

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE**

**FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ**

**KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO  
PLÁNOVÁNÍ**



**SLEDOVÁNÍ JEZER V OBLASTECH PROBÍHAJÍCÍ  
DESERTIFIKACE POMOCÍ DAT DPZ**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**VEDOUCÍ PRÁCE: Mgr. Jan Kropáček, Ph.D.**

**DIPLOMANT: Bc. Nikola Hillmerová**

**2019**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Nikola Hillmerová

Krajinně a pozemkové úpravy

Název práce

**Monitoring of lakes in the areas affected by desertification by remote sensing**

Název anglicky

**Sledování jezer v oblastech probíhající desertifikace pomocí dat DPZ**

---

### Cíle práce

Proces desertifikace vedoucí k degradaci rozsáhlých ploch zasahuje rozsáhlé semiaridní oblasti zemského povrchu. Jezera v těchto oblastech představují významné krajinné prvky snižující tepelnou denní a sezonní výkyvy teplot a sloužící například jako shromaždiště tažných ptáků. Gavkhuni, terminální jezero řeky Zayandeh Rud ve středním Iránu bude analyzováno prostředky dálkového průzkumu Země. Toto občasné jezero je významnou iránskou lokalitou Ramsar. Bude stanovena sezónní a meziroční variabilita rozsahu jezera a přilehlé vegetace.

### Metodika

Sezónní a meziroční výkyvy v rozsahu vodní plochy budou sledovány na časových řadách snímků družic Sentinel a Landsat. Stav okolního močálu bude analyzován pomocí vhodných spektrálních indexů. Výsledky budou zhodnoceny ve formě statistiky a map rozsahu pobřežní vegetace a vodních ploch.

**Doporučený rozsah práce**

40 – 60 stran

**Klíčová slova**

rozsah vodních ploch, družicové snímání, Irán

---

**Doporučené zdroje informací**

Birkett, C. M. "Synergistic remote sensing of Lake Chad: Variability of basin inundation." *Remote sensing of environment* 72.2 (2000): 218-236.

Crétaux, Jean-Francois, et al. "Evolution of sea level of the big Aral Sea from satellite altimetry and its implications for water balance." *Journal of Great Lakes Research* 31.4 (2005): 520-534.

Gao, Bo-Cai. "NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space." *Remote sensing of environment* 58.3 (1996): 257-266.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – FŽP

**Vedoucí práce**

Mgr. Jan Kropáček, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

---

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2019

**doc. Ing. Petra Šimová, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 11. 3. 2019

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2019

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením Mgr. Jana Kropáčka, Ph.D. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 18.4.2019

.....

Nikola Hillmerová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce Mgr. Janu Kropáčkovi, Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky, pomoc a ochotu při jejím zpracování.

Dále bych také ráda poděkovala rodičům za podporu a důvěru.

V Praze 18.4.2019

.....

Nikola Hillmerová

## **Abstrakt**

Slané jezero Gav khuni ve středním Iránu patří mezi významné mezinárodní rezervace. V posledních letech dochází ke změně klimatu a stálému nárůstu spotřeby vody v zemědělství, průmyslu a domácnostech. Tyto faktory zapříčiňují desertifikaci a vysychání jezera, které slouží jako shromaždiště tažných ptáků. Gav khuni je znám pro svůj významný ekosystém a spadá pod Ramsarskou úmluvu. Jediným zdrojem vody je řeka Zayandeh Rud, která teče z hor Zagros přes třetí největší město Iránu, Esfahán. V této práci byly analyzovány meziroční a sezonní změny výskytu vodní plochy a přilehlé vegetace. Pro zpracování dat byla zvolena metoda dálkový průzkum Země. Změny vodní plochy a vegetace byly sledovány na družicových snímcích Sentinel 2 a Landsat 4-5,8. Pro analýzy byly použity satelitní snímky v období od roku 1987 až do 2018. Celkem byly analýzy prováděny na 503 snímcích. Pro mapování vegetace byl použit vegetační index NDVI a k detekci vodní plochy byl nejdříve použit index NDWI. Bylo zjištěno, že pro mapování vody v této oblasti je index NDWI nevyhovující, neboť zasolené vyschlé dno nabývá stejných hodnot jako vodní plochy. Proto byla dále použita metoda prahování blízkého infračerveného pásma, díky které byly získány binární mapy. Tato metoda vede k rozlišení vodních ploch od zasoleného dna. Z výsledků vyplývá, že vodní plocha se v jezeře vyskytuje hlavně v zimních měsících, naopak v letních měsících bývá jezero vyschlé. Od roku 2008 do listopadu 2018 bylo jezero trvale vyschlé, místo vodní plochy se zde nachází vyschlé solné dno. Vegetace se nachází hlavně v severní části jezera a kopíruje tok řeky Zayandeh Rud, která ústí do jezera Gav khuni. Vegetace je i v minimálním množství zastoupena každý rok.

**Klíčová slova:** rozsah vodních ploch, družicové snímání, jezero Gav khuni, Irán, vysychání jezer, Sentinel 2, Landsat

## **Abstract**

The salt lake Gav khuni in central Iran is one of the major international reserves. In recent years, there has been a climate change and a steady increase in water consumption in agriculture, industry and households. These factors are the desertification and desiccation of the lake, which serves as a gathering place for towable birds. Gav khuni is known for its important ecosystem and falls under the Ramsar convention. The only source of water is the river Zayandeh Rud, which flows from the mountains of Zagros through the third largest city of Iran, Esfahán. In this work, annual and seasonal changes in the appearance of the water surface and adjacent vegetation were analysed. To process the data, the remote sensing method was selected. Changes in the water surface and vegetation were observed on the satellite images Sentinel 2 and Landsat 4-5,8. For analyses, satellite imagery was used in the period from year 1987 to 2018. In Total, analyses were carried out at 503 images. For vegetation mapping, the NDVI vegetative index was used and the NDWI index was first used to detect the water surface. It was found that the NDWI index is unsatisfactory for the mapping of water in this area as the salted dry bottom acquires the same values as the water surface. Therefore, the method of the close infrared band was used, thanks to which the binary maps were obtained. This method leads to the distinction of water areas from the saled bottom. The results show that the water surface in the lake occurs mainly in the winter months, on the contrary, in the summer months, the lake tends to dry. From 2008 to November 2018, the lake was permanently dry, instead of the water surface there is there a dry salt bottom. The vegetation is located mainly in the northern part of the lake and follows the flow of the river Zayandeh Rud, which leads to the lake Gav khuni. The vegetation is also represented in a minimum amount every year.

**Key words:** water surface range, satellite sensing, Gav khuni lake, Iran, desiccation of lakes, Sentinel 2, Landsat

# Obsah

Seznam použitých zkratk	10
1. Úvod	11
2. Cíle práce	13
3. Literární rešerše	14
3.1 Zayandeh Rud	14
3.1.1 Charakteristika a základní údaje	14
3.1.2 Klimatické poměry	15
3.2 Hydrologická řešení nedostatku vody	16
3.2.1 Výstavba tunelů	16
3.2.2 Chadeganská přehrada	17
3.3 Charakteristika zájmového území	18
3.3.1 Gav khuni	18
3.3.2 Hydrologické vlastnosti	19
3.3.3 Flóra a fauna	20
3.3.4 Srážkové a teplotní poměry	20
3.4 Dálkový průzkum Země	23
3.4.1 Proces dálkového snímání	23
3.4.2 Elektromagnetické spektrum	24
3.4.3 Snímkování	25
3.5 Spektrální indexy	30
3.5.1 NDVI index	30
3.5.2 NDWI index	32
4. Metodika	34
4.1 Zpracování družicových snímků Landsat 4-5,8 a Sentinel 2 pro výpočet NDWI	34
4.1.1 Vstupní data	34
4.1.2 Převzorkování a ořez snímků	34
4.1.3 Výpočet indexu NDWI	35
4.1.4 Prahování snímků	35
4.2 Prahovací metoda a výpočet vodní plochy	35
4.2.1 Binární obraz	35
4.2.2 Výpočet vodní plochy	36
4.3 Zpracování družicových snímků Sentinel 2 MSI pro výpočet spektrálního indexu NDVI	38
4.3.1 Atmosférické korekce	39
4.3.2 Převzorkování a ořezání snímků	39



4.3.3 Výpočet indexu NDVI .....	40
5. Výsledky .....	42
5.1 NDWI .....	42
5.2 Tvorba binárních obrazů a výpočet vodní plochy .....	43
5.3 Změny rozsahu vodní plochy v průběhu roku 1987 .....	45
5.4 Plocha vegetace v průběhu roku 2018 .....	48
6. Diskuze .....	52
7. Závěr .....	55
8. Přehled literatury a použitých zdrojů .....	57
9. Přílohy .....	62

## Seznam použitých zkratk

DPZ	Dálkový průzkum Země
GIS	Geographic information system – Geografický informační systém
LANDSAT TM	Landsat Thematic Mapper – Landsat mechanický skener
MSS	Multi Spectral Imager – multispektrální kamera
MSS	Multispectral Scanner – multispektrální senzor
NASA	National Aeronautics and Space Administration – Národní úřad pro letectví a kosmonautiku
NDVI	Normalized difference vegetation index – normalizovaný diferenční vegetační index
NDWI	Normalized Difference Water Index – normalizovaný diferenční vodní index
NIR	Near Infrared – blízké infračervené pásmo
OLI	Operational Land Imager – Pozemní snímač
R	Red – červené pásmo
RBV	Return Beam Vidicon
SWIR	short wave infrared – krátkovlnné infračervené pásmo
TIRS	Thermal Infrared Sensor – Tepelný infračervený senzor
USA	United States of America – spojené státy americké
USGS	United States Geological Survey – geologický průzkum Spojených států
VIS	Visible light – viditelné pásmo

## 1. Úvod

Desertifikace často bývá označována jako globální problém, se kterým se vypořádává řada zemí. Mezi takovéto země patří i Irán. Desertifikaci zapříčiňuje hlavně lidská činnost, která ovlivňuje stav vegetace, půdy, vody a oscilace klimatu. Hlavní důležité faktory vzrůstající desertifikace jsou: nedostatek potenciálu pro vegetaci v pouštních oblastech, rostoucí populace a nadměrné využívání půdy. V důsledku těchto faktorů se v posledních desetiletích zhoršila degradace půdy. V Iránu se populace za posledních 25 let zdvojnásobila, a to vedlo k rozsáhlému využívání půdy a k nadměrnému využívání dřeva jako paliva. Většina faktorů, které působí desertifikační proces v Iránu jsou klimatického působení např. fluktuace, sucho, vodní eroze a špatné hospodaření půdy (Barzani, Khairulmaini, 2013).

Termální jezero Gav khuni je jedním z významných ekosystému nacházející se v centrálním Iránu. Jezero je velmi důležité pro migrující ptáky a spadá pod Ramsarskou úmluvu z roku 1971 (Aalamifar et al., 2014). Jeho plocha se každoročně mění v důsledku přítoku řeky. Kvalita a množství vody závisí na tom, kolik vody bude puštěno z přehrady a kolik vody dorazí do jezera (Aerts, Droogers, 2004). Řeka Zayandeh Rud je jediným zdrojem vody pro udržení cenného ekosystému jezera. Bohužel prioritní využití řeky je pro zemědělství, průmysl a dodávky do domácností (Zareian et al., 2015). Oblast se v poslední době potýká s nedostatkem vody, který stále roste. Jedna z hlavních příčin je změna klimatu v této oblasti a rychlý růst obyvatel (Zareian et al., 2015). Růst obyvatel zapříčinil i změnu klimatu. Klima zájmové oblasti je velmi podobné suchému klimatu, které se liší od minulosti. Nízký výskyt srážek ovlivňuje hlavně hladinu podzemní vody a dochází k jejímu postupnému snižování, a to má vliv na životní prostředí. Kolem mokřadu Gav Khuni, který se nachází v nižších polohách jsou průměrné roční srážky 72 mm. Vzhledem k podmínkám dochází k značnému odlesňování a vegetační pokryv se dramaticky snižuje. Jestli to bude takhle dál pokračovat, bude se oblast stále více vysušovat (Barzani, Salleh, 2017).

Pro zpracování dat byla zvolena metoda dálkový průzkum Země. DPZ získává informace o zemském povrchu a vodních plochách za pomoci satelitních snímků (Campbell 1996).

Zpracováním snímků a jejich analýzou vytváří topografické či tematické mapy. Tyto mapy jsou využívány v mnoha oborech např. v oblasti ochrany přírody, v územním plánování, při monitoringu přírodních katastrof a atmosférických jevů (Kupková, 2010).

Diplomová práce se zabývá změnami rozsahu vodní plochy a přilehlé vegetace v sezónním a meziročním období. Práce je rozdělena na dvě části. V první části práce je za pomoci literární rešerše popsána zájmová oblast a její charakteristiky, problematika vysychání jezera a metoda dálkového průzkumu a její prostředky. Ve druhé části se práce zaměřuje na popsání postupů zpracování dat a aplikací indexů. Dále jsou snímky zpracované za pomoci prahovací metody. V neposlední řadě jsou v práci uvedeny výsledky ve formě map a statistik.

