljoprivrednim površinama, s ciljem njihovog navodnjavanja (Slika 20.). Ovakav način razvoja vodne infrastrukture istovremeno je imao pozitivne i negativne posljedice. Uz pomoć brana, olakšana je akumulacija vode potrebne za navodnjavanje, što je u konačnici dovelo do utrostručivanja obrađivanih površina na području drenažnog bazena Urmije. Uz to, dogodio se prijelaz s poljoprivrede za vlastite potrebe na intenzivnu poljoprivredu, čime je ubrzan razvoj poljoprivrednog sektora pokrajina Istočni i Zapadni Azerbajdžan. Međutim, visoka stopa razvoja poljoprivrede postignuta je nauštrb jezera Urmia, čije je smanjivanje utjecalo i na promjenu okoliša u golemu pustoš pokrivenu slanom zemljom, kao i na pojavu niza ekoloških i ekonomskih problema (Alizadeh-Choobari i dr., 2016; Schmidt i dr., 2021).



Slika 20. Navodnjavane poljoprivredne površine na prostoru drenažnog bazena Urmije (1984., 1999. i 2014.) i njihove promjene u razdoblju 1984. – 1999. i 1999. – 2014.

Izvor: Mehrian i dr., 2016.

Osim gradnja brana i navodnjavanja poljoprivrednih površina, za smanjenje površine Urmije jednim dijelom odgovorno je i prekomjerno iskorištavanje zaliha podzemne vode. Iako su neka starija istraživanja zanemarivale podzemnu vodu kao način snabdijevanja jezera vodom, rezultati istraživanja dobiveni u posljednjih nekoliko godina ukazuju na to da su promjene u zalihama podzemne vode odgovorne za gotovo petinu (17 %) fluktuacija volumena vode u Urmiji. Godišnja količina podzemne vode koja je ušla u jezero povećavala se 1993. – 1996., no od 1998. količina podzemne vode koja napušta jezero izrazito je veća od količine koja se procjeđuje u korito. Za naglo opadanje količine podzemne vode koja dolazi u Urmiju odgovorno je smanjenje količine padalina krajem 20. stoljeća i pojava suše, no veći utjecaj je imalo ljudsko djelovanje. To potvrđuju i podaci o količini padalina na prostoru drenažnog bazena iz 2003., 2004., 2006. i 2007. koji ukazuju na blagi pozitivan trend. Istovremeno su zalihe podzemne vode bile u kritičnom stanju, a razlog je njezino crpljenje i korištenje za navodnjavanje. Unatoč postojanju velikog broja brana, potreba za dodatnim količinama vode rasla je svake godine, zbog čega je na prostoru drenažnog bazena iskopano preko 80.000 bunara koji služe za crpljenje podzemne vode (Alizade Govarchin Ghale i dr., 2018).

Isti ili slični antropogeni uzroci utjecali su na smanjivanje površine još nekih iranskih jezera. Primjerice, uvođenje navodnjavanja na prostoru drenažnog bazena jezera Gavkhouni 1980-ih uzrokovalo je značajno smanjenje protoka rijeke Zayandehrud, što je dovelo do presušivanja jezera Gavkhouni i močvarnog područja koje ga okružuje. S obzirom na nisku količinu padalina u središnjem i istočnom dijelu drenažnog bazena, navodnjavanje poljoprivrednih površina bilo je neophodno za održavanje djelatnosti o kojoj ovisi više od četiri milijuna stanovnika koji živi na tom području. Razvojem sustava za navodnjavanje omogućeno je pokrivanje 200.000 hektara (2.000 km<sup>2</sup>) poljoprivrednih površina, ali je istovremeno povećana potražnja za vodom koju je bilo nemoguće zadovoljiti, čak ni dotokom vode iz susjednih drenažnih bazena. Osim korištenja površinske vode, za potrebe navodnjavanja korištena je i podzemna voda, no zbog velikog broja izdanih dozvola za iskopavanje bušotina, njezine zalihe su značajno iscrpljene. Podaci iz proteklih 40 godina ukazuju da se razina podzemne vode u vodonosnicima godišnje smanjivala za 0,6 m, a ukupan pad razine vode u tom razdoblju dosegao je 50 m u nekim vodonosnicima (Zaki i dr., 2020).

Smanjenje protoka rijeka i razina podzemnih voda uzrokovale su dugoročne hidrološke suše i dotok minimalne količine vode u jezero Gavkhouni. Prema rezultatima pojedinih istraživanja količina vode potrebna za održavanje jezera iznosi 244 milijuna km<sup>3</sup> godišnje. No, na hidrološkoj postaji, no u razdoblju 1985. – 2015. godišnji dotok izmjeren na hidrološkoj postaji Varzaneh koja se nalazi na ušću Zayandehruda u Gavkhouni, iznosio je 117 milijuna km<sup>3</sup>. Kao rezultat toga, površina jezera se stalno smanjivala, a 2009. je Gavkhouni u potpunosti presušilo. Od tada pa nadalje ovo jezero se samo sezonski pojavljuje. Osim presušivanja Gavkhounija, prijelaz s održivog na neodrživo upravljanje vodnim resursima uzrokovao je presušivanje jezera Bakhtegan i Tashk na jugu Irana. Korištenje riječne vode i podzemne vode za navodnjavanje poljoprivrednih površina na prostoru njihovog drenažnog bazena prije 1997. primjenjivalo se isključivo za vrijeme meteoroloških suša, odnosno kada količina padalina nije bila dostatna za prirodno navodnjavanje. Međutim, nakon 1997., a posebno od 2006. kombinacija sušnih razdoblja i intenzivno korištenje površinskih i podzemnih voda uzrokovala je krizu vodnih resursa. Protok rijeka unutar drenažnog bazena se smanjio, pad razine podzemne vode unutar pojedinih vodonosnika dosegao je 50 m, a sve to se odrazilo na Bakhtegan i Tashk, čija su korita u posljednjih 15 godina većinom suha (Zaki, 2020).

Kao neizravan uzrok promjene jezerskih površina u Iranu ističe se korištenje vode u radu termoelektrana, o kojima ovisi čak 92 % proizvodnje električne energije u zemlji. Većina tehnologije koja proizvodi električnu energiju oslanja se na korištenje vode za hlađenje, rad parnih turbina i procese čišćenja. Budući da u Iranu, osim termoelektrana, električnu energiju proizvode i hidroelektrane (5,7 % proizvodnje), količina vode potrebna za njihov rad predstavlja opterećenje za već ugrožene vodne resurse. S druge strane, ograničena dostupnost i kvaliteta vode ugrožavaju trenutnu proizvodnju električne energije, ali i održivost budućih proširenja energetskog sektora. Ovakva situacija uistinu je kontradiktorna, s obzirom na to da je Iran država koja se među prvima posvetila očuvanju jezera i močvara uvođenjem Ramsarske konvencije već 1971., a činjenica je kako zbog težnje za brzim gospodarskim razvojem prednjači u ugrožavanju svojih zaštićenih područja i utječe na njihove promjene (Madani, 2014; Terrapon-Pfaff i dr., 2018).

## **7. Analiza promjena jezerskih površina u Iranu (1991. – 2021.)**

### **7.1. Primjena daljinskih istraživanja u analizi promjene vodenih površina**

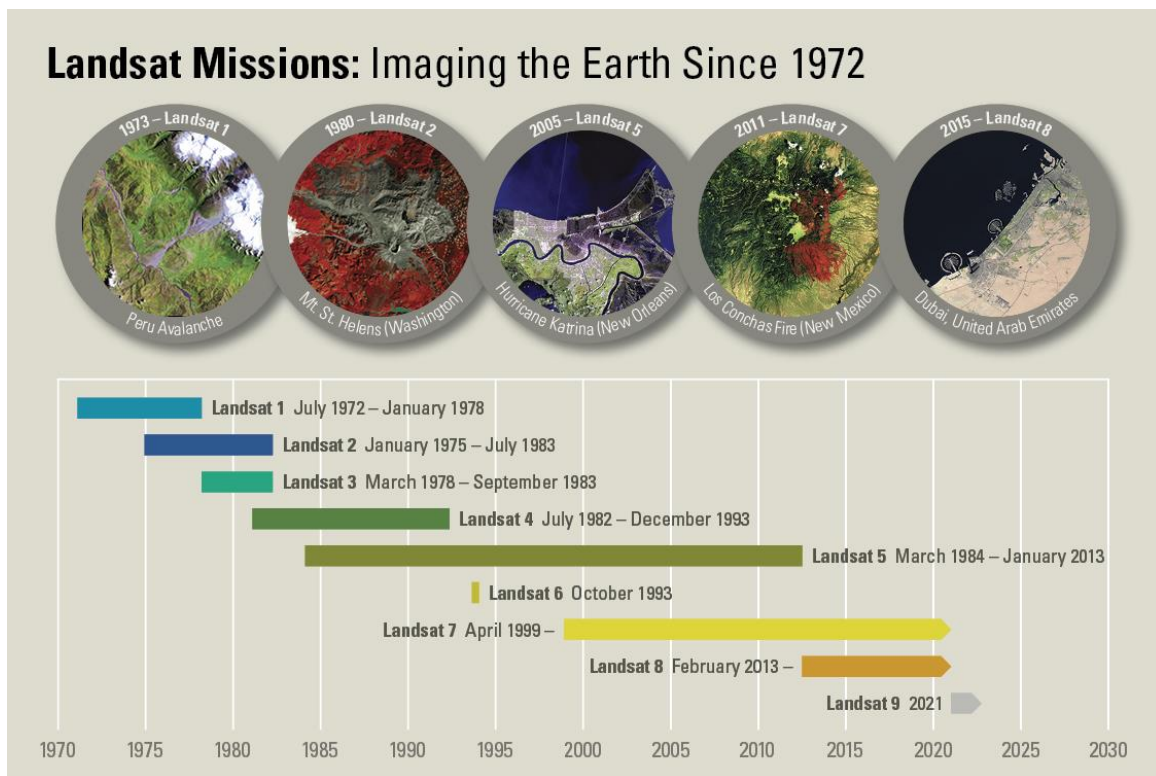
Praćenje i modeliranje promjena površinskih voda ključni su postupci upravljanja vodnim resursima i okolišem, pogotovo u sušnim područjima kao što je Iran. Promjene površinskih voda moguće je zabilježiti primjenom različitih alata, od kojih su najviše točni i precizni oni koji se koriste pri terenskom prikupljanju podataka. Međutim, zbog visokih cijena i ograničene dostupnosti takvih alata, u kartiranju zemljišnog pokrova (uključujući i stanje površinskih voda) često se primjenjuju daljinska istraživanja. Daljinska istraživanja čine skup alata koji omogućuju prikupljanje podataka o različitim pojavama i procesima u prostoru, ali bez fizičkog kontakta s predmetom proučavanja. Osim isplativosti, prednost daljinskog istraživanja u odnosu na terensko prikupljanje podataka je mogućnost prikupljanja podataka na velikim i nedostupnim područjima. Osnovna podjela alata, tj. tehnologija daljinskog istraživanja prema području u kojem prikupljaju podatke jest na tehnologiju koja snima blizu površine Zemlje (npr. bespilotne letjelice), zračnu i svemirsku tehnologiju (Emami i Zarei, 2021).