## **2. Cíle práce**

Proces desertifikace vedoucí k degradaci rozsáhlých ploch zasahuje rozsáhlé semiaridní oblasti zemského povrchu. Jezera v těchto oblastech představují významné krajinné prvky snižující tepelnou denní a sezonní výkyvy teplot a sloužící například jako shromaždiště tažných ptáků. Gav khuni, terminální jezero řeky Zayandeh Rud ve středním Iránu bude analyzováno prostředky dálkového průzkumu Země. Toto občasné jezero je významnou iránskou lokalitou Ramsar. Cílem práce je stanovit sezónní a meziroční variabilitu rozsahu jezera a přilehlé vegetace.

## 3. Literární řešerše

### 3.1 Zayandeh Rud

#### 3.1.1 Charakteristika a základní údaje

Dostupnost vodních zdrojů měla zásadní význam pro historii civilizace. Tato důležitost je značná v horkých zónách, kde je závislost lidí na vodních zdrojích vyšší. Život v Isfahánu je zcela závislý na řece Zayandeh Rud (Samani et al., 2015)

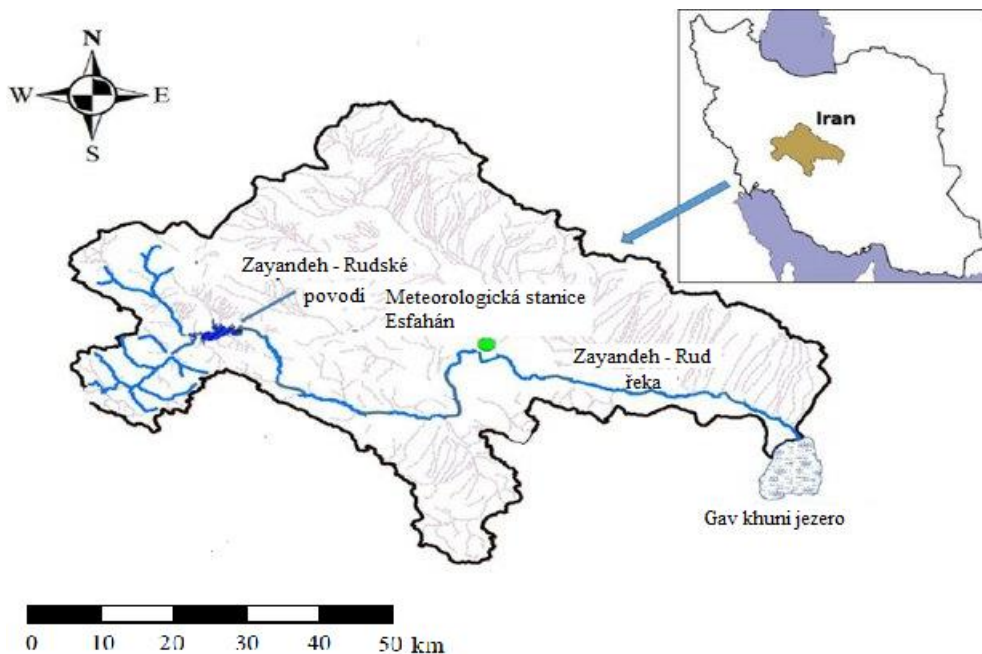
Zayandeh Rud je nejdůležitější řeka protékající centrální částí Íránu a v provincii Isfahán. Oblast kolem řeky je pro život nejpříznivější. Řeka pochází z hory Zarduh a zavlažuje mnoho zahrad a farem. Je považována za hlavní zdroj úrodnosti a zeleně v Isfahánu. Tato oblast se neustále potýká s nedostatkem vody (Harandi et al., 2014).

Zayandeh Rudské povodí se nachází v centrálním Íránu. Řeka je uzavřená a nemá žádný výtok do moře. Zayandeh Rud je dlouhá okolo 350 km a proudí západovýchodním směrem. Řeka pramení v horách Zagros, západně od města Isfahán a ústí východně od města v mokřadu Gav khuni (Eslamian et al., 2017). Zayandeh Rud je využívána provincií Isfahán bývalé hlavní město Íránu, které je jednou z nejdůležitějších ekonomických oblastí Íránu. Oblast povodí řeky Zayandeh Rud dosahuje velikosti 41 500 km<sup>2</sup> (Salem et al., 2000).

Řeka je významná pro rozvoj zemědělství, dodávky vody pro domácnosti a celkovou ekonomickou aktivitu provincie Isfahán (Murray-Rust et al. 2000). Čím dál tím větší koncentrace spotřebitelů vody ve střední a východní části pánve zapříčiňuje velký tlak na vodní zdroje. Prioritní využití vody je pro zavlažovací a odvodňovací sítě, které se nacházejí na dolním toku Zayandeh Rudské přehrady (Zareian et al., 2015).

Zemědělství spotřebuje okolo 73 % ze zásoby vodních zdrojů v regionu jakožto největší spotřebitel vody (Safavi et al., 2014). Oblast se v poslední době potýká s nedostatkem vody, který stále roste. To hlavně zapříčiňuje změna klimatu v této oblasti (Zareian et al., 2015).

Nedostatek vody vede k salinizaci půdy v dolních částech povodí Zayandeh Rud a snížení kvality vody. Pod Isfahánem jsou dolní toky řeky znečištěny rostoucím množstvím městských a průmyslových odpadních vod, které se vrací do řeky (Murray-Rust et al., 2000).



Obr 1: Mapa řeky a povodí Zayandeh Rud (Zareian et al., 2015) (upraveno autorem)

### 3.1.2 Klimatické poměry

Oblast kolem povodí je vyprahlá a polosuchá poušť. Tato část pánve má suché a polosuché klima. Dešťové srážky v Isfahánu dosahují v průměru pouze 130 mm za rok, přitom větší část dešťů se vyskytuje v měsících od prosince do dubna, tedy v zimním období a během léta je výskyt srážek minimální. Teploty v letním období dosahují v průměru 30 °C, ale v zimě se ochladí až na 3° C. Roční potenciální evapotranspirace je 1500 mm, tudíž je nemožné mít jakoukoli formu zemědělství bez zavlažování (Droogers et al., 2001).

Hlavním spotřebitelem vody je zemědělství, které spotřebovává více než 90 % dostupných vodních zdrojů v povodí. Vzhledem k nízkému výskytu srážek ve střední části pánve se zřídilo 6 zavlažovacích sítí podél řeky Zayandeh Rud: Abshar, Nekoubad, Borkhar, Rudasht, Mahyar a Lenjanat. Plocha zavlažovací sítě se pohybuje okolo 180 00 ha spolu se severozápadní sítí Karvan (pramen Morghab, přehrada Khamiran) (Felmeden, Kickler, 2014).

### **3.2 Hydrologická řešení nedostatku vody**

Přirozené procesy ekosystému jako je teplota a srážky mohou značně ovlivnit změny klimatického režimu (McCarthy et al., 2001). Povodí řeky Zayandeh Rud je příkladem kritického problému ve vodních zdrojích. Rostoucí poptávka po vodě byla řešena výstavbou tunelů a Chadeganské přehrady.

#### **3.2.1 Výstavba tunelů**

Po skončení druhé světové války poptávka po vodě značně vzrostla, a to mělo za následek výstavbu tunelu Kuhrang č. 1 Byl postaven v roce 1952 a o rok později byl zahájen provoz. Tunel vede západně od povodí Zayandeh Rud z řeky Kurang. Kapacita tunelu je skoro 40 % ročního průtoku řeky Zayandeh Rud. Kurangská řeka ústí do Perského zálivu a je vhodnou volbou pro přesměrování toků do suchých oblastí (Murray-Rust et al., 2002). Pro kontrolu povodní a zásobu zemědělské vody byla vystavěna přehrada Chadegan. V tomto období poptávka po zemědělské vodě stále rostla, a to zvláště při výstavbě zavlažovacích a odvodňovacích sítí (Morid, 2003).

Počátkem osmdesátých let došlo k vážnému nedostatku vody a byl vystavěn tunel Kuhrang č. 2, který uspokojil požadavky na domácí a průmyslové využití vody. Výstavba tunelu byla dokončena v roce 1985 a znovu vedl z řeky Kumurrayrang. Druhý tunel byl menší než předešlý (250 MCM, 1 MCM=0,5067 mm<sup>2</sup>) (Murray-Rust et al., 2002). Ke konci 20. století klesl přítok z obou tunelů a hladina Chadeganské nádrže výrazně klesla, a to vedlo k nadměrnému čerpání podzemních vod. Jako třetí infrastrukturní opatření pro přenos vody byl vystavěn tunel Cheshmeh-Langan.



Tyto tři tunely zdvojnásobily průtok řeky Zayandeh Rud. Navzdory přetrvávajícím problémům a uspokojení potřeb vody byly vystavěny další tři tunely, a to tunel Goukan, Kuhrang č.3. a Beheshtabad. (Gohari et al., 2013).



Obr. 2: Rozmístění tunelů v povodí Zayandeh Rud (Gohari et al., 2013)

### 3.2.2 Chadeganská přehrada

Chadeganská přehrada je hlavní zásobní nádrží v povodí a nachází se v horách Zagros a má kapacitu 1,5 km<sup>3</sup>. Postavená byla v roce 1970 a to v důsledku jarních záplav. Tato přehrada tak minimalizovala nebezpečí kolem řeky Zayandeh Rud. Chadeganská přehrada je víceúčelové protipovodňové zařízení (Murray-Rust et al., 2002). Přehrada se nachází 120 km před městem Esfahan (Sally, 2005).

Její přítok je tvořen přirozeným odtokem a přitékající vodou ze dvou Kuhrangských tunelů. Přehrada dodává vodu pro zavlažování 150 000 ha půdy podél údolí a městu Isfahán, které má 2 milióny obyvatel. To znamená, že srdce provincie je závislé na dodávané vodě z přehrady. Přehrada je zvláště důležitá ke zvládnutí období sucha (Molle et al., 2008).

Přítoky vedoucí do nádrže Chadegan splňují určité funkce, kterými jsou sběr a regulace toku napomáhající k zavlažování a k městskému a průmyslovému využití. Bohužel nádrž má omezenou kapacitu, která je nedostačující v dlouhodobém období sucha. Což způsobuje nižší uvolňování vody na konci zavlažovacího období během zimy. To má za následek nízký výpust řeky Zayandeh Rud a sníženou kvalitu vody, a to zvláště v dolním úseku řeky (Murray-Rust et al., 2000).

S touto kapacitou lze uskladnit vodu jenom z jednoho roku do druhého. Většinu vody zachytí na jaře a potom ji postupně uvolňuje v létě. Zadržení této vody v Chadeganské nádrži napomohlo k pěstování důležitých plodin jako je rýže a kukuřice (Murray-Rust et al., 2002).

### **3.3 Charakteristika zájmového území**

#### **3.3.1 Gav khuni**

Jezero Gav khuni se nachází jihovýchodním směrem od města Esfahán ve vzdálenosti 140 km. Jedná se o jeden ze vzácných mokřadů centrálního Íránu a patří k významným mezinárodním rezervacím. Jezero je velmi důležité pro migrující a tamní ptactvo. V celé oblasti má půda slaný charakter a permanentní slaná kůra pokrývá celou oblast kolem jezera. Slané jezero není permanentně vyplněné vodou a jeho slanost vody je vyšší než 120 g/l (Aalamifar et al., 2014)

Je významný pro životní prostředí a spadá pod Ramsarskou úmluvu z roku 1971. Hlavní zdroj vody pro udržení cenného ekosystému Gav khuni je řeka Zayandeh Rud (Eslamian et al., 2017). Řeka zajišťuje vodu pro více než 4,5 milionu lidí a více než 260 000 hektarů zemědělské půdy. Z řeky Zayandeh Rud je spousta vody využita v zemědělství, v průmyslu a pro domácnosti, což zapříčiňuje nedostatek vody pro přirozený slaný mokřad Gav khuni (Madani a Mariño, 2009).

Tato zvýšená spotřeba vody má za následek pokles hladiny podzemní vody. Kvůli tak velké spotřebě vody se do mokřadu Gav khuni dostává méně než polovina vody, která je potřebná pro udržení jeho ekosystému. Tento deficit vody má za příčinu desertifikaci ve východní části pánve (Salemi et al., 2000)



Obr. 3: Snímek z družice Landsat 8 jezera Gav khuni ze dne 31.12.2016 (Google Earth, 2018). Snímek zobrazuje vyschlé jezero, kde se v místě výskytu vodní plochy nachází bílé solné dno. Nad severní částí jezera leží hora a hned vedle je vidět směr toku řeky Zayandeh Rud. Kolem jezera se rozprostírá poušť.

### 3.3.2 Hydrologické vlastnosti

Jezero je konečným odtokem řeky Zayandeh Rud. Průměrná plocha mokřadu je asi 43 000 ha. Jeho plocha se bohužel každoročně mění v důsledku přítoku řeky. Normální hloubka se pohybuje kolem 0,3 a 0,6 m, ale může dosahovat až 1,5 m. Kvalita a množství vody závisí na tom, kolik vody bude puštěno z přehrady a kolik vody dorazí do mokřadu. Kvalita vody v řece a mokřadu je ovlivňována zpětnými toky. Na hloubce vody je závislá okolní příroda. Nejnižší možná hloubka pro udržení života v mokřadu je asi 15 cm. K jejímu udržení je zapotřebí přítok o velikosti 2,2 m<sup>3</sup>.