Svemirska tehnologija, odnosno podaci prikupljeni satelitima najčešće se koriste pri kontinuiranom praćenju stanja jezera i ostalih površinskih voda. Elektromagnetsko zračenje koje bilježe senzori u satelitima dolazi od Sunčeve energije koja prodire kroz atmosferu do Zemljine površine gdje se dio bi energije reflektira natrag u svemir. Značajke tih senzora razlikuju se od senzora ostalih kamera i imaju mogućnost detekcije elektromagnetnog zračenja koje ne bilježe senzori u običnim kamerama, odnosno nije vidljivo ljudskom oku. Naime, osim oku vidljivih boja (crvena, zelena i plava), satelitske kamere detektiraju i infracrveni (IR) spektar, čija valna duljina iznosi 0,7- 1 000  $\mu\text{m}$ . S obzirom da jezera reflektiraju svjetlost ovisno o pigmentu ili količini suspendiranih čestica u vodi, takvi multispektralni senzori sa zadovoljavajućom prostornom rezolucijom kreiraju multispektralne snimke koje su iznimno pogodne za praćenje i modeliranje stanja jezerskih površina. Najširu primjenu imaju multispektralne snimke koje nude besplatne i dugoročne podatke, kao što su snimke prikupljene Landsat satelitom (El Mosleh, 2017).

### *7.1.1. Multispektralne satelitske snimke prikupljene Landsat satelitom*

Početak prikupljanja podataka o Zemljinoj površini na globalnoj razini vezan je upravo za satelitsku misiju Landsat, kojom zajednički upravljaju Nacionalna aeronautička i svemirska administracija (NASA) i Geološki institut SAD-a (USGS), a pokrenuta je još 1972. kada je u orbiti s radom započeo prvi satelit. Tijekom pedeset godina lansirano je ukupno devet satelita, s tim da je šesta serija doživjela neuspjeh pri lansiranju 1993. te nikad nije dospjela u orbitu. Program Landsat aktivan je i danas (trenutno dva satelita u orbiti), čime je postao najduža kontinuirana satelitska misija u svijetu. Podaci koje Landsat nudi imaju srednju prostornu rezoluciju, koja je dovoljno dobra za globalnu pokrivenost, a istovremeno dovoljno detaljna za promatranje manjih područja, odnosno stanja okoliša, korištenja zemljišta i procjene prirodnih katastrofa. Kontinuitet podataka definiran je vremenskom rezolucijom od 16 dana, no uzimajući u obzir činjenicu da su u orbiti većinu vremena bila dva Landsat satelita, vrijeme ponovnog snimanja smanjilo se na osam dana. Intenzitet korištenja Landsat satelitskih snimaka izrazito je porastao nakon 2008., kada je svim korisnicima web platforme USGS-a omogućen besplatan pristup arhiviranim, ali i najnovijim snimkama (Gutman i Masek, 2012; Wulder i dr., 2019).



Slika 21. Vremenska traka satelitske misije Landsat

Izvor: URL 16

Obilježja senzora, a time i multispektralnih satelitskih snimaka mijenjale su se vremenom. Primjerice, Landsat-1 satelitom s ugrađenim multispektralnim skenerom (MSS) producirao je snimke s četiri kanala (*bands*), koji su zauzimali valne duljine vidljivih boja i bliskog infracrvenog zračenja (NIR). Prostorna rezolucija tih podataka bila je 60 metara, a radiometrijska 6 bita. Ove značajke imale su i snimke prikupljene satelitima Landsat-2 i Landsat-3. Međutim, lansiranjem četvrte serije satelita započinje značajan tehnološki napredak optičkih senzora, što je utjecalo na poboljšavanje prostorne, spektralne i radiometrijske rezolucije satelitskih snimaka kao izlaznih podataka. Naime, dodavanjem senzora *Thematic Mapper (TM)* na četvrtu i petu seriju satelita, broj spektralnih kanala porastao je na sedam jer su uvedena dva kratkovalna infracrvena (SWIR) kanala. Osim toga, radiometrijska rezolucija podataka iznosila je 8-bitu, a prostorna rezolucija smanjila se sa 60 na 30 metara zbog drugačijeg rasporeda optičkih pojasnih prolaza. Landsat-7 imao je uglavnom slična obilježja, s tim da je senzor *Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)* omogućio snimanje snimaka koje su osim dotadašnjih sedam kanala sadržavale i osmi, pankromatski kanal čija je prostorna rezolucija 15 m. Korištenjem senzora *Operational Land Imager (OLI)* i infracrvenog termalnog senzora (TIRS) na Landsat-8 i Landsat-9 satelitima, satelitske snimke obogaćene su devetim

spektralnim kanalom, kao i dvama kanalima pogodnim za mjerenje površinskih temperatura (prostorne rezolucije 100 m). Uz to, radiometrijska rezolucija podataka povećala se na 12 bita. Dugogodišnjim djelovanjem Landsat satelitske misije omogućeno je korištenje podataka, odnosno satelitskih snimki u svrhu analiza promjena različitih sastavnica Zemljine površine. U tu skupinu ubraja se i sustavno praćenje jezerskih površina, kao i njihove sezonske (mjesečne) ili međugodišnje varijabilnosti. (Wulder i dr., 2019).

### 7.1.2. Vodeni indeks normalizirane razlike (NDWI)

Tijekom posljednjih desetljeća razvijeni su različiti pristupi izdvajanja, tj. isticanja vodenih površina na satelitskim snimkama. Ranija istraživanja oslanjala su se na korištenje jednog multispektralnog kanala za izdvajanje vode od ostalih sastavnica. U većini studija korišten je kanal NIR zbog toga što vodene površine jako apsorbiraju NIR zračenje, za razliku od vegetacije i tla od kojih se zračenje jako reflektira. Stoga se izlazni rezultati u kojima je vrijednost refleksije niska povezuju s prisutnošću vode, dok visoke vrijednosti refleksije upućuju na prisutnost tla i vegetacije. Međutim, ovaj pristup se danas rjeđe koristi jer ukoliko su vegetacija i tlo mokri, moguće je pogrešno interpretirati rezultate, odnosno procijeniti površinu vodenih tijela. Od ovog pristupa izdvajanju vodenih površina i njihovog kartiranja uglavnom su točnije uobičajene metode klasifikacije pokrova. Međutim, za klasifikaciju pokrova potrebna je odgovarajuća stručnost istraživača, kao i poznavanje područja koje se klasificira. Nedostatak ovog pristupa je potrebno vrijeme za izdvajanje vodenih površina od ostalih sastavnica ukoliko je proučavani krajolik složen, odnosno ako se unutar jednog piksela nalazi više klasa (Li i dr., 2013; El Mosleh, 2017; Emami i Zarei, 2021).

U odnosu na metode jednog kanala ili metode klasifikacije, kao točnije, brže i lakše rješenje u izdvajanju podataka o vodenim površinama pokazalo se izvođenje vodenog indeksa normalizirane razlike (NDWI). NDWI pripada skupini spektralnih indeksa koji se računaju kombinacijom više kanala iz multispektralnih satelitskih snimki, a nastao je modifikacijom postojećeg vegetacijskog indeksa normalizirane razlike (NDVI) (El Mosleh, 2017). NDVI je najkorišteniji indikator za praćenje promjena biljnog pokrova, a dobiva se dijeljenjem razlike i zbroja kanala bliskog infracrvenog i crvenog dijela spektra:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

McFeeters je 1996. godine predložio da u formuli za NDWI kanal crvenog dijela spektra korišten za izračun NDVI zamijeni s kanalom zelenog dijela spektra. To je napravljeno na način da se je postavljen omjer razlike i zbroja zelenog dijela spektra i NIR-a:

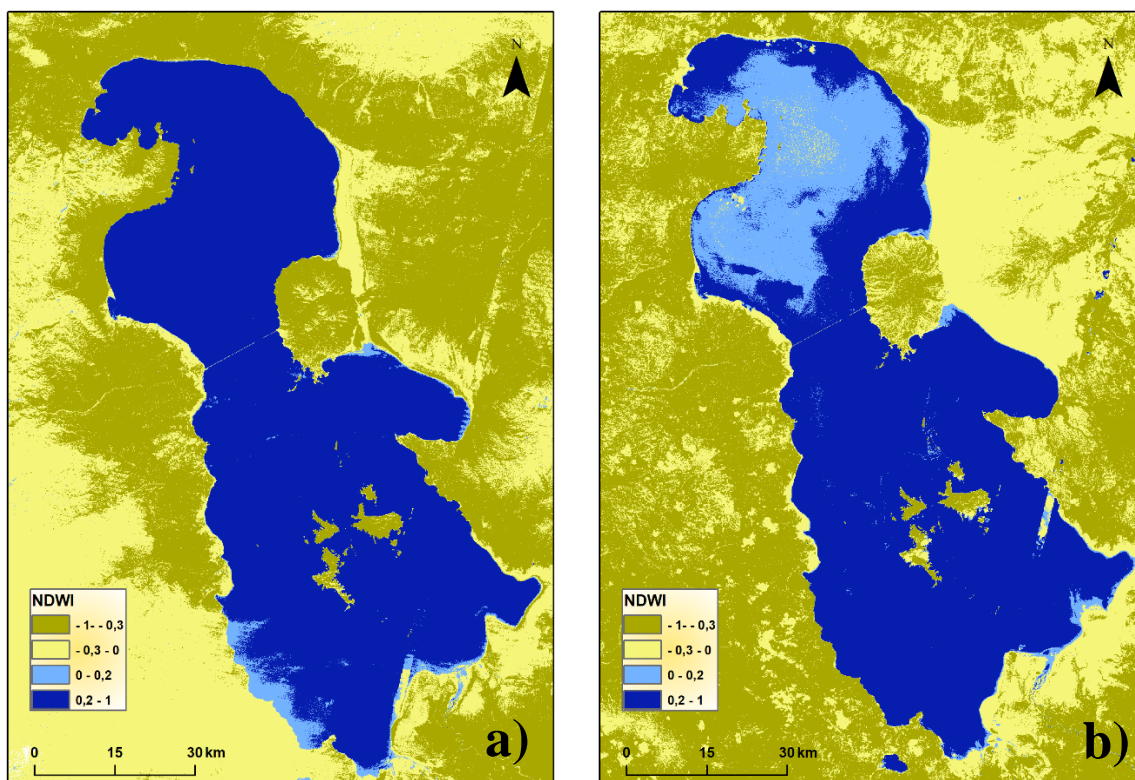
$$NDWI = \frac{GREEN - NIR}{GREEN + NIR}$$

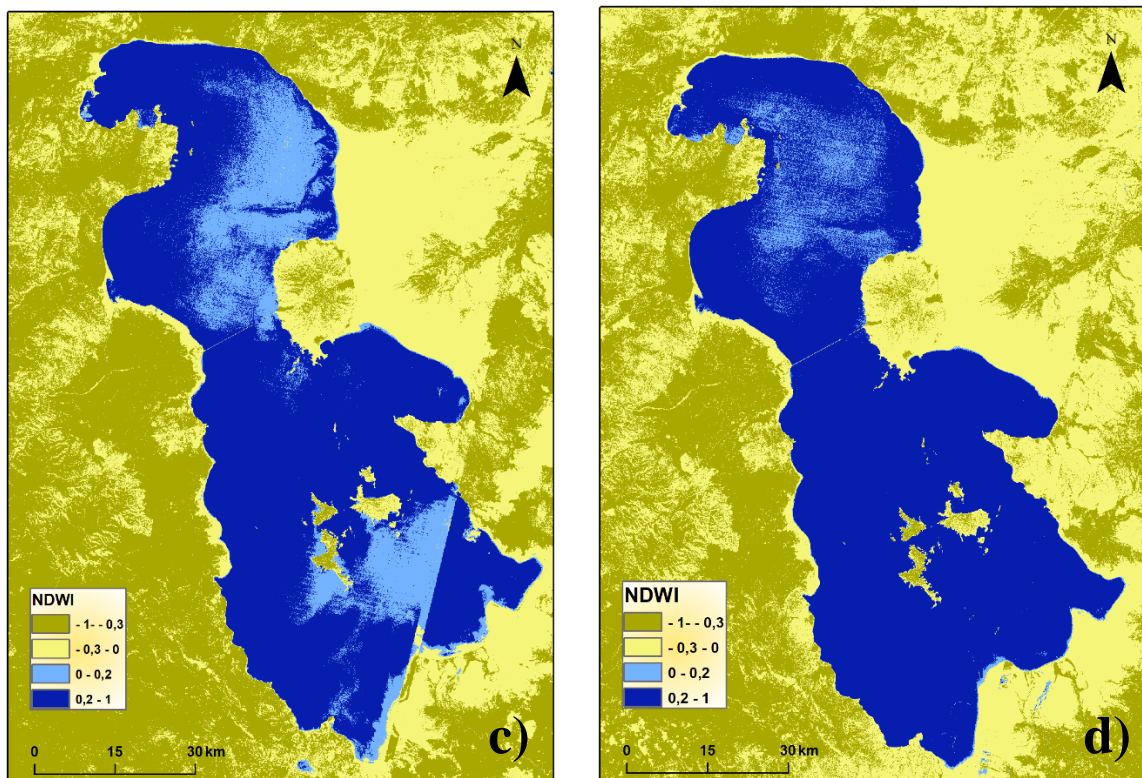
Na taj način se maksimizira spektralna refleksija vode, daje joj pozitivnu i dominantnu vrijednost, ali ne eliminira u potpunosti druge sastavnice vidljive na satelitskoj snimci. Vrijednosti NDWI kreću se u rasponu od -1 do 1, a uglavnom se svrstavaju u četiri razreda (granice razreda su -0,3, 0 i 0,2) te interpretiraju na način da sve pozitivne vrijednosti pripadaju vodenim površinama, dok nula i negativne vrijednosti pripadaju vegetaciji i tlu. U područjima kao što je Iran, nulta i negativna vrijednost NDWI mogu se odnositi i na prisutnost pustinja ili stepa. Daljnjom obradom satelitskih snimaka moguće je obrisati negativne vrijednosti indeksa te na taj način zadržati samo informacije o vodenim površinama, pogodnim za daljnju analizu. U nekim novijim istraživanjima NDWI je modificiran na nekoliko načina pa tako npr. neki znanstvenici umjesto zelenog dijela spektra, koriste kanal srednjeg infracrvenog zračenja (MIR), što je pogodno za praćenje sezonskih varijacija jezera, ali ne i za praćenje vrijednosti njihovih površina. Dakle, ovisno o ciljevima i svrsi istraživanja, moguće je koristiti različite kanale multispektralnih snimaka kako bi se dobio željeni izlazni rezultat NDWI (McFeeters, 1996.; El Mosleh, 2017; Vela i dr., 2017).

## 7.2. Usporedba izvedenih modela NDWI za 1991. i 2021.

### 7.2.1. NDWI modeli za područje jezera Urmia

Od četiriju izvedenih modela NDWI za 1991. (Slika 22.) jedino se na modelu NDWI za zimu (a) gotovo cijelo jezero nalazi unutar razreda s najvišim vrijednostima (0,2 – 1 ), no to ne mora nužno značiti da je tada Urmija imala najveći vodostaj i površinu. Na modelima NDWI za proljeće (b), ljeto (c) i jesen (d) pojedini dijelovi jezera (pogotovo sjeverni dio) se nalaze unutar razreda 0 – 0,2. Takav rezultat povezuje se s mogućnošću manje količine padalina od uobičajene za područje drenažnog bazena. Iako promjene vrijednosti površine jezera između godišnjih doba postoje, nisu pogodne za vizualnu interpretaciju pa je moguće zaključiti kako sezonske oscilacije Urmije nisu bile toliko izražene 1991. godine.

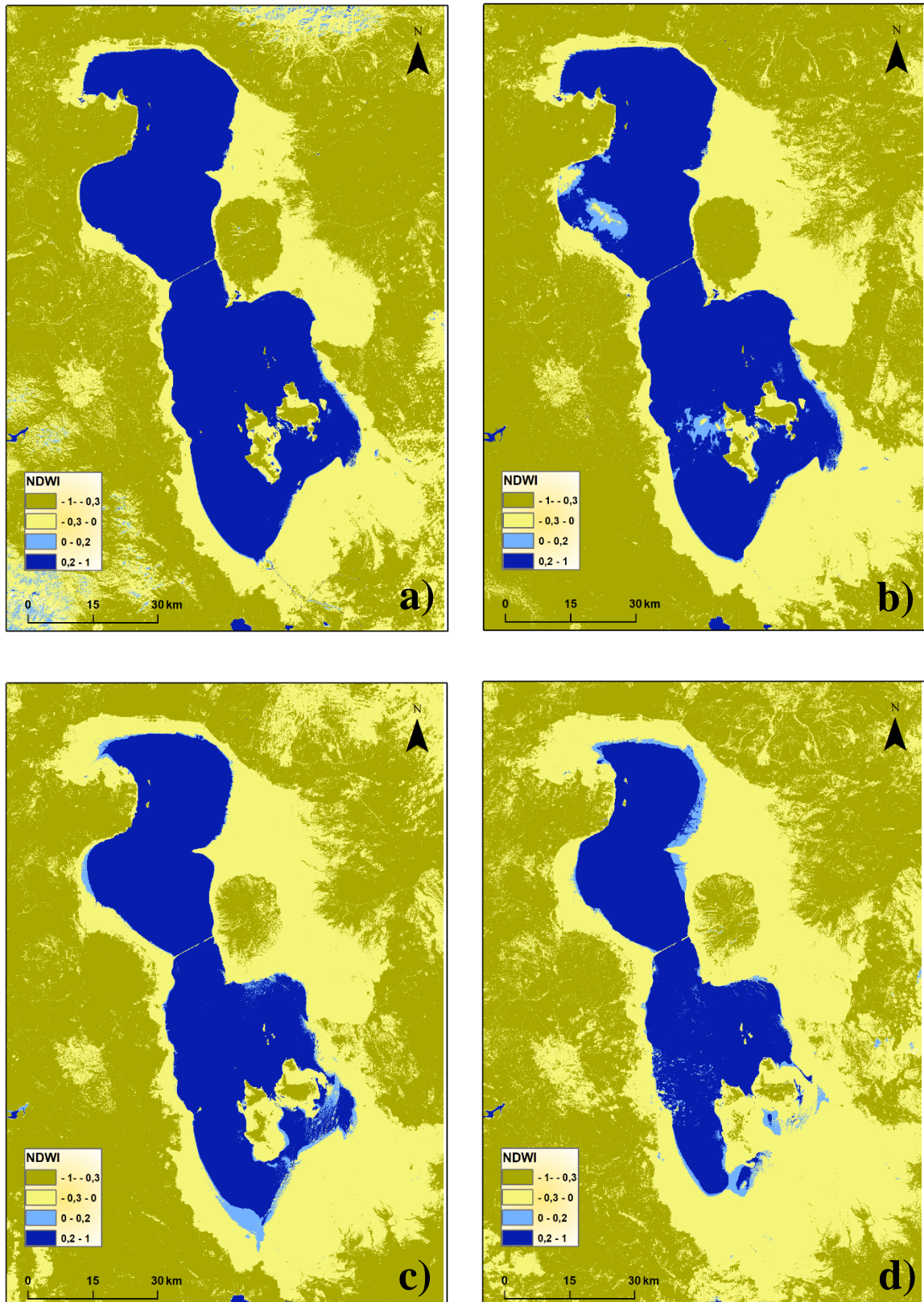




Slika 22. NDWI na području jezera Urmia 1991. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (srpanj), d) jesen (listopad)

Izvor: izrađeno prema *Landsat Collection 2 Level-1*, USGS, URL 17

Površine jezera su se, prema izvedenim modelima NDWI za 2021. godinu (Slika 23.), značajno promijenile, odnosno smanjile u odnosu na 1991. Tijekom svih godišnjih doba prisutno je presušivanje jezera, a posebno je istaknuto u južnom i istočnom dijelu jezera koji pripadaju razredu  $-0,3 - 0$ . Taj razred označava umjereno sušna područja, no u ovom slučaju to područje se odnosi na suho korito Urmije. Zimi (a) i u proljeće (b) vrijednosti površine i vodostaja su najveće, dok su ljeto (c) i jesen (d) godišnja doba u kojima se površina jezera vidno smanjuje. Za razliku od 1991., vrijednosti NDWI za 2021. impliciraju postojanje značajnih sezonskih oscilacija površine jezera.

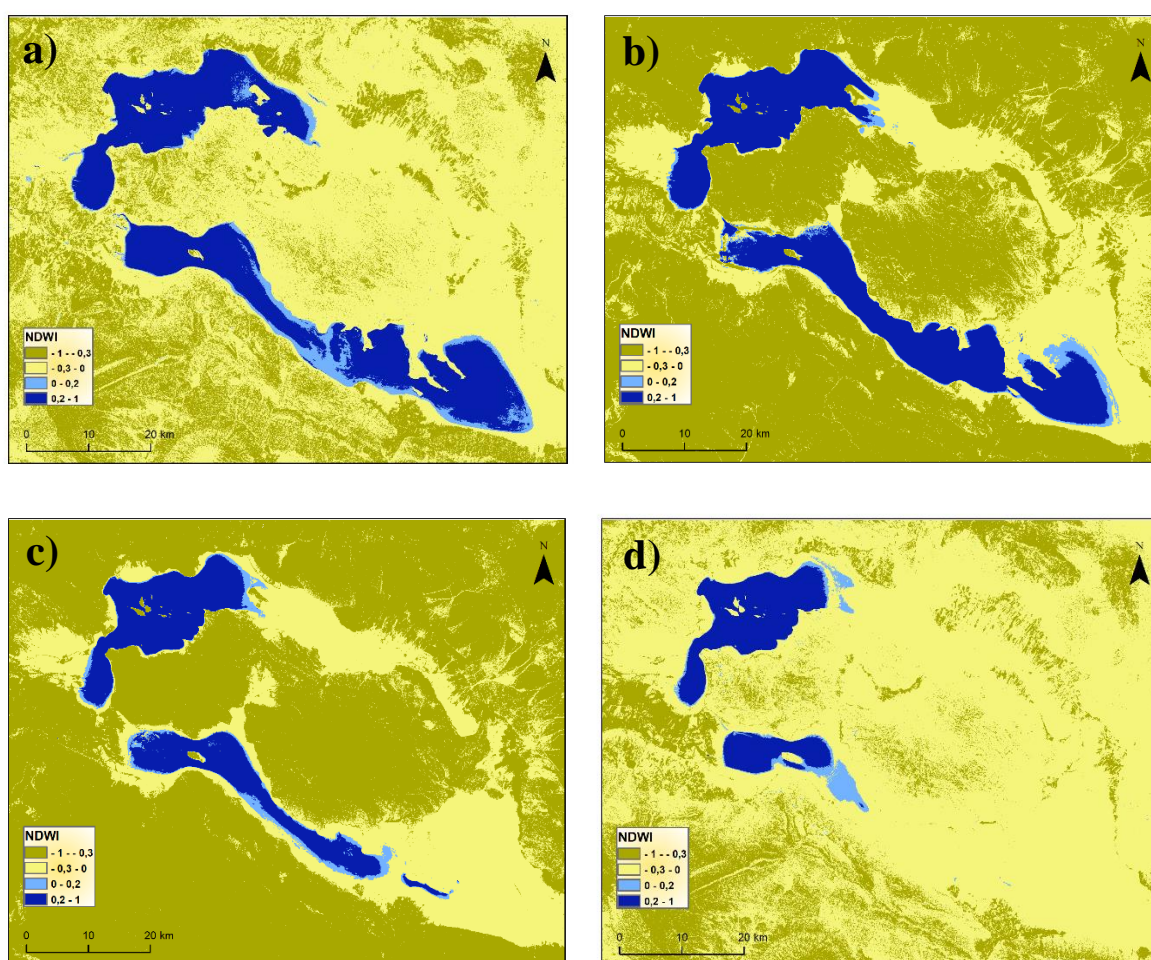


Slika 23. NDWI na području jezera Urmia 2021. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (kolovoz), d) jesen (listopad)

Izvor: izrađeno prema *Landsat Collection 2 Level-1*, USGS, URL 17

### 7.2.2. NDWI modeli za područje jezera Bakhtegan i Tashk

Iz modela NDWI za Bakhtegan i Tashk 1991. godine (Slika 24.) moguće je izdvojiti zimu (a) kao godišnje doba u kojemu su površine obaju jezera najveće i jesen (d), razdoblje u kojemu su vrijednosti površine najmanje. Dakle, suprotno rezultatima NDWI za Urmiju, razlike između godišnjih doba lako su uočljive, odnosno upućuju na oscilaciju površina jezera uslijed promjene vremenskih uvjeta. Iako je Bakhtegan (donje jezero) u načelu površinom veće nego Tashk, intenzivnije presušuje u pojedinim godišnjim dobima, što je posebice vidljivo tijekom ljeta (c) i jeseni, kada je istočni dio jezera u potpunosti suh.