Pro optimální hloubku k udržení fauny a flóry je zapotřebí, aby jezero dosahovalo hloubky cca 30 cm a přítok vody do jezera byl 4,5 m<sup>3</sup> (Aerts, Droogers, 2004).

Další přítoky mají malý regionální význam a nemají dosah do hlavní části pánve. Vodní nádrž Chadegan reguluje vodní toky od dubna do června a tím podporuje účinnější zavlažování. V dubnu a v květnu je nadbytečný odtok vody zadržen a uvolňován postupně po zbytek roku (Droogers et al., 2001).

### 3.3.3 Flóra a fauna

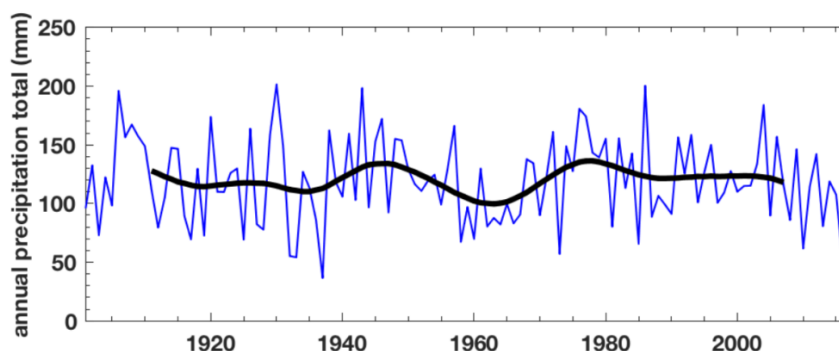
Irán je znám pro své velké plochy solných pouští a slaných bažin. Slané a alkalické půdy se stále rozšiřují a hlavní příčinou je nadměrné využívání půdy. V současné době již pokrývají 12.5 % (204 800 km<sup>2</sup>) z celkové plochy země. Mezi nejznámější typy rostlin, které se v Iránu nacházejí, patří halofytní rostliny. Navzdory obrovské rozloze slaných půd, jsou tyto rostliny ohroženy kvůli výstavbě přehrad, které vedly k vysychání mnoha řek a mokřadů (Barzani, Khairulmaini, 2013).

Ačkoliv se zde vyskytují rozsáhlé oblasti sítin *Juncus* sp., ostřic *Carex* sp. a skřípín *Scirpus* sp., tak vegetace kolem jezera je velmi řídká a omezená. Podél řeky Zayendeh Rud se vyskytují zbytky přirozené bažinaté vegetace a zde převládají druhy *Phragmites* rákosu a *Typha* orobince. Přilehlá půda je tvořená degradovanou stepí a zavlažovanou kultivací (rýže a pšenice).

Mokřad se nachází uprostřed letištní dráhy ptáků, mezi severem a jihem Iránu. Gav khuni je velmi důležitým zimovištěm pro různé druhy ptáků jako jsou: kopřivka obecná *Anas strepera* plameňák růžový *Phoenicopterus ruber*, husa velká *Anser anser*, husice rezavá *Tadorna ferruginea* a husice liščí *Tadorna tadorna*. Populace ptáků se zdržuje u severní části mokřadu, kde ústí řeka. Bohužel, kvůli jeho neustálému vysychání se populace ptáků snižuje (ramsar.org, 1997).

### 3.3.4 Srážkové a teplotní poměry

Větší část plochy Iránu se nachází v suché nebo polosuché oblasti trpící desertifikací. Desertifikaci způsobuje hlavně lidská činnost, která ovlivňuje půdu, vodu a vegetaci (přírodní zdroje). Mezi zásadní faktory, které způsobují desertifikační proces v Iránu patří sucho, vodní eroze, špatné hospodaření a změny využívání půdy (Barzani, Khairulmaini, 2013).



Obr. 4: Průměrné srážky v letech 1920–2000 (Harris et al., 2004)

Irán je typický svým subtropickým podnebím, tudíž je zde nízký výskyt srážek. Průměrné srážky v letech 1987–2018 se pohybují od 5,15 -15,32 [mm/rok]. Nejvíce srážek spadne během zimních měsíců mezi listopadem až březnem. Většinu srážek zachytávají vysoká pohoří.

Naopak nejnižší výskyt srážek je od května do září, kdy téměř nezaprší. Oblasti slaných jezer ve vnitrozemí bývají nejsušší kromě pouštních oblastí, kde dochází ojediněle k tvorbě mlhy během noci. V severozápadním Iránu v horských oblastech během zimy bohatě sněží (Nazemosadat et al., 2006).

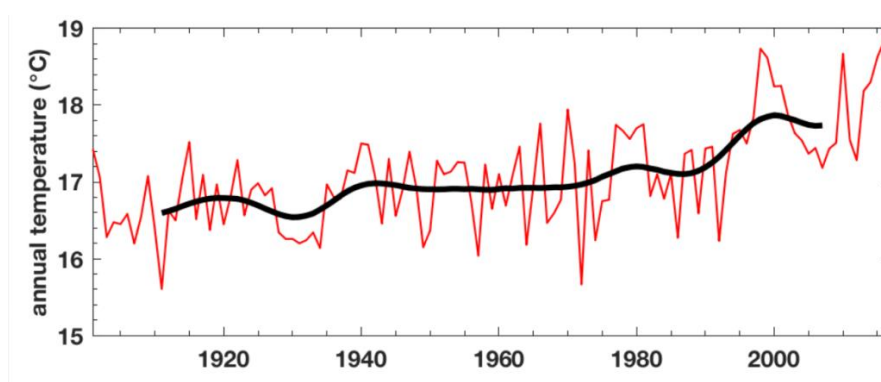
rok	Ø srážky [mm]	rok	Ø srážky [mm]
1987	7,4	2003	11,14
1988	8,88	2004	15,32
1989	8,25	2005	5,71
1990	7,60	2006	13,06
1991	13,03	2007	9,68
1992	11,14	2008	7,17
1993	13,17	2009	12,18
1994	8,43	2010	5,15
1995	13,65	2011	9,53
1996	12,48	2012	11,83
1997	8,39	2013	6,48
1998	9,12	2014	9,89
1999	10,63	2015	8,98
2000	9,18	2016	9,75
2001	9,58	2017	9,25
2002	9,60		

Obr. 5: Průměrné srážky od roku 1987–2017 (Harris et al., 2004)

Klima je tropického charakteru, tedy velmi suché a horké. Pro tento typ podnebí jsou charakteristická dlouhá, horká a suchá léta a krátké, chladné zimy. Průměrná teplota v lednu se pohybuje kolem 5–10 °C.

Leden patří mezi nejchladnější měsíce.

Naopak v letních měsících je nejteplejším měsícem srpen a jeho průměrná teplota se pohybuje od 20–30 °C. Roční průměrná teplota se pohybuje v hodnotách od 16,23 - 18,83 °C (weathersonline.cz, 2019).



Obr. 6: Průměrné teploty v letech 1920–2000 (Harris et al., 2004)

rok	Ø teplota °C	rok	Ø teplota °C
1987	17,37	2003	17,63
1988	17,42	2004	17,54
1989	16,59	2005	17,37
1990	17,43	2006	17,44
1991	17,43	2007	17,18
1992	16,23	2008	17,43
1993	17,12	2009	17,51
1994	17,63	2010	18,67
1995	17,68	2011	18,63
1996	17,50	2012	17,32
1997	17,84	2013	17,78
1998	18,73	2014	18,30
1999	18,62	2015	18,63
2000	18,24	2016	18,83
2001	18,25	2017	18,46
2002	17,88		

Obr. 7: Průměrné teploty v letech 1987–2017 (Harris et al., 2004)

### **3.4 Dálkový průzkum Země**

Dálkový průzkum Země je metoda, která získává informace o zemském povrchu a vodních plochách za pomoci snímků získaných z horní perspektivy. K pořízení snímků se využívá elektromagnetické záření v jednom nebo více intervalových spektrech, odraženého nebo emitovaného ze zemského povrchu (Campbell, 1996).

DPZ pořizuje letecké a družicové snímky. Zpracováním a analýzou snímků vytváří topografické či tematické mapy. Tyto mapy jsou využívány v mnoha oborech, například v oblasti ochrany přírody a životního prostředí, v územním plánování, při studiu vegetace v lesnictví a zemědělství, při monitoringu přírodních katastrof (požáry, povodně) a atmosférických jevů (hurikánů atd.). DPZ hlavně zkoumá zemský povrch, ale je využíván i ke snímání a měření charakteristik horní vrstvy sedimentů a spodní vrstvy atmosféry. Díky využití DPZ lze získat dva druhy informací a to geometrické (informace o poloze, tvaru, velikosti objektů atd.) a tematické informace (druh vegetace aj.) (Kupková, 2010)

#### **3.4.1 Proces dálkového snímání**

Dálkové snímání je technologie, kterou lze získat informace o místu na dálku. Skládá se ze 3 hlavních částí. 1. část je objekt, nebo jev v zájmové oblasti, 2. část – získávání dat přes určité nástroje a 3. část je analýza dat. Cíl může dosahovat velikosti jako Země nebo naopak velikosti biologické buňky, které lze zahlednout pouze pod mikroskopem (Sarala, Jacob, 2014).

V DPZ se měří energie vyzařovaná z povrchu země, a to za pomoci senzoru, který je namontovaný na plošinách letadel, satelitů, balónů, raket nebo raketoplánů aj. (Richards, 1999). Umístěné senzory sbírají data, a to buď uvnitř nebo z venku. Pod senzory spadají zařízení jako letecké fotografické kamery a nefotografické nástroje jako radiometr, elektrooptický skener, radarový systém atd. (Sarala, Jacob, 2014).

Díky tomuto měření lze vytvořit obraz krajiny pod plošinou (Richards, 1999). Celý proces spočívá v tom, že energie projde atmosférou, která svým způsobem působí na záření.

Když energie dopadne na zemský povrch dojde k vzájemné interakci, a to v souvislosti na typu povrchu a jeho vlastnostech a i záření. Objekty buď záření emitují nebo odrazí zpět k senzoru, který se nachází na palubě letadla nebo družice. Zde se záření zaznamená a převede buď do analogové nebo digitální formy (Kupková, 2010).

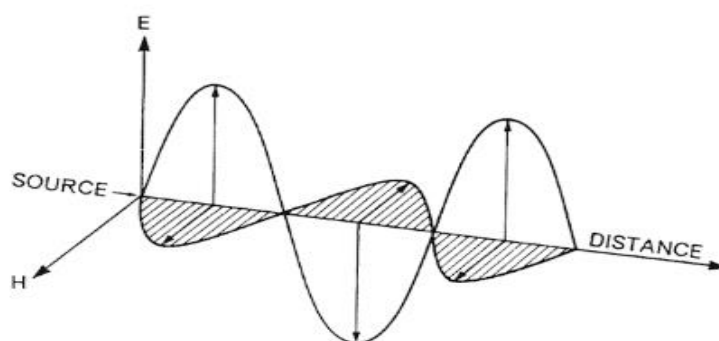
### 3.4.2 Elektromagnetické spektrum

Všechny objekty vyzařují elektromagnetické záření až na výjimku objektů s absolutní nulou. Objekty mají také schopnost odrážet záření, které je vyzařováno jinými objekty. Analytici dálkového průzkumu získávají informace o vegetaci, různých strukturách půdy, horninách, vodních plochách a dalších. A to díky studiu odráženého nebo vyzařovaného záření (Campbell, Wynne, 2011).

Energie záření může prostupovat prostorem tzv. elektromagnetickou vlnou. Sinusoidy elektrické a magnetické vlny tvoří elektromagnetickou vlnu a svírají úhel o velikosti 90°, šíří se rychlostí světla a v tomto směru šíření jsou rovnoběžné.

Vlnová délka ( $\lambda$ = vzdálenost dvou nejbližších bodů vlnění) a frekvence ( $\nu$ = počet vln za jednotku času) jsou základní charakteristiky elektromagnetického záření a platí mezi nimi vztah:

$$c = \lambda * \nu$$

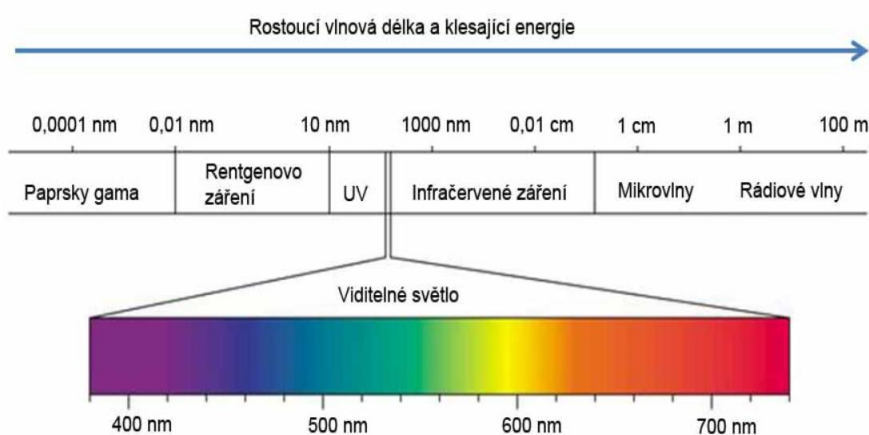


Obr. 8: Elektromagnetická vlna zdroj: (Campbell, Wynne, 2011)



V přírodě se elektromagnetické záření nachází ve spojitém spektru (Dobrovolný, 1998). Rozsah spektra se dělí do několika základních oblastí.