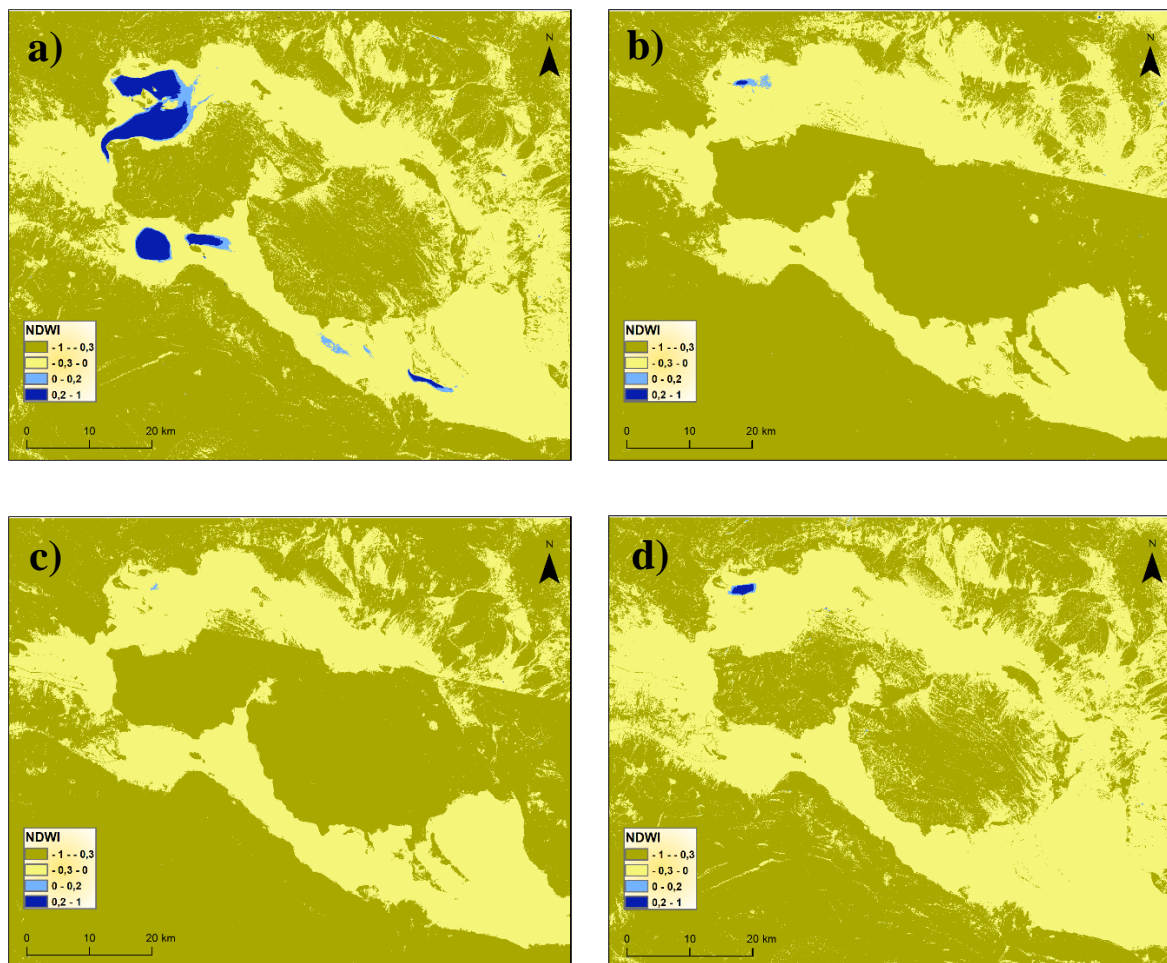


Slika 24. NDWI na području jezera Bakhtegan i Tashk 1991. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (kolovoz), d) jesen (studeni)

Izvor: izrađeno prema *Landsat Collection 2 Level-1*, USGS, URL 17



Za razliku od 1991., izvedeni modeli NDWI za 2021. ne ističu sezonske oscilacije površine jezera, već njegovo intenzivno presušivanje. Naime, vodena površina se nazire samo tijekom zime (a) u središnjem dijelu Tashka, dok je korito Bakhtegana i tada u potpunosti suho. Ne uzimajući u obzir mali dio površine Tashka koji je vidljiv na sva četiri modela, jedinstveni je zaključak kako su oba jezera suočena s dugoročnim sušnim razdobljem. Uzimajući u obzir izraženost nepovoljnih klimatskih uvjeta te presušivanje Sivand, glavne rijeke drenažnog bazena, postoji mogućnost trajnog presušivanja Bakhtegana i Tashka.



Slika 25. NDWI na području jezera Bakhtegan i Tashk 2021. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (kolovoz), d) jesen (studeni)

Izvor: izrađeno prema *Landsat Collection 2 Level-1*, USGS, URL 17

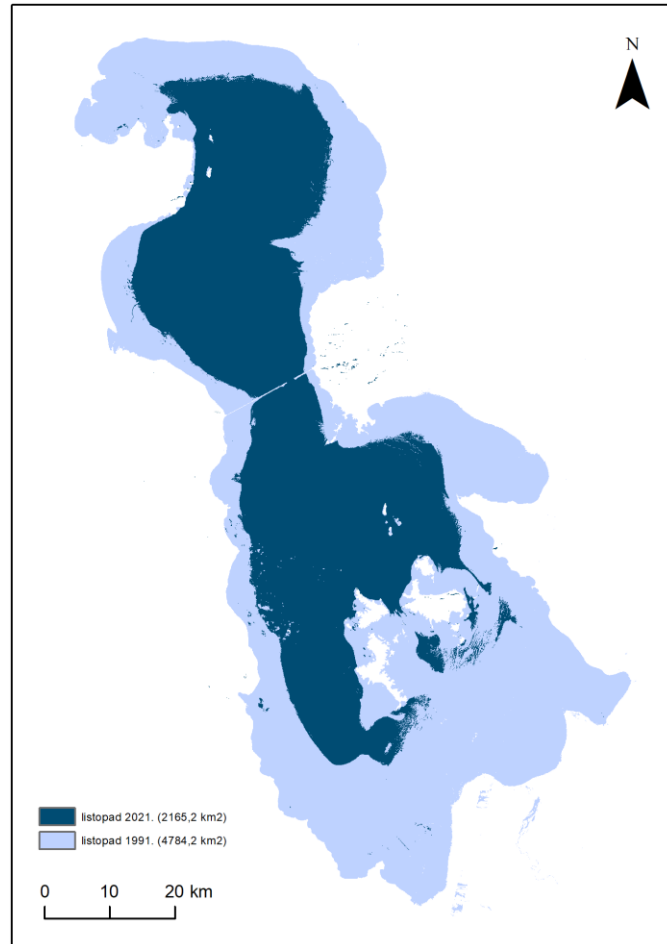
## 7.3. Izračun površine jezera i promjene u razdoblju 1991. – 2021.

### 7.3.1. Urmia

Kao i rezultati NDWI za 1991., izračunate vrijednosti površine Urmije za sva godišnja doba ne ukazuju na neuobičajene sezonske oscilacije (Tablica 1). Naime, razlika između najviše vrijednosti površine (proljeće) i najniže (jesen) je 224,6 km<sup>2</sup>, što nije značajno ili zabrinjavajuće uzimajući u obzir ukupnu vrijednost površine. Prema dobivenim vrijednostima za 2021., proljeće i jesen također su godišnja doba s najvišom, odnosno najmanjom površinom. Ipak, razlika između njih je veća i značajnija jer se od svibnja do listopada 2021. površina jezera smanjila za 972,2 km<sup>2</sup>. Što se tiče promjene površine jezera između dvije promatrane godine, ona je negativna za sva godišnja doba, s tim da je u listopadu 2021. površina manja za čak 54,7 % u odnosu na listopad 1991. (Slika 26).

Tablica 1. Vrijednosti površine jezera Urmija i njihove promjene u razdoblju 1991. – 2021.

Godišnje doba (mjesec)	Godina		Promjena površine (1991. – 2021.)	
	1991.	2021.	apsolutna	relativna (%)
Zima (veljača)	4 887,0	3 108,9	-1 778,1	-36,4
Proljeće (svibanj)	5 008,8	3 137,4	-1 871,4	-37,4
Ljeto (srpanj, kolovoz)	4 894,3	2 690,1	-2 204,2	-45,0
Jesen (listopad)	4 784,2	2 165,2	-2 619,0	-54,7



Slika 26. Model površine jezera Urmia za listopad 1991. i 2021.

### 7.3.2. *Bakhtegan i Tashk*

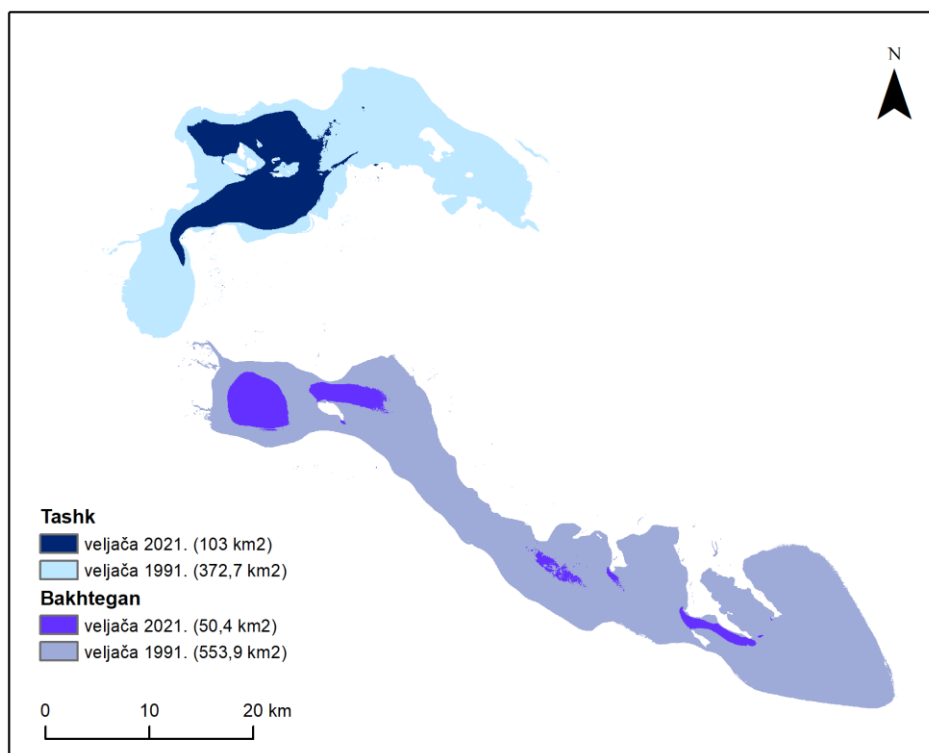
Za razliku od Urmije, jezera Bakhtegan i Tashk 1991. su najveću površinu imala zimi, dok je najmanja vrijednost površine također izračunata za jesen (Tablica 2. i Tablica 3.). Sezonske oscilacije površine Bakhtegana posebno su izražene jer se primjerice od zime do jeseni 1991. površina jezera smanjila za gotovo 80 %. Međutim, najviše zabrinjava stanje obaju jezera 2021. kada su im korita, osim u veljači (Slika 27.), potpuno suha ili minimalno ispunjena vodom. Promjene površina Bakhtegana i Tashka u odnosu na 1991. izrazito su negativne, a pogotovo za jezero Bakhtegan, čije je korito gotovo cijelu godinu suho.

Tablica 2. Vrijednosti površine jezera Bakhtegan i njihove promjene u razdoblju 1991. – 2021.

Godišnje doba (mjesec)	Godina		Promjena površine (1991. – 2021.)	
	1991.	2021.	apsolutna	relativna (%)
Zima (veljača)	553,9	50,4	-503,5	-90,9
Proljeće (svibanj)	481,9	0,0	-481,9	-100,0
Ljeto (kolovoz)	238,5	0,0	-238,5	-100,0
Jesen (studeni)	119,5	0,1	-119,4	-99,9

Tablica 3. Vrijednosti površine jezera Tashk i njihove promjene u razdoblju 1991. – 2021.

Godišnje doba (mjesec)	Godina		Promjena površine (1991. – 2021.)	
	1991.	2021.	apsolutna	relativna (%)
Zima (veljača)	372,7	103,0	-269,7	-72,4
Proljeće (svibanj)	330,5	6,1	-324,4	-98,2
Ljeto (kolovoz)	271,8	0,6	-271,2	-99,8
Jesen (studeni)	242,6	6,9	-235,7	-97,2



Slika 27. Model površina jezera Bakhtegan i Tashk za veljaču 1991. i 2021.

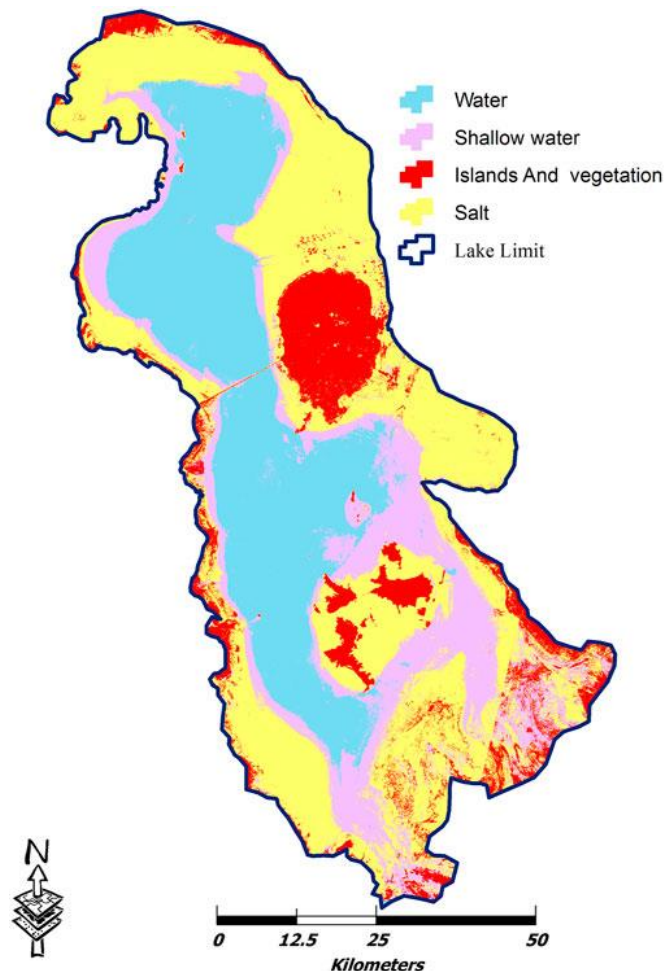
## 8. Posljedice promjena jezerskih površina

Promjene jezerskih površina, odnosno njihovo presušivanje izazvalo je različite probleme u okolišu i gospodarstvu Irana, ali i u životu iranskog stanovništva. Posljedice koje su nastale često se uspoređuju s posljedicama presušivanja drugih jezera u svijetu, prvenstveno Aralskog jezera. Međutim, situacija u Iranu još više zabrinjava zbog činjenice da je tempo presušivanja iranskih jezera intenzivniji, socioekonomske i političke okolnosti su drugačije, a broj ljudi pogođen prirodnom katastrofom znatno je veći (Schmidt i dr., 2021). Gubitkom većeg udjela površine, korita jezera prekrivena slanom korom postala su izložena eroziji vjetra. Suha jezerska dna pretvorila su se u pustinjska područja s kojih se aktivno raspršuju različite čestice, koje mogu biti prašina, sol, ali i teški metali ili pesticidi. Puhanje vjetra kojim se velika količina čestica raspršuje često izaziva pojavu pješčanih oluja, čije djelovanje ugrožava poljoprivredne površine u okolini jezera, a još više zdravlje ljudi i životinja (Tussupova i dr., 2020).

Djelovanje pješčanih oluja posebno je izraženo u istočnom Iranu, odnosno na području u blizini kompleksa jezera Hamun, gdje se oluje razvijaju zbog puhanja „vjetra od 120 dana“. U pokrajini Sistan i Beludžistan, kojoj kompleks jezera administrativno pripada, pojava oluja uništava plodnost malobrojnih poljoprivrednih površina te uzrokuje nalete pijeska i prašine na javnu i stambenu infrastrukturu, zatvaranje cesta i otkazivanje letova. Ipak, stanovništvo pokrajine je najviše ugroženo zbog udisanja raznih čestica, čime je povećana mogućnost pojave respiratornih, očnih pa čak i crijevnih bolesti. Utjecaj presušivanja jezera Hamun na pojavu pješčanih oluja dokazan je i pojedinim istraživanjima. Naime, rezultati istraživanja ukazuju na visoku korelaciju ( $r \approx 0,8$ ) između udjela suhog korita i broja tzv. prašnjavih dana, odnosno definiraju suho korito jezera Hamun i njegov drenažni bazen kao glavni izvor čestica koje vjetar raznosi. Osim s pojavom pješčanih oluja, presušivanje jezera Hamun povezuje se i s ubrzanjem procesa dezertifikacije u pokrajini Sistan i Beludžistan (Najafi i Vatanfada, 2011; Rashki i dr., 2013).

Presušivanje jezera Urmia također je izazvalo niz posljedica s kojima su suočene pokrajine Istočni i Zapadni Azerbajdžan kojima administrativno pripada, ali i više od 7 milijuna stanovnika tog područja. Povlačenjem vode iz korita Urmije, odnosno gubitkom tri četvrtine površine, otkriveno je suho jezersko dno iznad kojeg su se vremenom nakupile naslage soli i drugih čestica (Slika 28.). Površina tih naslaga doseže nekoliko tisuća kilometara kvadratnih, a debljina im je 50 – 60 cm. Za vrijeme sušnih razdoblja djelovanjem vjetra nataložene čestice

raspršuju se prema svim dijelovima drenažnog bazena, čak i prema susjednim područjima. Poljoprivredne površine do kojih dopiru ove čestice većinom su degradirane zbog prodiranja soli u tlo, čime se značajno smanjila njegova plodnost. Takva situacija izrazito je nepovoljna jer su poljoprivreda i stočarstvo glavni izvori prihoda za ruralno stanovništvo ovog drenažnog bazena. Posljednjih nekoliko godina prihodi iz ovih djelatnosti u padu su jer slojeve soli koji su nastali na površini poljoprivrednih zemljišta i pašnjaka nije moguće isprati zbog sustavnog nedostatka vode u cijeloj zemlji. Lokalno stanovništvo u blizini jezera izgubilo je i dio prihoda iz turizma, koji se temeljio na odmaralištima u kojima je bilo omogućeno liječenje ljekovitim blatom. Problem salinizacije tla aktualan je i na području oko jezera Bakhtegan i Tashk, gdje je istraživanjem sastava tla utvrđeno kako se približavanjem jezerima slanost tla povećava, a produktivnost smanjuje (Taghadosi i Hasanlou, 2017; Rahimi i Breuste, 2021; Schmidt i dr., 2021).



Slika 28. Klasifikacija zemljišnog pokrova jezera Urmia za 2016.

Izvor: Rahimi i Breuste, 2021.

Unatoč povoljnijim klimatskim uvjetima nego u istočnom i južnom Iranu, na prostoru drenažnog bazena Urmije pješčane i slane oluje nisu iznimka, a pojavljuju se uglavnom za vrijeme ljetnih mjeseci. Pojedina istraživanja ukazuju na činjenicu kako je stanovništvo koje živi uz istočnu obalu Urmije više pogođeno ovim problemom, a razlog je češće puhanje vjetra u smjeru zapad-istok. Udisanjem čestica minerala i toksina stanovništvo na užem i širem području oko Urmije u opasnosti je od raznih zdravstvenih problema, poput respiratornih i kardiovaskularnih bolesti. U nekim regijama u blizini jezera čak je zabilježeno smanjivanje životnog vijeka i povećanje smrtnosti dojenčadi (Schmidt i dr., 2021).

Jedna od neizravnih, ali dugoročnih posljedica promjene jezerskih površina u Iranu jest migracija ruralnog stanovništva u gradove. Bez obzira što se u većini drenažnih bazena navodnjavanjem površina poljoprivrednih područja povećala, njihova plodnost je uništena nanosima soli iz suhih korita jezera. Osim toga, nedostatak vode onemogućio je održivu i isplativu poljoprivredu, zbog čega je većina stanovništva bila prisiljena napustiti ovu djelatnost, a potom i mjesto stanovanja. Današnji udio urbanog stanovništva u Iranu iznosi oko 75 %, a praćenjem podataka na razini cijele države utvrđeno je udvostručenje urbanog stanovništva u proteklih pola stoljeća (Madani, 2014., Schmidt i dr., 2021).

## 9. Zaključak

Jezerske površine predstavljaju vrijedan ekosustav koji je od iznimne važnosti za održavanje bioraznolikosti u okolišu te je primarni izvor vode za brojne gospodarske aktivnosti. Posljednjih nekoliko desetljeća u različitim dijelovima svijeta, a ponajviše u područjima s prevladavajućom pustinjskom klimom, započele su intenzivne promjene jezerskih površina, odnosno njihovo smanjivanje. U Iranu, na čijem teritoriju živi više desetaka milijuna stanovnika, presušivanje jezera posebno izaziva zabrinutost jer pogoršava stanje vodnih resursa koji su ionako oskudni. Geološke i geomorfološke strukture na prostoru Irana uvjetovale su postojanje visokih planinskih lanaca koji pustinjsku unutrašnjost odvajaju od područja s povoljnijim klimatskim, ali i životnim uvjetima. Većina jezerskih površina smještena je upravo u pustinjskom dijelu zemlje, koji je s hidrološkog gledišta područje endoreičnih (zatvorenih) drenažnih bazena. To je, osim nepovoljnih klimatskih uvjeta, također utjecalo na podložnost gubitku vode i nakupljanje soli u vodi, zbog čega su jezera u Iranu pretežito slana te imaju sezonski karakter.