Rozpětí vlnových délek spektra je od krátkého gama záření až po dlouhé rádiové vlny. DPZ využívá ultrafialové záření, viditelné světlo, infračervené záření blízké a střední, termální záření a mikrovlnné záření. DPZ může tedy zachytit záření, které už lidské oko nevidí a využít je k analýzám, které přinášejí nové informace (Kupková, 2010).



Obr. 9: Oblasti elektromagnetického spektra zdroj: (labguide.cz, 2019)

### 3.4.3 Snímkování

DPZ ze začátku využíval klasické snímky později začal využívat infračervené, termální a radarové snímky. Důležitou součástí DPZ jsou fotografické záznamy. Na černobílých fotografiích jsou objekty zobrazeny v různých odstínech černé a bílé barvy. Tyto snímky lze dělit na ortochromatické, panchromatické, infračervené a multispektrální, a to dle pásma, ve kterém jsou zachytávány.

Mezi přístroje, které jsou využívány v oblasti kosmického DPZ spadají klasické fotokomory, televizní kamery a radiometry. Snímek je v dnešní době nejčastěji pořizován přístrojem zvaným radiometr, který se dělí na aktivní a pasivní, pokud radiometr měří intenzitu odraženého, nebo emitovaného elektromagnetického záření.

Pasivní radiometr převede záření na elektromagnetický signál a zaznamená jej jako digitální data. Mezi pasivní radiometry řadíme elektronické skenery, skenující mikrovlnné radiometry aj. Aktivní radiometr má svůj vlastní zdroj záření a patří sem lidar a radar (Guth, Kučera, 1997).

#### **3.4.4 Družicové a letecké snímky**

DPZ se využívají letecké a družicové snímky (Guth, Kučera, 1997). Rozdíly v použití jsou dány spektrálními charakteristikami a rozlišovacími schopnostmi. Automatické družice snímají povrch Země elektronickými skenery. Skener snímá Zemi po diskrétních ploškách – pixelech.

Velikost pixelů je dána rozlišovací schopností zařízení např. snímek z Landsatu TM má rozlišení 30 x 30 m a snímá plochu o velikosti 90 x 90 km. Panchromatický snímek z francouzské družice SPOT má rozlišení 10 x 10 m (Faiman, 1995).

V DPZ se nejvíce používají letecké snímky pořízené velkoformátovými měřicími kamerami, které mají rozlišení 24 x 24 cm. Tento způsob snímání je vhodný pro sledování dlouhých časových úseků. Rozlišení jednotlivých snímků se liší, a to na základě výšky, ze které bylo snímání provedeno. Družicové snímky jsou vhodnější pro přehledové mapy větších měřítek a letecké snímky jsou využívány pro detailnější studie, jelikož mají vyšší rozlišení. (Guth, Kučera, 1997).

##### **3.4.4.1 Landsat 4-5**

Program Landsat řídí americké výzkumné vládní agentury NASA a USGS. První družice Landsat 1 pořizovala data již od roku 1972. Tento program dopomohl k rozvinutí dálkového průzkumu země. Díky těmto poskytovaným datům lze studovat a zkoumat mnoho aspektů naší Země.

Družice Landsat 4 byla vypuštěna 16.července 1982 a fungovala až do roku 1985. Družice už nenesla RBV instrument, tím se lišila od předešlých družic. Chvíli byla provozována společně s družicí Landsat 5, která byla vypuštěna 1.března 1984 a pořád je funkční. Landsat 5 dodal vysoce kvalitní, globální data o zemském povrchu po dobu 28 let a 10 měsíců.

Družice Landsat 5 získala titul "Nejdéle fungující pozorovací družice země" v Guinnessových rekordech. Družice Landsat 4 a 5 ve společném fungování zajišťovaly snímky stejného místa jednou za 8 dní (nasa.gov, 2018)

Obě družice nesou skener TM, který je opatřen sedmi kanály. První čtyři kanály jsou ve viditelném světle a zbylé tři v infračerveném oboru.

Tento druh skeneru se stal nejpoužívanější, a to kvůli jeho zlepšenému prostorovému a spektrálnímu rozlišení. Což znamená, že satelity mohly vidět širší část elektromagnetického spektra a tím pádem mohly vidět zemský povrch podrobněji. Další skener, který nesou obě družice je multispektrální skener MSS. Tento senzor snímá ve 4kanálech (gisat.cz, 2001).

Thematic Mapper (TM)	Landsat 4-5	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1	0.45-0.52	30
	Band 2	0.52-0.60	30
	Band 3	0.63-0.69	30
	Band 4	0.76-0.90	30
	Band 5	1.55-1.75	30
	Band 6	10.40-12.50	120* (30)
	Band 7	2.08-2.35	30

Obr. 10: Rozlišení pásem Landsatu 4 a 5 (usgs.gov, 2016)

#### 3.4.4.2 Landsat 8

Posledním spuštěným satelitem je Landsat 8. Tato mise byla úspěšně zahájena 11. února 2013. Osmý satelit v sérii Landsat satelitů pokračuje ve shromažďování dat. Družice poskytuje multispektrální data s vysokým rozlišením zemského povrchu. Data z Landsatu 8 představují nejdelsí záznam kontinentálních povrchů Země z vesmíru (nasa.gov,2018)



Obr. 11: Landsat 8 (satimagingcorp.com, 2017)

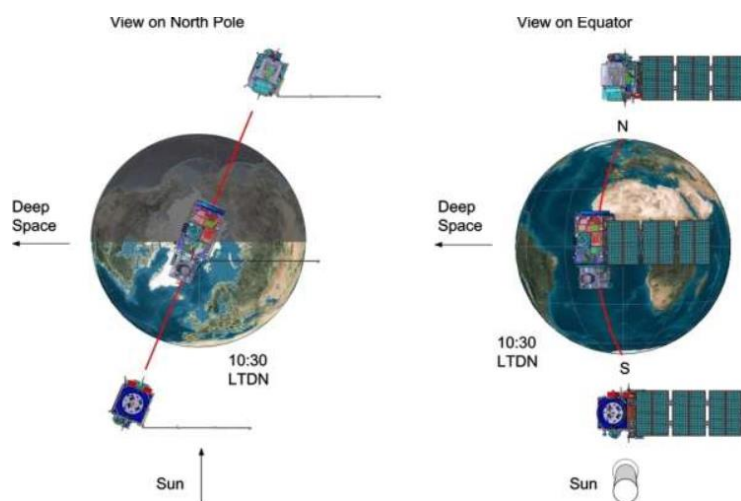
Satelit má dva hlavní senzory -> OLI – Operational Land Imager, TIRS – Thermal Infrared Sensor. OLI sbírá snímky za pomoci devíti spektrálních pásem v různých vlnových délkách viditelného, blízkého infračerveného světla a krátkovlnného světla. Snímá v šířce 185 kilometrů a rozlišení 15–30 metrů. Senzor poskytuje takové rozlišení, aby se daly rozlišit jednotlivé prvky krajinného pokryvu. TIRS byl přidán, kvůli měření tepelné energie Země. Tím se umožní monitorování využívání pozemků a vody. Má dva kanály TIR 1 a TIR 2, které snímají v prostorovém rozlišení 100 m (nasa.gov,2018).

Band	Wavelength	Useful for mapping
Band 1 – coastal aerosol	0.43-0.45	coastal and aerosol studies
Band 2 – blue	0.45-0.51	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation
Band 3 - green	0.53-0.59	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
Band 4 - red	0.64-0.67	Discriminates vegetation slopes
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	Emphasizes biomass content and shorelines
Band 6 - Short-wave Infrared (SWIR) 1	1.57-1.65	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
Band 7 - Short-wave Infrared (SWIR) 2	2.11-2.29	Improved moisture content of soil and vegetation and thin cloud penetration
Band 8 - Panchromatic	50-68	15 meter resolution, sharper image definition
Band 9 – Cirrus	1.36 -1.38	Improved detection of cirrus cloud contamination
Band 10 – TIRS 1	10.60 – 11.19	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture
Band 11 – TIRS 2	11.5-12.51	100 meter resolution, Improved thermal mapping and estimated soil moisture

Obr. 12: Rozlišení pásem Landsatu 8 (usgs.gov,2016)

### 3.4.4.3 Sentinel 2 MSI

Sentinel 2 je mise složená ze dvou družic od evropského programu Copernicus. Družice jsou schopné poskytovat snímky s vysokým prostorovým rozlišením a velkou šířkou záběru. Zvládnou snímat území až o velikosti 15 000 km. Obě družice létají na stejné oběžné dráze a snímají to samé místo jednou za 5 dní. Samotná družice snímá shodné místo jednou za 10 dní. Zemský povrch snímají od 56° jižní po 84 ° severní šířky. Družice Sentinel 2A odstartovala 23.června roku 2015 a její sesterská družice Sentinel 2B odstartovala o necelé dva roky později a to 7. března 2017.



Obr. 13: Postavení družic Sentinel 2A, 2B na oběžné dráze (satimagingcorp.com,2017)

Družice jsou vybaveny MSI senzorem, který snímá Zemi ve 13 pásmech. Pásma jsou v rozlišení od 443–2190 nm. Díky tomuto senzoru jsou družice určeny především ke snímání vegetace, vody, sledování stavu vegetace – monitorování krajinného pokryvu. Data ze Sentinelu 2 lze dále využít i v dokumentaci stavu území, geomarketingu, monitorování sucha či požárů a dalších oborech. Sentinel 2 se hodně podobá misím SPOT a LANDSAT, ale oproti nim má výrazně lepší rozlišení a mnohem větší šířku záběru (collgs.czechspaceportal.cz, 2017)

Sentinel-2 Bands	Central Wavelength (µm)	Resolution (m)
Band 1 - Coastal aerosol	0.443	60
Band 2 - Blue	0.490	10
Band 3 - Green	0.560	10
Band 4 - Red	0.665	10
Band 5 - Vegetation Red Edge	0.705	20
Band 6 - Vegetation Red Edge	0.740	20
Band 7 - Vegetation Red Edge	0.783	20
Band 8 - NIR	0.842	10
Band 8A - Vegetation Red Edge	0.865	20
Band 9 - Water vapour	0.945	60
Band 10 - SWIR - Cirrus	1.375	60
Band 11 - SWIR	1.610	20
Band 12 - SWIR	2.190	20

Obr. 14: Rozlišení pásem Sentinelu 2 (satimagingcorp.com,2017)

### 3.5 Spektrální indexy

#### 3.5.1 NDVI index

Normalizovaný diferenční vegetační index charakterizuje vegetační pokryv a je to jeden z nejdůležitějších ukazatelů a jedním z nejrozšířenějších spektrálních indexů v DPZ. NDVI měří absorbované fotosynteticky aktivní záření. Vznikl v roce 1973, aby se využíval v mapování vegetace v USA (Hervey et al., 2015). Tento index bývá často využíván, a to kvůli jeho dostupnosti, jednoduchosti a prokázané užitečnosti v různých ekosystémech.

Výpočtem NDVI lze zjistit několik vegetačních vlastností, kterými jsou např.: koncentrace chlorofylu v listech, produktivita rostlin, výpočet indexu listové plochy (Garrouette et al., 2016).

NDVI se vypočítává jako poměr viditelných pásem (VIS) k blízkému červeným pásem (NIR) spektrálních vln.

Rovnice výpočtu NDVI:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$$

kde:

NIR je blízká infračervená část spektra

a R je červená část spektra (Vaiphasa et al., 2011).

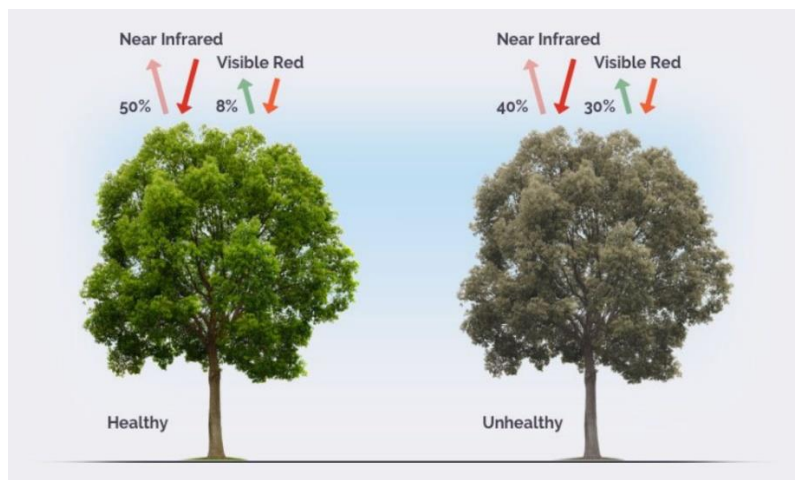
Znázornění rovnice NDVI za použití pásem Landsat 4.

$$\text{NDVI} = (\text{TM4} - \text{TM3}) / (\text{TM4} + \text{TM3})$$

Kde pásmo TM4 je blízká infračervená část

A TM3 červená část elektromagnetického spektra (Sobrino et al., 2004).