Promjene jezerskih površina u Iranu potaknute su različitim uzrocima, od prirodnih do antropogenih. U promatranom vremenskom razdoblju, koje obuhvaća proteklih trideset godina, na razini Irana, ali i na užem području istraživanja koje obuhvaća jezera Urmia, Bakhtegan i Tashk, zabilježene vrijednosti klimatskih elemenata odstupaju od uobičajenih. Primjerice, vrijednosti temperature (prosječne, maksimalne i minimalne) i evaporacije su porasle, dok se količina padalina smanjila. Jezera Bakhtegan i Tashk, kao i ostale jezerske površine smještene u pustinjskim i polupustinjskim dijelovima Irana, bila su posebno sklona presušivanju uslijed klimatskih oscilacija. No, nestajanje jezera nastavljeno je i nakon pojave kratkoročnih klimatskih promjena, što upućuje na zaključak kako je ono većinski potaknuto antropogenim uzrocima. Naime, u svrhu navodnjavanja poljoprivrednih površina i ostalih gospodarskih aktivnosti, na većini rijeka su izgrađene brane. Njihovo postojanje u početku nije stvaralo opterećenje jer su jezera opskrbljivana dovoljnom količinom riječne vode. No, povećanjem broja stanovnika, a time i potrebe za vodom, intenzivirana je njihova gradnja, ali i iskorištavanje vode, zbog čega su pojedina jezera ostala bez glavnog izvora vode te su djelomično ili u potpunosti presušila. Osim površinskog iskorištavanja vode, iskopavanjem tisuće bušotina (bunara) za eksploataciju podzemne vode, znatno su iscrpljeni podzemni izvori, iz kojih je nekoć voda također dospijevala u korito iranskih jezera.



Razvojem tehnologija daljinskog istraživanja omogućeno je praćenje promjena jezerskih površina na mjesečnoj i međugodišnjoj razini. Zbog nepristupačnosti terena i nedostatka podataka prikupljenih terenskim istraživanjem, čestu primjenu u kartiranju stanja jezerskih površina imaju satelitske snimke, a posebno Landsat multispektralne snimke koje su besplatne i imaju dostupnu arhivu za pedeset godina unazad. Ovisno o potrebama istraživanja, moguće je izvršiti različite analize na temelju podataka prikupljenih daljinskim istraživanjem. Kao koristan i učinkovit pristup u dugoročnom praćenju površinskih voda istaknulo se izvođenje vodenog indeksa normalizirane razlike (NDWI) korištenjem različitih spektralnih kanala iz satelitskih snimaka za odabrano područje istraživanja. Za potrebe ovog diplomskog rada analizirana je promjena jezera Urmia, Bakhtegan i Tashk na godišnjoj razini i u razdoblju 1991. – 2021. Modeli NDWI izvedeni su kombinacijom kanala *Landsat 4-5* (za 1991.) i *Landsat 8-9* (za 2021.) satelitskih snimaka. Vizualnom interpretacijom modela i izračunom površina na temelju njih, utvrđeno je kako su u obje godine zima i proljeće bila godišnja doba kada je površina jezera bila najveća. Izračunate vrijednosti površina za 2021. ukazuju na intenzivno smanjenje u odnosu na 1991., što je posebno vidljivo u slučaju Bakhtegana i Tashka, koji su izgubili gotovo 100 % površine. Jezero Urmia je također izgubilo znatan dio površine, no samo je u jednom godišnjem dobu (jesen) gubitak veći od 50 %. Zbog toga se polazna hipoteza *Površine jezera Urmia, Tashk i Bakhtegan smanjile su se za više od 50% unutar svakog godišnjeg doba u razdoblju 1991. – 2021.* djelomično prihvaća.

Presušivanje iranskih jezera imalo je višestruke posljedice u okolišu, ali i životu ljudi. Na prostoru pojedinih drenažnih bazena došlo je do ubrzavanja procesa dezertifikacije i učestalih pješčanih oluja, koje su iznimno opasne za ljudsko zdravlje. Raspršivanjem soli i drugih čestica narušena je kvaliteta tla, zbog čega je mnogobrojno stanovništvo napustilo poljoprivredu kao glavnu djelatnost za ostvarivanje prihoda. Osim toga, iz ruralnih područja u unutrašnjosti ljudi sve češće migriraju u gradove smještene na sjeveru i zapadu zemlje. Uzimajući u obzir takav neravnomjeran raspored stanovništva i činjenicu da je iranska vlast zakasnila s pokretanjem programa revitalizacije jezera, potrebno je hitno razvijanje plana o održivom upravljanju preostalim zalihama vode. U protivnom, postoji mogućnost da u bliskoj budućnosti veći dio teritorija države koja je nekoć bila pionir razvoja načina opskrbe vodom postane golema pustinja bez osnovnih uvjeta za život.

## Literatura

- Adeli, S., Mirzaii, Z., Saadi, R., Adeli, S., Hosseiny, B., Mirzaii, Z., Saadi, R., Sarajian, M. R. (2017). Analysis Seasonal Precipitations Influence on Areal Change of Lakes: A Case Study in Tashk, Bakhtegan, Maharlu Lakes. *ISPRS International Joint Conference*, Teheran, Iran.
- Afsar, Karāmat-Allāh (2004). Mahārlu Lake, u: *Encyclopædia Iranica*, Center for Iranian Studies, Columbia University, New York.  
Dostupno na: <https://iranicaonline.org/articles/maharlu-lake>
- Alizadeh-Choobari, O., Ahmadi-Givi, F., Mirzaei, N., Owwad, E. (2016). Climate change and anthropogenic impacts on the rapid shrinkage of Lake Urmia. *International Journal of Climatology*, 36(13), 4276–4286. DOI: 10.1002/joc.4630
- Alizade Govarchin Ghale, Y., Altunkaynak, A., Unal, A. (2018). Investigation Anthropogenic Impacts and Climate Factors on Drying up of Urmia Lake using Water Budget and Drought Analysis. *Water Resources Management*, 32(1), 325–337. DOI: 10.1007/s11269-017-1812-5
- Arkian, F., Nicholson, S. E., Ziaie, B. (2018). Meteorological factors affecting the sudden decline in Lake Urmia's water level. *Theoretical and Applied Climatology*, 131(1–2), 641–651. DOI: 10.1007/s00704-016-1992-6
- Azadi, S., Yazdanpanah, H., Nasr-Esfahani, M. A., Pourmanafi, S., Dorigo, W. (2022). The Gavkhouni Wetland Dryness and Its Impact on Air Temperature Variability in the Eastern Part of the Zayandeh-Rud River Basin, Iran. *Water (Switzerland)*, 14(2). DOI: 10.3390/w14020172
- Beaumont, P. (1982). ĀB iii. The hydrology and water resources of the Iranian plateau, u: *Encyclopædia Iranica*, I(1), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 28-39.  
Dostupno na: <https://www.iranicaonline.org/articles/ab-iii-the-hydrology-and-water-resources-of-the-iranian-plateau>
- Boehrer, B., Schultze, M. (2008). Stratification of lakes. *Reviews of Geophysics*, 46(2). DOI: 10.1029/2006RG000210

- Chahine, M. (1992). The hydrological cycle and its influence on climate. *Nature*, 359(6394), 373-380. DOI: 10.1038/359373a0
- Gao, H., Bohn, T. J., Podest, E., McDonald, K. C., Lettenmaier, D. P. (2011). On the causes of the shrinking of Lake Chad. *Environmental Research Letters*, 6(3). DOI: 10.1088/1748-9326/6/3/034021
- Dehghanipour, A. H., Schoups, G., Zahabiyoun, B., Babazadeh, H. (2020). Meeting agricultural and environmental water demand in endorheic irrigated river basins: A simulation-optimization approach applied to the Urmia Lake basin in Iran. *Agricultural Water Management*, 241. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106353
- Ehlers, E. (1984). ĀJĪ ČĀY, u: *Encyclopædia Iranica*, I(7), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 701-702.  
Dostupno na: <https://iranicaonline.org/articles/aji-cay-river-which-flows-into-lake-urumia>
- Ehlers, E. (1992). Climate, u: *Encyclopædia Iranica*, V(7), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 707-713.  
Dostupno na: <https://iranicaonline.org/articles/climate>
- Ehlers, E. (2003). HĀMUN, DARYĀČA-YE i. GEOGRAPHY, u: *Encyclopædia Iranica*, XI(6), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 646-647.  
Dostupno na: <https://iranicaonline.org/articles/hamun-daryaca-ye-i>
- Ehlers, E. (2011). Karkeh River, u: *Encyclopædia Iranica*, XV(6), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 583-585.  
Dostupno na: <https://www.iranicaonline.org/articles/karkeh-river>
- Ehlers, E. (2013). Urmia, Lake, u: *Encyclopædia Iranica*, Center for Iranian Studies, Columbia University, New York.  
Dostupno na: <https://www.iranicaonline.org/articles/urmia-lake>
- Ehteshami-Moinabadi, M., Nasiri, S. (2019). Geometrical and structural setting of landslide dams of the Central Alborz: a link between earthquakes and landslide damming. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 78(1), 69–88. DOI: 10.1007/s10064-017-1021-8

- El Mosleh, M. (2017). *The Use of Remote Sensing to fill the gap data in lake Water Balance*, diplomski rad, University of Oulu, Faculty of Technology, Oulu.
- Emami, H., Zarei, A. (2021). Modelling lake water's surface changes using environmental and remote sensing data: A case study of Lake Urmia. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23. DOI: 10.1016/j.rsase.2021.100594
- Faghih, A., Samani, B., Kusky, T., Khabazi, S., Roshanak, R. (2012). Geomorphologic assessment of relative tectonic activity in the Maharlou Lake Basin, Zagros Mountains of Iran. *Geological Journal*, 47(1), 30–40. DOI: 10.1002/gj.1329
- Fathian, F., Morid, S., Kahya, E. (2015). Identification of trends in hydrological and climatic variables in Urmia Lake basin, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 119(3–4), 443–464. DOI: 10.1007/s00704-014-1120-4
- Finlayson, C. M., (2018). Salt Lakes, u: *The Wetland Book II: Distribution, Description and Conservation*, ur. N. Davidson, C.M. Finlayson, G.R. Milton i R.C. Prentice, Springer Science+Business Media, Dordrecht, 143-154, DOI: 10.1007/978-94-007-4001-3
- Fisher, W. B. (1968). *The Cambridge History of Iran, Volume 1*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Gaybullaev, B., Chen, S.-C., Gaybullaev, D. (2012). Changes in water volume of the Aral Sea after 1960. *Applied Water Science*, 2(4), 285–291. DOI: 10.1007/s13201-012-0048-z
- Ghader, F. (2018). *Water and Water Shortage in Iran: Case Study Tashk-Bakhtegan and Maharlu Lakes Basin, Fars Province, South Iran*, doktorska disertacija, Technische Universität Berlin, Berlin.
- Ghorbani, M. (2013). Nature of Iran and Its Climate, u: *The Economic Geology of Iran: Mineral Deposits and Natural Resources*, Springer Geology. Springer, Dordrecht, 1-44. DOI: 10.1007/978-94-007-5625-0\_1
- Gutman, G., Masek, J. G. (2012). Long-term time series of the Earth's land-surface observations from space. *International Journal of Remote Sensing*, 33(15), 4700–4719. DOI: 10.1080/01431161.2011.638341

- Hamzeh, M. A., Mahmudy-Gharaie, M. H., Alizadeh-Lahijani, H., Moussavi-Harami, R., Djamali, M., Naderi-Beni, A. (2016). PALEOLIMNOLOGY of LAKE HAMOUN (E Iran): IMPLICATION for PAST CLIMATE CHANGES and POSSIBLE IMPACTS on HUMAN SETTLEMENTS. *Palaios*, 31(12), 616–629. DOI: 10.2110/palo.2016.055
- Hosseini-Chavoshi, M., Abbasi-Shavazi, M.J. (2012). Demographic Transition in Iran: Changes and Challenges, u: *Population Dynamics in Muslim Countries*, ur. Groth, H., Sousa-Poza, A., Springer, Berlin, Heidelberg, 97-115. DOI: 10.1007/978-3-642-27881-5\_7
- Ikusemoran, M., Alhaji, M., Abdussalam, B. (2017). Geospatial Assessments of the Shrinking Lake Chad. *Adamawa State University Journal of Scientific Research*, 6(1), 114-130.
- Jahanbakhsh Ganjeh, M., Khorasani, N., Morshedi, J., Danehkar, A., Naderi, M. (2017). An investigation on spatial changes of Parishan International Wetland using remote sensing methods. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(3), 549–562. DOI: 10.15666/aeer/1503\_549562
- Jalili, S., Hamidi, S. A., Namdar Ghanbari, R. (2016). Climate variability and anthropogenic effects on Lake Urmia water level fluctuations, northwestern Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 61(10), 1759–1769. DOI: 10.1080/02626667.2015.1036757
- Jones, M. D., Djamali, M., Holmes, J., Weeks, L., Leng, M. J., Lashkari, A., Alamdari, K., Noorollahi, D., Thomas, L., Metcalfe, S. E. (2015). Human impact on the hydroenvironment of Lake Parishan, SW Iran, through the late-Holocene. *Holocene*, 25(10), 1651–1661. DOI: 10.1177/0959683615594242
- Khoram, M. R., Hoshmand, K. (2011). Assessment of biodiversities and spatial structure of Zarivar Wetland in Kurdistan Province, Iran. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 13(3). DOI: 10.13057/biodiv/d130305
- Kiani, T., Ramesht, M. H., Maleki, A., Safakish, F. (2017). Analyzing the Impacts of Climate Change on Water Level Fluctuations of Tashk and Bakhtegan Lakes and Its Role in Environmental Sustainability. *Open Journal of Ecology*, 07(02), 158–178. DOI:10.4236/oje.2017.72012

- Kiyani Haftlang, K. (2003). *The book of Iran: A Survey of the Geography of Iran*, Center for International-Cultural Studies, Teheran.
- Madani, K. (2014). Water management in Iran: what is causing the looming crisis? *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 4(4), 315–328. DOI: 10.1007/s13412-014-0182-z
- Li, W., Du, Z., Ling, F., Zhou, D., Wang, H., Gui, Y., Sun, B., Zhang, X. (2013). A comparison of land surface water mapping using the normalized difference water index from TM, ETM+ and ALI. *Remote Sensing*, 5(11), 5530–5549. DOI: 10.3390/rs5115530
- Malekinezhad, H. (2009). Study on the water availability in Iran, using the international water indicators, *8th International congress on civil engineering*, Shiraz, Iran.
- McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7), 1425–1432. DOI: 10.1080/01431169608948714
- Mehrian, M. R., Hernandez, R. P., Yavari, A. R., Faryadi, S., Salehi, E. (2016). Investigating the causality of changes in the landscape pattern of Lake Urmia basin, Iran using remote sensing and time series analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 188(8). DOI: 10.1007/s10661-016-5456-3
- Mityagina, M. I., Lavrova, O. Y., Kostianoy, A. G. (2019). Pattern of the Caspian Sea surface oil pollution revealed by satellite data. *Ecologica Montenegrina*, 25(Special Issue), 91–105. DOI: 10.37828/em.2019.25.9
- Moshir Panahi, D., Kalantari, Z., Ghajarnia, N., Seifollahi-Aghmiuni, S., Destouni, G. (2020). Variability and change in the hydro-climate and water resources of Iran over a recent 30-year period. *Scientific Reports*, 10(1). DOI: 10.1038/s41598-020-64089-y
- Najafi, A., Vatanfada, J. (2011). Environmental Challenges in Trans-Boundary Waters, Case Study: Hamoon Hirmand Wetland (Iran and Afghanistan). *International Journal of Water Resources and Arid Environments*, 1(1), 16–24.
- Nhu, V. H., Mohammadi, A., Shahabi, H., Shirzadi, A., Al-Ansari, N., Ahmad, B. bin, Chen, W., Khodadadi, M., Ahmadi, M., Khosravi, K., Jaafari, A., Nguyen, H. (2020a). Monitoring and Assessment of Water Level Fluctuations of the Lake Urmia and Its

- Environmental Consequences Using Multitemporal Landsat 7 ETM+ images. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 1–18. DOI: 10.3390/ijerph17124210
- Nhu, V. H., Shahabi, H., Nohani, E., Shirzadi, A., Al-Ansari, N., Bahrami, S., Miraki, S., Geertsema, M., Nguyen, H. (2020b). Daily Water Level Prediction of Zrebar lake (Iran): A Comparison between M5P, Random Forest, Random Tree and Reduced Error Pruning Trees Algorithms. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(8). DOI: 10.3390/ijgi9080479
- Nodefarahani, M., Aradpour, S., Noori, R., Tang, Q., Partani, S., Klöve, B. (2020). Metal pollution assessment in surface sediments of Namak Lake, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(36), 45639–45649. DOI: 10.1007/s11356-020-10298-x
- Pakzad, S., Keshtkar, A. R., Keshtkar, H., Atashi, H., Afzali, A. (2021). Impact of lake surface changes on climate fluctuation within a lake-affected region. *Environmental Earth Sciences*, 80(4). DOI: 10.1007/s12665-021-09425-9
- Planhol, d. X. (1990). CASPIAN SEA i. GEOGRAPHY, u: *Encyclopædia Iranica*, V(1), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 48-50.  
Dostupno na: <https://www.iranicaonline.org/articles/caspian-sea-i>
- Prange, M., Wilke, T., Wesselingh, F. P. (2020). The other side of sea level change. *Communications Earth & Environment*, 1(1). DOI: 10.1038/s43247-020-00075-6
- Rahimi, A., Breuste, J. (2021). Why is Lake Urmia Drying up? Prognostic Modeling With Land-Use Data and Artificial Neural Network. *Frontiers in Environmental Science*, 9. DOI: 10.3389/fenvs.2021.603916
- Rashki, A., Kaskaoutis, D. G., Goudie, A. S., Kahn, R. A. (2013). Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: The case of the Hamoun drainage basin, Southeastern Iran. *Science of the Total Environment*, 463–464, 552–564. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.06.045
- Rashki, A., Arjmand, M., Kaskaoutis, D. G. (2017). Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmurian Basin, southeast Iran. *Aeolian Research*, 24, 145–160. DOI: 10.1016/j.aeolia.2017.01.002

- Rokni, K., Ahmad, A., Selamat, A., Hazini, S. (2014). Water feature extraction and change detection using multitemporal landsat imagery. *Remote Sensing*, 6(5), 4173–4189. DOI: 10.3390/rs6054173
- Saemian, P., Elmi, O., Vishwakarma, B. D., Tourian, M. J., Sneeuw, N. (2020). Analyzing the Lake Urmia restoration progress using ground-based and spaceborne observations. *Science of the Total Environment*, 739. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.139857
- Schmidt, M., Gonda, R., Transiskus, S. (2021). Environmental degradation at Lake Urmia (Iran): exploring the causes and their impacts on rural livelihoods. *GeoJournal*, 86(5), 2149–2163. DOI: 10.1007/s10708-020-10180-w
- Sharifi, A., Shah-Hosseini, M., Pourmand, A., Esfahaninejad, M., Haeri-Ardakani, O. (2018). The vanishing of Urmia Lake: A geolimnological perspective on the hydrological imbalance of the world's second largest hypersaline lake. In *Handbook of Environmental Chemistry* (Vol. PartF1). Springer. DOI: 10.1007/698\_2018\_359
- Sharifi, M., Tabatabai, M. R. M., Najafabadi, S. H. G. (2021). Determination of river design discharge (Tar river case study). *Journal of Water and Climate Change*, 12(2), 612–626. DOI: 10.2166/wcc.2020.278
- Sharifikia, M. (2013). Environmental challenges and drought hazard assessment of Hamoun Desert Lake in Sistan region, Iran, based on the time series of satellite imagery. *Natural Hazards*, 65(1), 201–217. DOI: 10.1007/s11069-012-0353-8
- Sheikh, Z., Yazdani, M. R., Moghaddam Nia, A. (2020). Spatiotemporal changes of 7-day low flow in Iran's Namak Lake Basin: impacts of climatic and human factors. *Theoretical and Applied Climatology*, 139(1–2), 57–73. DOI: 10.1007/s00704-019-02959-w
- Soltani, M., Laux, P., Kunstmann, H., Stan, K., Sohrabi, M. M., Molanejad, M., Sabziparvar, A. A., Ranjbar SaadatAbadi, A., Ranjbar, F., Roustaa, I., Zawar-Reza, P., Khoshakhlagh, F., Soltanzadeh, I., Babu, C. A., Azizi, G. H., Martin, M. v. (2016). Assessment of climate variations in temperature and precipitation extreme events over Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 126(3–4), 775–795. DOI: 10.1007/s00704-015-1609-5



Spooner, B. (1994). Desert, u: *Encyclopædia Iranica*, VII (3), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 321-331.

Preuzeto s: [https://repository.upenn.edu/anthro\\_papers/129](https://repository.upenn.edu/anthro_papers/129)

Taghadosi, M. M., Hasanlou, M. (2017). Trend Analysis of Soil Salinity in Different Land Cover Types Using Landsat Time Series Data (Case Study Bakhtegan Salt Lake). *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4W4), 251–257. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-4-W4-251-2017

Talebi, T., Ramezani, E., Djamali, M., Lahijani, H. A. K., Naqinezhad, A., Alizadeh, K., Andrieu-Ponel, V. (2016). The Late-Holocene climate change, vegetation dynamics, lake-level changes and anthropogenic impacts in the Lake Urmia region, NW Iran. *Quaternary International*, 408, 40–51. DOI: 10.1016/j.quaint.2015.11.0700

Terrapon-Pfaff, J., Fink, T., Lechtenböhmer, S. (2018). *The Water-Energy Nexus in Iran: Water-Related Challenges for the Power Sector*, Bonn, Friedrich-Ebert-Stiftung. Dostupno na: <http://library.fes.de/pdf-files/iez/15108.pdf>

Torabi Haghighi, A., Kløve, B. (2017). Design of environmental flow regimes to maintain lakes and wetlands in regions with high seasonal irrigation demand. *Ecological Engineering*, 100, 120–129. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.12.015

Tussupova, K., Anchita, Hjorth, P., Moravej, M. (2020). Drying lakes: A review on the applied restoration strategies and health conditions in contiguous areas. In *Water (Switzerland)* (Vol. 12, Issue 3). MDPI AG. DOI: 10.3390/w12030749

Vahidipour, M., Raeisi, E., van der Zee, S. (2021). Active saltwater intrusion of shrinking Bakhtegan - Tashk Lakes in South Iran threatens the freshwater resources of coastal aquifers. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 34. DOI: 10.1016/j.ejrh.2021.100790

Vela, E., Medved, I., Miljković, V. (2017). Geostatistička analiza vegetacijskih indeksa na šumskom ekosustavu Česma. *Geodetski list*, 71 (94) (1), 25-40.