Zdravá vegetace obsahuje velké množství chlorofylu a ten způsobuje menší odrazivost ve viditelných pásmech a vyšší odrazivost v blízké červených pásmech. To lze vidět na níže uvedeném obrázku. Zdravá vegetace emituje větší část blízkého infračerveného světla (NIR), naopak nezdravá vegetace (vlevo) emituje větší část viditelného světla a menší část blízkého infračerveného světla.



Obr. 15: Odrazivost vegetace (eos.com, 2019)

NDVI je jednotkový index a jeho hodnoty se nacházejí v rozmezí mezi -1 až 1. V praxi platí, že zdravá vegetace se vyznačuje pozitivními hodnotami, ale naopak platí, že voda, sníh, mraky mají negativní hodnoty. Nula představuje holou půdu (Turvey, Mclaurin, 2012).

### 3.5.2 NDWI index

NDWI index je navržen pro dálkové snímání vegetační kapalné vody z vesmíru. V roce 1996 společnost McFeeters poprvé navrhla index vodního normalizovaného rozdílu. Index byl vyvinut za účelem zjišťování povrchových vod a měření jejich rozsahu v mokřadech. Tento index byl záměrně vytvořen jenom pro použití snímku Landsat MSS, ale dá se i využít u ostatních sensorových systémů. NDWI se vypočítá ze vztahu:

$$\text{NDWI} = (\text{Green} - \text{NIR}) / (\text{Green} + \text{NIR})$$

kde:

(Band) pásmo 2 je odrazivost zeleného světla a pásmo 4 je odrazivost blízkého infračerveného světla (NIR) (McFeeters, 2013).

Lze ho také definovat jako:

$$\text{NDWI} = [\rho(0,86 \mu\text{m}) - \rho(1,24 \mu\text{m})] / [\rho(0,86 \mu\text{m}) + \rho(1,24 \mu\text{m})]$$

$$\text{NDWI} = \text{NIR} - \text{SWIR} / \text{NIR} + \text{SWIR}$$

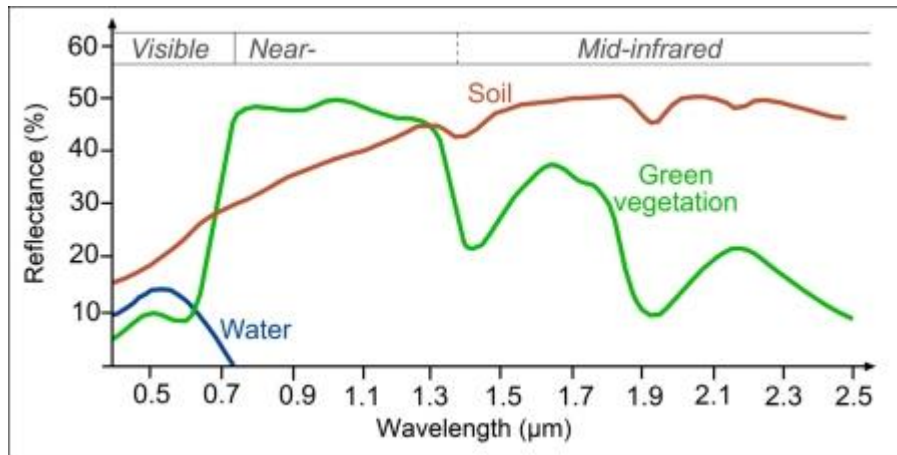
kde:

$\rho(\lambda)$  je odrazivost a  $\lambda$  je vlnová délka (Gao, 1996).

Index funguje tak, že za prvé: maximalizuje odraz vody za pomoci zelených vlnových délek, za druhé: minimalizuje nízkou odrazivost blízkého infračerveného záření vodními prvky a za třetí: využije vysokou odrazivost NIR půdními rysy a vegetací. Výsledkem jsou kladné hodnoty větší než nula, které představují vodní plochy a hodnoty nulové nebo záporné představují vegetaci nebo půdu (Xu, 2006).

Atmosférické účinky méně ovlivňují NDWI, než ovlivňují index NDVI, ale úplně neodstraní účinky odrazivosti půd na pozadí, jako je tomu u NDVI. NDWI index určitě není náhradou za NDVI, ale pouze jejím doplňkem (Gao, 1996).





Obr. 16: Znárodnění odrazivosti vody, půdy a vegetace v různých vlnových délkách a kanálech Landsat TM (chegg.com, 2019)

## **4. Metodika**

### **4.1 Zpracování družicových snímků Landsat 4-5,8 a Sentinel 2 pro výpočet NDWI**

#### **4.1.1 Vstupní data**

Nejdříve je nutné si Landsat a Sentinel snímky stáhnout z dostupných internetových stránek. Landsat snímky byly staženy ze stránky: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Snímky jsou zadarmo a po vytvoření účtu je lze stahovat. The USGS Earth Explorer využívá Google maps, kde lze požadovanou oblast nalézt. Poté se pomocí bodů vybere zájmové území a nastaví datum snímků. Dále se zvolí datová sada a kritéria. Po kliknutí na Results je umožněno stažení snímků.

Snímky Sentinelu 2 MSI byly staženy z dostupné internetové stránky: <https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. Snímky poskytuje evropský program Copernicus a uživatelé si je mohou zdarma stáhnout. Nejprve je zapotřebí vybrat oblast a zadat požadované parametry. Poté lze snímky stáhnout. Dále byly snímky zpracované v programu SNAP 6.0 od firmy ESA, který je také bezplatný. Celkově pro výpočet NDWI indexu bylo zpracováno 503 snímků. Za pomoci nástrojů, které jsou dále popsány byl vytvořen graf. Ten se poté aplikoval na všechny snímky v dávkovém zpracování.

#### **4.1.2 Převzorkování a ořez snímků**

Jako první krok při práci se snímky Sentinelu 2 je nezbytné je převzorkovat na stejné rozlišení. Jelikož program SNAP neumožňuje výpočet mezi spektrálními pásy (bandy) s rozdílným rozlišením. Převzorkování proběhlo za pomoci nástroje Resampled.

Velikost nového vzniklého snímku byla nastavena podle pásma B2 10 m. Převzorkovaný snímek se uloží v novém formátu geotiff. Pásma snímků Landsat 4 a 5 mají stejné rozlišení, a tak není zapotřebí jejich převzorkování. Naopak je tomu u snímků Landsat 8. Zde je potřeba snímky také převzorkovat.

Opět dojde k použití nástroje Resampled a snímky budou převzorkovány podle pásma NIR. Nově vzniklé snímky jsou uloženy ve formátu geotiff a budou mít rozlišení 30 m. Následuje ořezání všech snímků za pomoci již zmíněného nástroje Subset. Zadáním geografických souřadnic vymezení část snímku, která zůstane ponechána pro výpočet NDWI.

#### **4.1.3 Výpočet indexu NDWI**

Dalším krokem je výpočet indexu NDWI. Opět dojde k využití nástroje Band Maths, kde se zadají pásma pro výpočet. Vybere se snímek, kde bude výpočet probíhat a nastaví se název. Do vzorce se zadá rovnice pro Landsat 4-5:  $(B4-B5) / (B4 + B5)$ , kde B4 je NIR pásmo a B5 SWIR pásmo. Rovnice pro Landsat 8 je jiná dle pásem:  $(B5 - B6) / (B5+B6)$ . Kde B5 je NIR pásmo a B6 SWIR pásmo.

#### **4.1.4 Prahování snímků**

Prahováním snímků vznikla binární mapa, která měla znázorňovat pouze vodní plochu. Na základě zjištění prahové hodnoty vody, se vytvořila rovnice, která se vložila do vzorce nástroje Band Maths. Vytvořil se graf, který se následně aplikoval v dávkovém zpracování na všechny snímky.

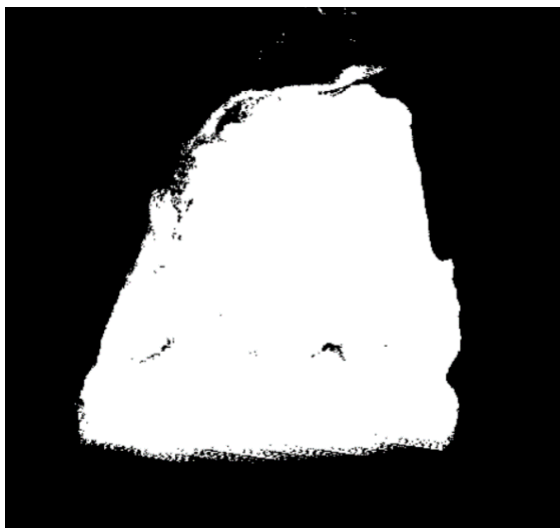
### **4.2 Prahovací metoda a výpočet vodní plochy**

Výpočet a vymezení vodní plochy probíhal na snímcích Sentinel 2 od roku 2015 až 2018 a na snímcích Landsat 4-5 a 8 a to v letech 1987 až 2018. Celkově bylo zpracováno 503 snímků. Snímky byly zpracovány v programech Snap 6.0 a ArcGis 10.06 od společnosti Esri.

#### **4.2.1 Binární obraz**

Pro rychlejší a snadnější výpočet se provedlo ořezání snímků funkcí Subset. Poté byla na snímky aplikována metoda prahování snímků. Tato metoda se používá pro rozlišení různých povrchů. Binární mapa byla vytvořena za pomoci stanovení prahové hodnoty vody z pásma NIR.

Prahová hodnota byla určena na základě informací zjištěných z nástrojů Statistics a pixel info. Rovnice byla zadána do vzorce nástroje Band Maths, kde už zbývalo nastavit název, formát a místo uložení snímku.



Obr. 17: Výsledný bitový obraz vodní plochy jezera Gav khuni ze snímku Landsat pořízeného dne 15. 12. 1987

## **4.2.2 Výpočet vodní plochy**

### **4.2.2.1 Model builder**

Vodní plocha byla vypočítána za pomoci programu ArcGIS 10.06. Kvůli velkému množství dat, je zapotřebí v gisu vytvořit model builder, který se poté zpusť na všechny snímky najednou. Model zajistí rychlejší zpracování snímků a předejde se tím manuálnímu klikání. Aplikace je standardní součástí gisu, tudíž není potřeba žádné instalace. Prvním krokem je nutné založit nový toolboxu v ArcCatalogu, který bude obsahovat nově vzniklý model builder. Jakmile je vytvořen model builder lze ho editovat a přidávat jednotlivé nástroje na zpracování dat. Jako první musí být zadána složka se vstupními daty. Poté byl přidán nástroj Iterate Rasters, který projde a zadá do procesu všechny rastry v pracovní oblasti.

### **4.2.2.2 Použití nástrojů Parsepath a Reklasifikace dat**

Pro další účely je nutné zanechat jméno neboli datum pořízení snímku. Proto byl přidán do modelu nástroj Parsepath. Nástroj Parsepath zajistí, aby do dalších nástrojích vstupoval snímek, který bude obsahovat název s datem pořízení.

Po vložení nástroje už zbývá nastavit vstupní data a parse typ. V tomto případě byl zvolen typ NAME – název. Poté se musí v další nástrojích do výstupu zadat %VALUE%, aby se předešlo ztrátě názvu dat.

Dalším krokem je reklasifikace dat. Reklasifikace rastrové mapy je proces, během kterého je vytvořena nová rastrová mapa na základě mapy staré. Zbylo již jen nastavit nové hodnoty 1–1 a 0–0.



Obr. 18: Vzniklý rastr po reklasifikaci

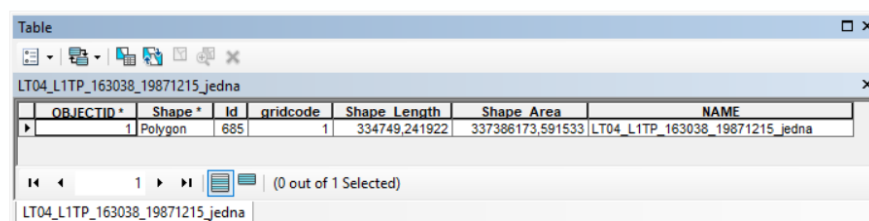
### **Extract by attributes, Raster to Polygon a Project**

Nástroj extract by attributes extrahuje buňky rastru na základě logického SQL dotazu. Cílem je výpočet vodní plochy. Voda je v rastru zastoupena hodnotou 1, proto SQL dotaz bude znít: "VALUE" =1. Dále je nutné vzniklý rastr převést na vektorovou vrstvu, aby mohlo dojít k výpočtu plochy vody. Raster se pomocí nástroje Raster to Polygon převede na polygonou vrstvu.

Posledním krokem ve výpočtu plochy je převedení souřadnicového systému vzniklé vrstvy z WGS 84 na UTM. UTM systém souřadnic určuje polohy míst založené na mřížkách. Jedná se o soustavu 60 poledníkových zón zobrazených Mercatorovým zobrazením. Převedení souřadnicového systému se provádí z důvodu výpočtu, jelikož takhle by byla plocha počítána ve stupních, a ne v m<sup>2</sup>.