Preuzeto s <https://hrcak.srce.hr/181953>

- Wang, X., Chen, Y., Li, Z., Fang, G., Wang, F., Liu, H. (2020). The impact of climate change and human activities on the Aral Sea Basin over the past 50 years. *Atmospheric Research*, 245. DOI: 10.1016/j.atmosres.2020.105125
- Wilber, N.D. (1981). *The Land, u: Iran, Past and Present: From Monarchy to Islamic Republic*, Princeton University Press, Princeton, 3-16.
- Wulder, M. A., Loveland, T. R., Roy, D. P., Crawford, C. J., Masek, J. G., Woodcock, C. E. i sur. (2019). Current status of Landsat program, science, and applications. *Remote Sensing of Environment*, 225, 127–147. DOI: 10.1016/j.rse.2019.02.015
- Wurtsbaugh, W. A., Miller, C., Null, S. E., Justin De Rose, R., Wilcock, P., Hahnenberger, M., Howe, F., Moore, J. (2017). Decline of the world’s saline lakes. *Nature Geoscience*, 10(11), 816–821. DOI: 10.1038/NGEO3052
- Yang, X., Wang, N., Chen, A., He, J., Hua, T., Qie, Y. (2020). Changes in area and water volume of the Aral Sea in the arid Central Asia over the period of 1960–2018 and their causes. *Catena*, 191. DOI: 10.1016/j.catena.2020.104566
- Yapiyev, V., Sagintayev, Z., Inglezakis, V. J., Samarkhanov, K., Verhoef, A. (2017). Essentials of Endorheic Basins and Lakes: A Review in the Context of Current and Future Water Resource Management and Mitigation Activities in Central Asia. *Water*, 9(10), 798. DOI: 10.3390/w9100798
- Yazdandoost, F. (2016). Dams, Drought and Water Shortage in Today’s Iran. *Iranian Studies*, 49(6), 1017–1028. DOI: 10.1080/00210862.2016.1241626
- Zaki, N. A., Haghghi, A. T., Rossi, P. M., Tourian, M. J., Kløve, B. (2019). Monitoring Groundwater Storage Depletion Using Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) Data in Bakhtegan Catchment, Iran. *Water (Switzerland)*, 11(7). DOI: 10.3390/w11071456
- Zaki, N. A. (2020). *THE ROLE OF AGRICULTURE EXPANSION IN WATER RESOURCES DEPLETION IN CENTRAL IRAN*, doktorska disertacija, Faculty of Technology, University of Oulu, Oulu. DOI: 10.13140/RG.2.2.31754.90566

- Zaki, N. A., Haghghi, A. T., Rossi, P. M., Tourian, M. J., Bakhshae, A., Kløve, B. (2020). Evaluating impacts of irrigation and drought on river, groundwater and a terminal Wetland in the Zayanderud Basin, Iran. *Water (Switzerland)*, 12(5). DOI: 10.3390/W12051302
- Zanjani, H. A. (2002). GORGĀN i. Geography, u: *Encyclopaedia Iranica*, XI(2), Center for Iranian Studies, Columbia University, New York, 139-142  
Dostupno na: <http://www.iranicaonline.org/articles/gorgan-i>
- Zare, K., Sheykhi, V., Zare, M. (2020). Investigating the heavy metals' removal capacity of some native plant species from the wetland groundwater of Maharlu Lake in Fars province, Iran. *International Journal of Phytoremediation*, 22(7), 781–788. DOI: 10.1080/15226514.2019.1710815
- Zeinoddini, M., Bakhtiari, A., & Ehteshami, M. (2015). Long-term impacts from damming and water level manipulation on flow and salinity regimes in Lake Urmia, Iran. *Water and Environment Journal*, 29(1), 71–87. DOI: 10.1111/wej.12087
- Zoljoodi, M., Didevarasl, A. (2014). Water-Level Fluctuations of Urmia Lake: Relationship with the Long-Term Changes of Meteorological Variables (Solutions for Water-Crisis Management in Urmia Lake Basin). *Atmospheric and Climate Sciences*, 04(03), 358–368. DOI: 10.4236/acs.2014.43036

## Izvori

*AQUASTAT Country Profile – Iran (Islamic Republic of)*, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rim, Italija, 2008., <https://www.fao.org/aquastat/en/countries-and-basins/country-profiles/country/IRN>

National Population and Housing Census 2016., *Population of the Country in Urban and Rural Areas, by Sex and Province*, Statistical Centre of Iran (SCI), Teheran, <https://www.amar.org.ir/english>

### Internetski izvori:

URL 1, *DIVA-GIS*, <https://www.diva-gis.org/Data>, 14. ožujka 2022.

URL 2, *Wikimedia Commons*, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iran\\_topo\\_hr.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Iran_topo_hr.svg), 18. ožujka 2022.

URL 3, *AMUSING PLANET*, <https://www.amusingplanet.com/2015/09/dasht-e-kavir-great-salt-desert.html>, 24. ožujka 2022.

URL 4, *Wikimedia Commons*, [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koppen-Geiger\\_Map\\_IRN\\_present.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Koppen-Geiger_Map_IRN_present.svg), 27. ožujka 2022.

URL 5, *GRID-Arendal*, <https://www.grida.no/resources/8081>, 6. travnja 2022.

URL 6, *Encyclopaedia Iranica*, <https://www.iranicaonline.org/articles/ab-iii-the-hydrology-and-water-resources-of-the-iranian-plateau>, 8. travnja 2022.

URL7, *Logistics Capacity Assessments*, <https://dlca.logcluster.org/display/public/DLCA/2.5+Iran+Waterways+Assessment>, 8. travnja 2022.

URL 8, *MAPPR*, <https://www.mappr.co/counties/iran/>, 10. travnja 2022.

URL 9, *Administrative Divisions of Countries*, <http://www.statoids.com/uir.html>, 10. travnja 2022.

URL 10, *Wikimapia*, <http://wikimapia.org/1406437/Namak-Lake>, 18. lipnja 2022.

URL 11, *Wikipedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Ramsar\\_Convention](https://en.wikipedia.org/wiki/Ramsar_Convention), 20. lipnja 2022.

URL 12, *The European Space Agency*, [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth/Copernicus/Earth\\_from\\_Space\\_Maharloo\\_Lake](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Earth_from_Space_Maharloo_Lake), 26. lipnja 2022.

URL 13, *Wikipedia*, [https://en.wikipedia.org/wiki/Sistan\\_Basin](https://en.wikipedia.org/wiki/Sistan_Basin), 29. lipnja 2022.

URL 14, *Wikimedia Commons*, <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Marivan-zarivar-Iran.jpg>, 3. srpnja 2022.

URL 15, *Sajedeh Zarei*, <https://sajedehzaree.com/stories/one-step-to-the-death-of-bakhtegan/>, 18. srpnja 2022.

URL 16, *United States Geological Survey (USGS)*, <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-satellite-missions>, 4. kolovoza 2022.

URL 17, *USGS Earth Explorer*, <https://earthexplorer.usgs.gov/>, 10. kolovoza, 2022.

## Popis grafičkih priloga

Slika 1. Područje istraživanja – jezera Urmia, Bakhtegan i Tashk u Iranu .....	10
Slika 2. Shema korištenog metodološkog pristupa u istraživanju promjene jezerskih površina .....	14
Slika 3. Hipsometrijska karta Irana.....	16
Slika 4. Slane „ploče“ u pustinji Dasht-e Kavir.....	18
Slika 5. Köppen-Geigerova klimatska klasifikacija Irana (za razdoblje 1980. – 2016.) .....	20
Slika 6. Shematski prikaz sustava kanata .....	21
Slika 7. Glavni drenažni bazeni i razvodnice u Iranu (puna linija – razvodnica između velikih drenažnih bazena, isprekidana linija – razvodnica između manjih drenažnih bazena) .....	23
Slika 8. Riječni tokovi u Iranu .....	25
Slika 9. Iranske regije i pokrajine .....	27
Slika 10. Dijelovi Kaspijskog jezera i njihove dubine.....	29
Slika 11. Nakupine slanih sedimenata na površini jezera Namak .....	30
Slika 12. Stanje jezera (močvare) Gavkhouni 1989. i 2021. ....	32
Slika 13. Satelitska snimka jezera Maharlu i grada Shiraza .....	33
Slika 14. Drenažni bazen kompleksa jezera Hamun.....	35
Slika 15. Jezero Zarivar i obližnji krajolik.....	37
Slika 16. Geografski smještaj jezera Urmia.....	38
Slika 17. Satelitske snimke promjene površine Urmije (1996. – 2018.) .....	39
Slika 18. Drenažni bazen jezera Bakhtegan i Tashk.....	43

Slika 19. Promjena u (a) prosječnoj temperaturi (T) i (b) prosječnoj količini padalina (P) u 30 glavnih drenažnih bazena u Iranu između dva podrazdoblja (1986. – 2000. i 2001. – 2016.)	46
Slika 20. Navodnjavane poljoprivredne površine na prostoru drenažnog bazena Urmije (1984., 1999. i 2014.) i njihove promjene u razdoblju 1984. – 1999. i 1999. – 2014.....	50
Slika 21. Vremenska traka satelitske misije Landsat.....	54
Slika 22. NDWI na području jezera Urmia 1991. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (srpanj), d) jesen (listopad).....	58
Slika 23. NDWI na području jezera Urmia 2021. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (kolovoz), d) jesen (listopad).....	59
Slika 24. NDWI na području jezera Bakhtegan i Tashk 1991. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (kolovoz), d) jesen (studeni).....	60
Slika 25. NDWI na području jezera Bakhtegan i Tashk 2021. a) zima (veljača), b) proljeće (svibanj), c) ljeto (kolovoz), d) jesen (studeni).....	61
Slika 26. Model površine jezera Urmia za listopad 1991. i 2021. ....	63
Slika 27. Model površina jezera Bakhtegan i Tashk za veljaču 1991. i 2021. ....	64
Slika 28. Klasifikacija zemljišnog pokrova jezera Urmia za 2016. ....	66

## Popis tabličnih priloga

Tablica 1. Vrijednosti površine jezera Urmija i njihove promjene u razdoblju 1991. – 2021.	62
Tablica 2. Vrijednosti površine jezera Bakhtegan i njihove promjene u razdoblju 1991. – 2021. ....	64
Tablica 3. Vrijednosti površine jezera Tashk i njihove promjene u razdoblju 1991. – 2021. ....	64

## Sažetak

U ovom diplomskom radu analizirane su recentne promjene jezerskih površina na prostoru Irana, istraženi su uzroci njihovog nastanka te posljedice koje predstavljaju prijetnju okolišu i stanovništvu ove države na Bliskom istoku. Prvenstveno su opisana opća prirodna i društvena geografska obilježja Irana koja su polazište za razumijevanje problema presušivanja jezera. U središnjem dijelu rada sagledana su različita obilježja endoreičnih drenažnih bazena na prostoru Irana i najpoznatijih jezera koja su smještena u njihovom središtu. Poseban naglasak stavljen je na uže područje istraživanja, odnosno jezero Urmia na sjeverozapadu te Bakhtegan i Tashk na jugu Irana. Analizirani su i predstavljeni prirodni te antropogeni čimbenici koji su utjecali na presušivanje jezera. Posljednji dio rada sastoji se od poglavlja u kojemu je istraživana promjena površine odabranih jezera, primjenom znanja o geoprostornim tehnologijama, odnosno obradom i analizom Landsat satelitskih snimaka. Izvođenjem vodenog indeksa normalizirane razlike (NDWI) na temelju spektralnih kanala satelitskih snimki jezera za 1991. i 2021., dobiveni su rezultati na godišnjoj i međugodišnjoj razini. Vrijednosti površine svih jezera pokazuju sezonske oscilacije unutar godine, s maksimumom površine zimi ili u proljeće. Rezultati za 2021. pokazuju negativne promjene jezerskih površina, tj. značajno smanjenje u odnosu na rezultate koji su izvedeni za 1991. Naposljetku rada iznesene su različite vrsta posljedica nastalih presušivanjem iranskih jezera.

## Summary

In this paper, recent changes in lake surfaces in Iran were analyzed. Also, causes of their occurrence and consequences that represent a threat to the environment and the population of this country in the Middle East were investigated. Primarily, the general natural and social geographical features of Iran were described. They are the base for understanding the problem of lake shrinking. In the middle of the paper, the different features of Iran's endorheic drainage basins and main lakes located in their center are reviewed. Special emphasis was placed on the narrower research area, Lake Urmia in the northwest and Bakhtegan and Tashk in the south of Iran. Natural and anthropogenic factors that influenced the lake shrinking were analyzed and presented. The last part of the paper consists of a chapter where the surface area change of selected lakes was investigated. It was done by applying knowledge about geospatial technologies, i.e. processing and analyzing Landsat satellite images. Based on satellite images of lakes from 1991 and 2021 and their bands, the normalized difference water index (NDWI) was derived. Results were obtained on an annual and interannual level. Surface area values of every lake show seasonal oscillations within the year, with the maximum surface area in winter or spring. The results for 2021 show negative changes in the lake surface area, and significant decrease compared to the results for 1991. At the end of the paper, various types of consequences, caused by the drying up of Iranian lakes, were presented.