Něž dojde na převedení na souřadnicový systém, je nezbytné vyhledat požadovanou zónu, do které spadá zájmová oblast. Esfahán spadá do zóny 39. Poté se do modelu přidá nástroj, který provede převod souřadnicového systému a tím je Project.

Poté už jen zbývá nastavit typ souřadnicového systému, který je WGS\_1984\_UTM\_Zone\_39 N a místo uložení výsledné vrstvy. Výsledná vrstva bude uložena do nově vytvořené geodatabáze. V geodatabázi se automaticky přidá sloupec s vypočtenou plochou, a to je výsledek.



OBJECTID*	Shape*	Id	gridcode	Shape Length	Shape Area	NAME
1	Polygon	685	1	334749,241922	337386173,591533	LT04_L1TP_163038_19871215_jedna



Obr. 19: Výsledná vrstva vodní plochy z 15. 12. 1987

### 4.3 Zpracování družicových snímků Sentinel 2 MSI pro výpočet spektrálního indexu NDVI

Zpracováno bylo 55 snímků. Kvůli většímu počtu dat je nejlepší možností si vytvořit graf, který se po vytvoření uloží ve formátu xml. Graf se poté spustí na zbylé snímky v nástroji dávkového zpracování. Lze tak předejít manuálnímu klikání. Do grafu byly přidány níže uvedené nástroje.

### 4.3.1 Atmosférické korekce

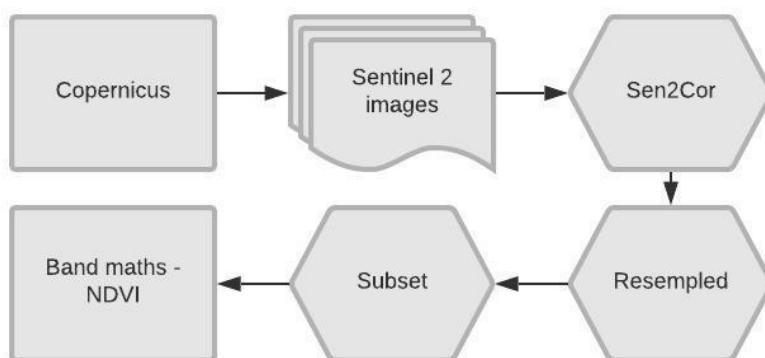
Déle je nutné aplikovat atmosférickou korekci na snímky v úrovni L1C. Sen2Cor je nadstavba snapu a je potřeba ji doinstalovat. Korekce byly použity na pásma v rozlišení 20 m, která jsou potřebná pro výpočet vegetačního indexu.

Po zadání vstupních dat, bylo už jenom nutné nastavit prostorové rozlišení. Výsledný snímek se uloží do složky vstupního, a to v úrovni L2A.

### 4.3.2 Převzorkování a ořezání snímků

Jedním z důležitých kroků při výpočtu vegetačních indexů je nástroje Resampled neboli převzorkování. Jak již bylo řečeno program SNAP neumožňuje výpočet mezi spektrálními pásy s rozdílným rozlišením.

Velikost nového vzniklého snímku byla nastavena opět 10 m, podle pásma B2. Převzorkovaný snímek se uloží v novém formátu geotiff. Poté se nový snímek ořízнул, a to z důvodu rychlejších výpočtů, jelikož ořezem se zajistí zmenšení velikosti snímku. Ořez snímků se provede za pomoci nástroje Subset. Tento postup předzpracování snímků byl proveden na všech 55 snímcích.

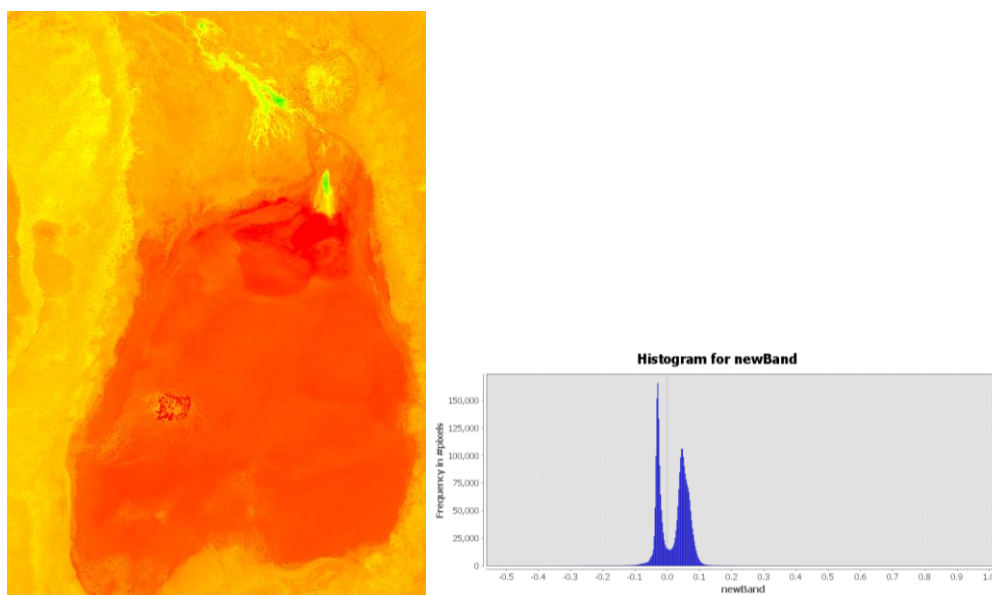


Obr. 20: Postup zpracování snímku pro výpočet NDVI

### 4.3.3 Výpočet indexu NDVI

Poté co se aplikovali atmosférické korekce a provedlo se převzorkování a ořezání snímků mohl následovat výpočet indexu NDVI. Index je spočítán v nástroji Band Maths, který provádí matematické výpočty a operace s rastry.

Do vzorce byla zadána rovnice:  $(B8A-B4) / (B8A+B4)$ , kde pásmo (band) 8A představuje NIR záření s prostorovým rozlišením 20 m a pásmo 4 Red záření. V neposlední řadě se zvolí formát výsledného snímku – geotiff.



Obr. 21: Výsledný rastr NDVI a histogram

### 4.3.4 Prahování snímků

Za pomoci nástroje pixel info, byla získaná prahová hodnota pro vegetaci. Následovně se vytvořil nový graf, do kterého byl přidán nástroj Band Maths. Do vzorce byla zadána rovnice s obsahující prahovou hodnotou vegetace, pak už jen zbylo nastavit formát a místo uložení. Tento graf se poté spustil na všechny snímky v dávkovém zpracování.

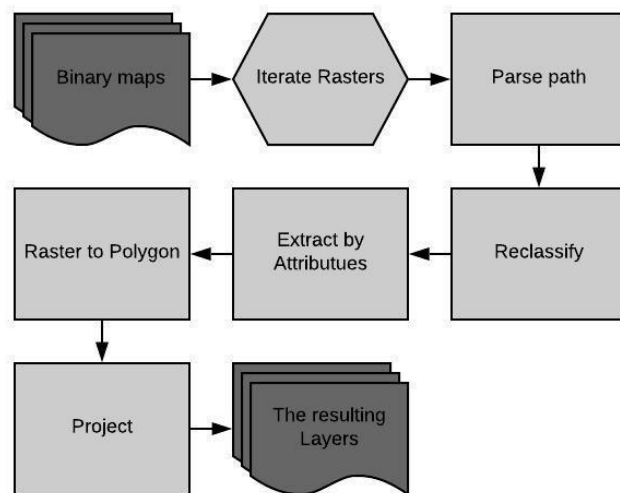




Obr. 22: Binární obraz vegetace, která je zvýrazněna bílou barvou.

#### 4.3.5 Výpočet plochy vegetace

Plocha vegetace byla vypočítána model builderem v gisu, který již byl sestaven pro výpočet plochy vody. V modelu se pouze přenastavila složka vstupních dat a byla vytvořena nová geodatabáze, kam se uložily nově vzniklé polygonové vrstvy. Model byl spuštěn na všechny snímky.



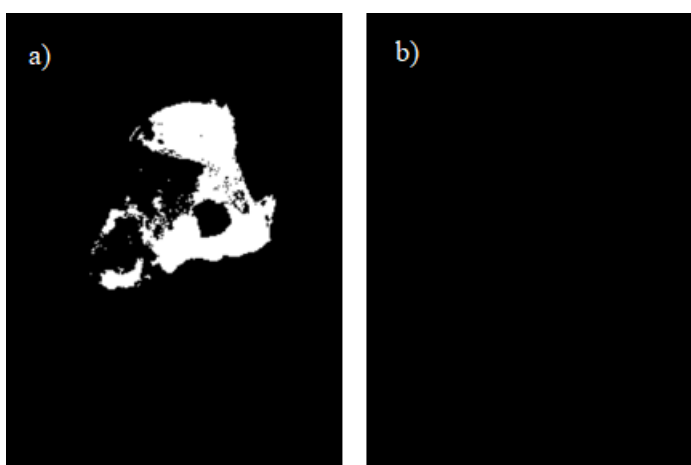
Obr. 23: Diagram pro výpočet plochy vegetace v prostředí model builder

## 5. Výsledky

Podle metodiky popsané v kapitole 4. byly pro analýzy použity snímky z Landsatu 4-5, 8 a snímky Sentinelu 2. Časové období bylo vybráno od roku 1987 až do roku 2018, na základě výskytu vody v jezeře. V práci nebyly použity snímky z družice Landsat 7, v důsledku poškozenosti snímků. Snímky se nedaly pro výpočet použít, protože z celkové scény snímků 185 x 175 km je použitelný pouze pás uprostřed, ve kterém se zájmová lokalita nenachází. Tudiž se v analýzách vyskytuje časová mezera od roku 2003 do 2008. Celkově bylo zpracováno 503 snímků.

### 5.1 NDWI

Výsledky výpočtu indexu NDWI se z obou družic neshodovaly. Byly pozorovány rozdíly v období od ledna 2015 do listopadu 2018. Kdy výsledky ze Sentinelu 2 ukazovaly, že se voda ve zkoumané lokalitě nachází a v rozporu s nimi byly výsledky z Landsatu 8. Pozorováním satelitních snímků bez použitých metod z družice Landsat bylo zjištěno, že se ve skutečnosti v tomto období voda v jezeře nevyskytuje, ale že se v oblasti, kde se původně nacházelo jezero, vytvořila rozsáhlá ložiska soli. Proto výsledek studie neodpovídá realitě a použití NDWI indexu pro výpočet vodní plochy je v této lokalitě nevhovující.

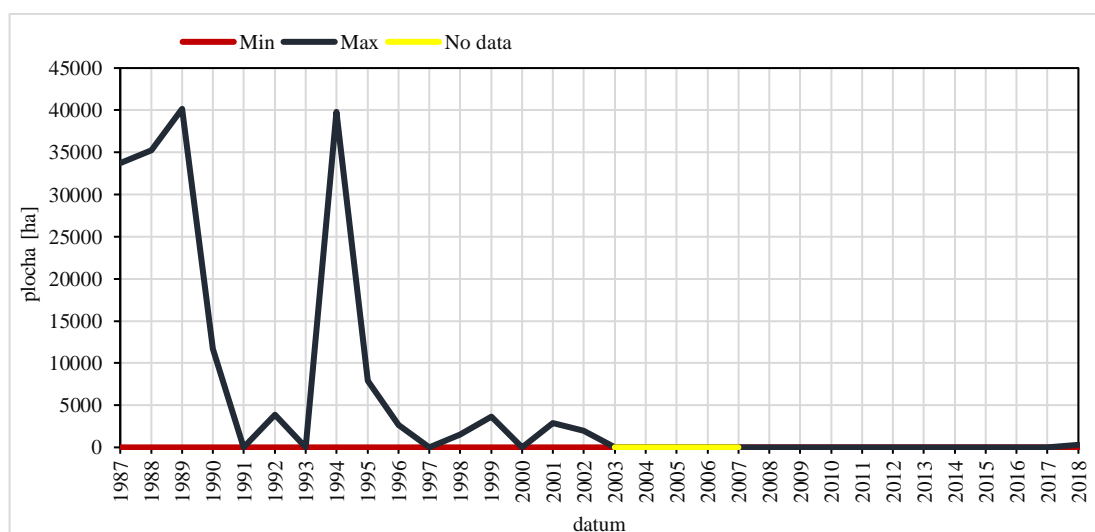


Obr. 24: Porovnání výsledných snímků a) ze Sentinelu 2 ( 8.9.2015) a b) z Landsatu 8 (15.9.2015) ze začátku září roku 2015. Na obr. 24 a) a b) by měla být zobrazena výsledná vodní plocha .

Obr 24 a) zobrazuje vyschlé solné dno jezera, jelikož při použití indexu NDWI, solné dno a vodní plocha nabývaly stejných hodnot. A obr 24 b) poukazuje na to, že se v daném období v jezeře žádná voda nenacházela. Ani tento výsledek nebyl správný, neboť vypočtené hodnoty NDWI se nenacházely v rozmezí hodnot indexu  $[-1;0;1]$ .

## 5.2 Tvorba binárních obrazů a výpočet vodní plochy

Po zjištění nevhodnosti indexu NDWI byla zvolena jiná metoda pro určení výskytu vody v jezeře. Metoda spočívala v prahování pásma NIR a dále vypočítávání plochy v Gisu za pomoci model builderu viz. kapitola metodika.



Obr. 25: Výsledné minimální a maximální plochy vody v letech 1987-2018. Z obrázků vyplývá, že jezero vysychá každým rokem, to bývá většinou v letních měsících viz. přílohy 1 až 4. V období od roku 2003 do 2007 chybí data, jelikož nebyly použity snímky z družice Landsatu 7.

Výsledné minimální a maximální plochy za 27 let jsou zobrazeny v obr. 25. Z něhož vyplývá, že nejvíce vody se v jezeře vyskytovalo v roce 1989 a v 1994. Naopak lze pozorovat, že k vyschání jezera dochází každým rokem.

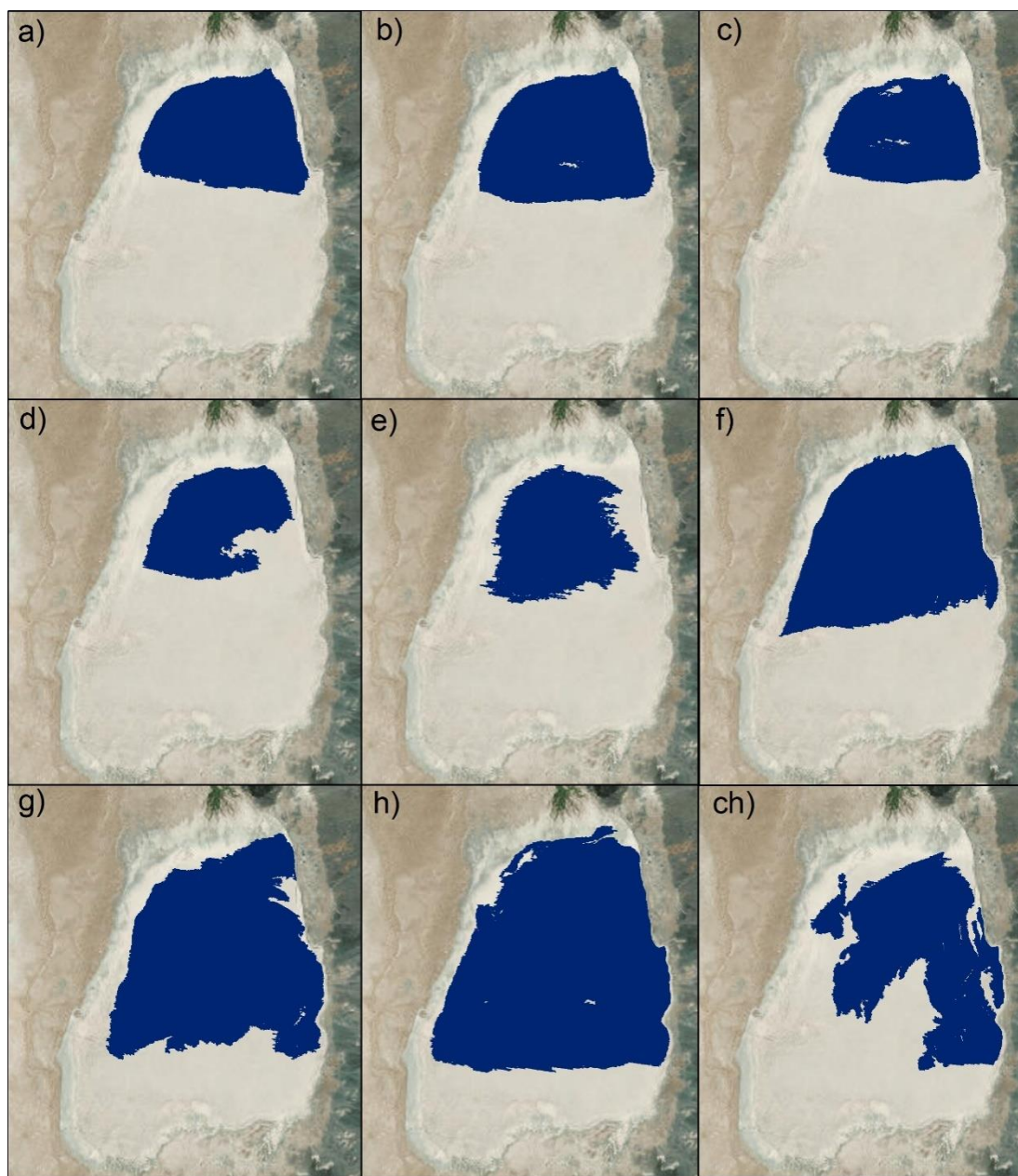
Celková studie o změně rozsahu vodní plochy byla rozdělena na 4 epizody v období od roku 1987–2018. V každé epizodě byly sledovány výkyvy rozsahu vodní plochy. Grafy jednotlivých epizod jsou uvedené v přílohách 1 až 4, které znázorňují přehled o velikosti ploch vody během jednotlivých let. První epizoda je v období 1987–1993. Jezero se během let z části naplní v měsících leden až květen. Poté dojde k úplnému vyschnutí na cca 5–10 měsíců. K vysychání jezera dochází hlavně během letních měsíců (květen–říjen). Voda se do jezera vrací mezi říjnem a listopadem.

S postupem času lze pozorovat, že jezero je vyschlé každým rokem po delší dobu a vodní plocha se v jezeře začíná vyskytovat pouze v listopadu a prosinci. Již v roce 1991 se v jezeře nenacházela žádná vodní plocha a v listopadu roku 1992 se opět vrátila do jezera. Největší dosažená plocha v této epizodě byla dne 21.11.1993 o velikosti 45630,6 [ha]. Druhá epizoda byla v letech 1994–1999. Zde se průběh vysychání jezera opakoval. V zimních měsících lze sledovat výskyt vody a v letních měsících jenom vyschlé zasolené dno jezera. Největší plocha byla dosažena dne 8.01.1994 o velikosti 39811,49 [ha]. Poté následoval značný pokles v letech 1995–1999. Nejmenší plocha se zde vyskytovala dne 03.01.1998 o velikosti 157,8 [ha]. Ve třetí epizodě, která je v období od roku 2000 do roku 2009, chybí data v letech 2004 až 2007. Jelikož v této studii nebyly zakomponovány poškozené snímky z družice Landsat 7. V této epizodě se voda vyskytovala pouze v letech 2001 a 2002. Největší vodní plocha o rozloze 2903,13 [ha] byla dne 29.11.2001. Poté docházelo v lednu a únoru roku 2002 k pomalému ubývání vodní plochy až do úplného vyschnutí. Poslední epizoda je od roku 2010 do roku 2018. Toto období je považované za nejsušší ze všech epizod. Od roku 2008 až do října roku 2018, bylo jezero trvale vyschlé. Od listopadu roku 2018 se v jezeře opět začala vyskytovat vodní plocha o velikosti 137,06 [ha] a v prosinci téhož roku byl zaznamenán vzrůst plochy na 281,91 [ha].

Byla zjišťována příčina vysychání jezera v průběhu let. Z dostupných informací od (Harris et al., 2004) byly získány teplotní a srážkové poměry. Z těchto informací bylo zjištěno, že hodnota průměrných srážek během 1. a 2. epizody zůstává téměř stejná. Ve třetí epizodě je pozorován větší srážkový úhrn, a naopak v poslední nejsušší epizodě výskyt srážek rapidně klesá. Oproti tomu teplota během let stále roste. Z toho vyplývá, že výskyt vody v jezeře souvisí se srážkami a teplotou.

Dalšími faktory jsou: výpust vody z přehrady a stálý růst obyvatel. Při demografickém růstu se zvyšují i nároky na vodu. Tím pádem může být z přehrady vypuštěno dostačující množství vody, které by mělo dotéct i do jezera Gav khuni. Jenomže, kvůli stále většímu odběru vody pro zemědělství, průmysl a domácnosti se stává, že ve většině případů, žádná voda do jezera nedoteče.

### 5.3 Změny rozsahu vodní plochy v průběhu roku 1987



 Vodní plocha



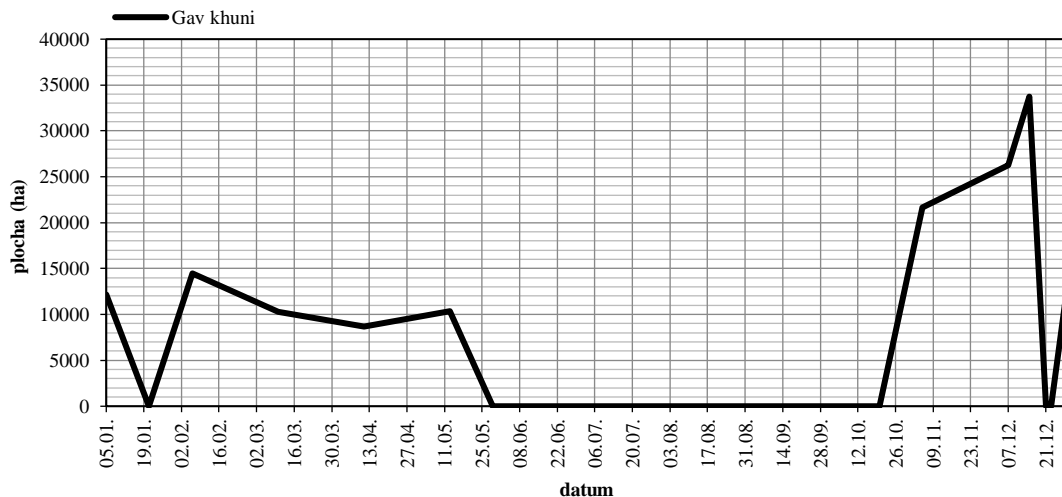
0 10 20 30 40 50 km

Obr. 26: Vizualizace vodní plochy v roce 1987 pouze v měsících, kdy se v jezeře vyskytovala voda. Data pořízených snímků s vodní plochou: a) 05.01.1987, b) 06.02.1987, c) 10.03.1987, d) 11.04.1987, e) 13.05.1987, f) 05.11.1987, g) 07.12.1987, h) 15.12.1987, ch) 31.12. 1987

Tab 1: Sezónní výkyvy vodní plochy

označení	datum	plocha[ha]
a	5.1.87	12142,01
b	6.2.87	14475,7
c	10.3.87	10269,8
d	11.4.87	8710,1
e	13.5.87	10355,5
-	29.5.87	0
-	14.6.87	0
-	30.6.87	0
-	16.7.87	0
-	1.8.87	0
-	17.8.87	0
-	2.9.87	0
-	18.9.87	0
-	4.10.87	0
-	20.10.87	0
f	5.11.87	21669,1
g	7.12.87	26238,4
h	15.12.87	33738,6
ch	31.12.87	17367,0

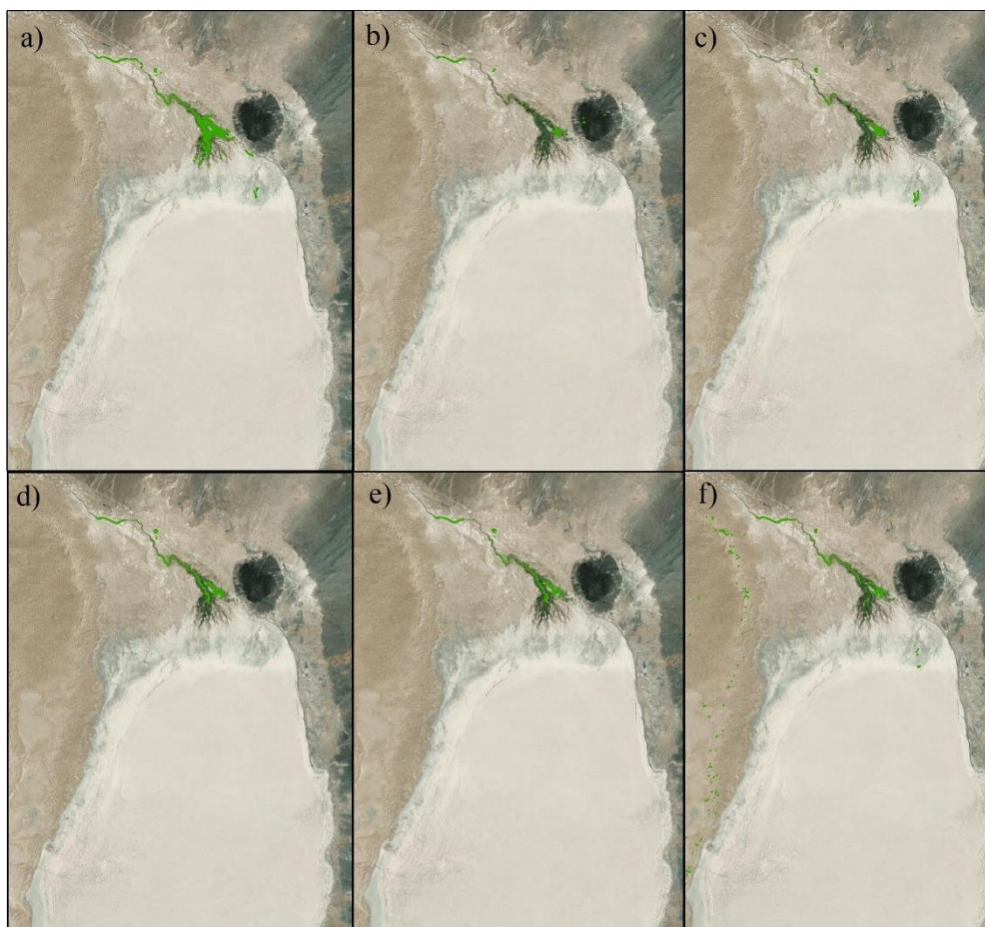
Obr. 26 zobrazuje vodní hladinu jezera Gav khuni v roce 1987, pouze v měsících, kdy se v jezeře vyskytovala vodní plocha. Od 29.května května do října bylo jezero vyschlé. Vodní plocha jezera Gav khuni ze začátku roku kolísala. Lze pozorovat, pomalý nárůst vodní plochy. Mezi měsíci leden a únor se vodní plocha zvětšila o 2 333,7 ha. Poté následoval značný pokles mezi měsíci březen a duben. Od listopadu do poloviny prosince byl pozorován značný nárůst, poté hladina klesla na 17367 ha. Největší vodní plocha byla dosažena dne 15. prosince o velikosti 33738,6 ha (obr. h) Naopak nejmenší vodní plocha se v jezeře vyskytovala dne 11.dubna o velikosti 8710,1 ha (obr. d).



Obr. 27: Průběh nárůstu a úbytku vodní plochy za rok 1987

Graf zobrazuje nárůst a úbytek vodní plochy v jednotlivých měsících v roce 1987. Lze pozorovat, že ze začátku roku má vodní plocha kolísavý charakter. V květnu dochází k rychlému úbytku vodní plochy až do úplného vyschnutí jezera. Poté bylo jezero vyschlé na pět měsíců a v říjnu se voda do jezera vrátila a její plocha v dalších měsících stále roste. Nejvíce vody se v jezeře vyskytovalo v prosinci.

## 5.4 Plocha vegetace v průběhu roku 2018



 Vegetace



0 10 20 30 40 50 km

Obr. 28: Variabilita rozsahu vegetace v roce 2018, pouze ve vybraných měsících. Data pořízených snímků s vegetací a) 25.01.2018, b) 06.03.2018, c) 25.05.2018, d) 04.07.2018, e) 12.09.2018 f) 26.12.2018

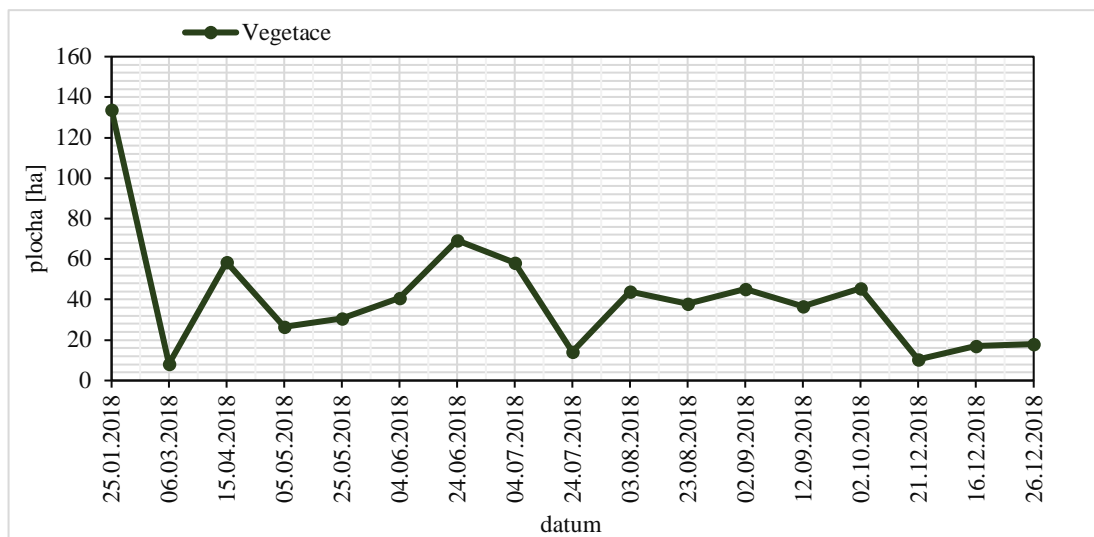


Tab. 2: Plocha přilehlé vegetace z jezera Gav khuni za rok 2018

označení	datum	plocha [ha]
a	25.01.2018	133,76
b	06.03.2018	8,22
-	15.04.2018	58,63
-	05.05.2018	26,41
c	25.05.2018	30,64
-	04.06.2018	40,83
-	24.06.2018	69,18
d	04.07.2018	58,13
-	24.07.2018	14,09
-	03.08.2018	43,9
-	23.08.2018	38,05
-	02.09.2018	45,17
e	12.09.2018	36,62
-	02.10.2018	45,42
-	21.12.2018	10,56
-	16.12.2018	16,96
f	26.12.2018	18,1

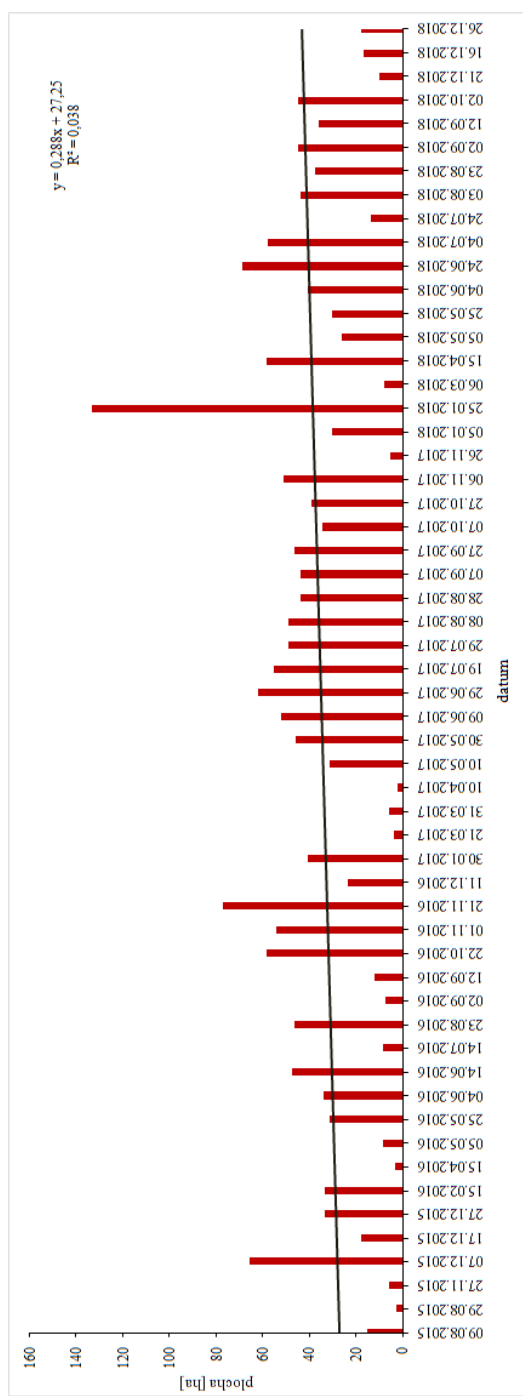
Při analýze NDVI bylo použito 55 satelitních snímků Sentinel 2 z roku 2015–2018. Během 4 let byly pozorovány změny rozsahu vegetace kolem jezera.

Na obr. 28 je znázorněn průběh výskytu vegetace během roku 2018. Kolem jezera převažuje hlavně poušť. Oblast, ve které se jezero nachází trpí desertifikací. Velmi řídká vegetace se nachází u severní části jezera a po stranách kopíruje tok řeky Zayandeh Rud. V tab. 2 je zobrazen přehled výsledných ploch během roku 2018. Největší plocha se vyskytovala v dne 25.01. (obrázek a) o velikosti 133,76 ha a nejmenší plocha dne 06.03.(obrázek b) o velikosti 8,22 ha.



Obr. 29: Změny rozsahu vegetace v roce 2018

Na obr. 30 jsou zobrazeny všechny výsledky ploch vegetace v období 2015–2018. Největší plochy se objevují v zimních měsících od prosince až do ledna. Graf vykazuje oscilující hodnoty. Ve zkoumané oblasti se vyskytují pouze halofytní rostliny, které jsou přizpůsobeny zdejšímu klimatu a suchu. Nejsou závislé na výskytu vody v jezeře a nejsou ovlivněny sníženým výskytem srážek a vysokými teplotami. Nejlépe to vystihuje lineární regrese s rostoucím trendem a koeficientem determinace  $R^2 0,0387$ .



Obr. 30: Průběh výskytu vegetace pro období 2015–2018

## 6. Diskuze

Práce měla stanovit rozsah a změny výskytu vodní hladiny a okolní vegetace jezera Gav khuni. Výkyvy rozsahu vodní plochy a přilehlé vegetace byly počítány pro meziroční a sezónní období. Celkem byla prováděna detekce vody během 27 let. Z výsledků zpracovaných dat, které jsou popsány a zobrazeny v kapitole 5. lze říci, že se nejvíce vody v jezeře nacházelo v letech 1989 až 1994. Poté došlo ke značnému snižování vodní plochy. Od roku 2008 až do listopadu roku 2018 bylo jezero trvale vyschlé. Z prováděných analýz bylo zjištěno, že ve zkoumaném období jezero v letních měsících každoročně vysychá. Za pomoci dostupných informací byly zjištěny příčiny vysychání jezera, kterými jsou změny klimatu a stálý růst obyvatel.

Na problematiku vysychání jezer je stále více upozorňováno a mnoho autorů se tímto problémem zabývá např. Birkett (Birkett, 2000), který ve své studii zkoumá snižující hladinu Čadského jezera a inundace jeho povodí za použití pásma NIR a altimetrických radarových snímků. V práci využívá snímky z družice TOPEX/POSEIDON (T/P) pro sledování hladiny přítokových řek a jezera. Variace inundace v povodí jsou sledovány na snímcích NOAA/AVHRR v časovém rozmezí od 1995 až do roku 1998 za pomoci prahové metody. Autor Crétaux (Crétaux et al., 2005) ve své práci sleduje vysychání Aralského jezera za pomoci snímků z altimetrických družic T/P a Jason 1 v časovém období od roku 1993–2004. Tyto T/P a Jason 1 snímky využil k rekonstrukci změn vodní plochy a objemu Aralského jezera za pomoci digitálního batymetrického modelu. Poté použil změny objemu vody jako přesné omezení pro minimální vodní plochu jezera. Aralské jezero a Čadské jezero mají velmi podobný průběh vysychání jako jezero Gav khuni. Dle studie od Shia (Shi et al., 2014) se v aralském jezeře od roku 1981 začala zmenšovat vodní plocha. V devadesátých letech se vodní plocha jezera rozdělila na severní a jižní část. Tento proces, byl způsoben odkloněním přítoku řek, kvůli potřebě vody pro zemědělství. V roce 2007 byla velikost Aralského jezera pouze 10 % z jeho původní velikosti. Jeho vodní plocha se stále zmenšuje a místo jezera se zde vytváří solná poušť.

Ze studie od Lemoallea (Lemoalle, 2004) bylo zjištěno, že se hladina Čadského jezera začala zmenšovat, kvůli změně klimatických podmínek a zvětšujícímu se růstu obyvatel. Díky tomu roste i potřeba vody.

Velikost vodní plochy v roce 1963 byla 25 000 km<sup>2</sup>, která klesla na současnou velikost plochy 1500 km<sup>2</sup>. Jezero je známé pro svou nestálost vodní hladiny, a tak vědci věří, že se voda do jezera zase vrátí.

Gav khuni je velmi důležitým zimovištěm pro migrační ptáky. Dle získaných informací z Ramsarských stránek (ramsar, 1997) se zde hlavně vyskytují tyto druhy ptáků: plameňák růžový *Phoenicopterus ruber*, husa velká *Anse ranser* a kopřivka obecná *Anas strepera*. Z výsledků bylo zjištěno, že jezero je od roku 2008 do listopadu 2018 vyschlé. Dle mého názoru by se populace ptáků zde měla snižovat, neboť tu pro ně nejsou příznivé podmínky pro život.

V této práci byly použity 3 analýzy na zpracování dat. První analýza počítala změny vodní plochy za pomoci indexu NDWI, který byl vypočítán dle studie od Gaa (Gao, 1996). V analýze byly použity satelitní snímky z družice Sentinel 2 a Landsat 4-5,8. Výsledné hodnoty NDWI indexu ze snímků Landsatu se neshodovaly s výsledky odborníků a s výsledky ze Sentinelu. McFeeter (McFeeters, 2013) ve své studii uvádí, že index NDWI by se měl pohybovat v hodnotách -1 a 1. Kdy hodnoty větší než 0 jsou považované za vodní hladinu. Což neodpovídalo získaným hodnotám, které byly v rozmezí 1–130. Výsledky získané ze Sentinelu 2 se již v tomto rozmezí pohybovaly, ale i tento výsledek nebyl správný. Po porovnání snímků s výsledky použitého indexu, bylo zjištěno, že index zobrazuje výskyt vody, která se tam v tu dobu nevyskytovala. Vodní index nebyl schopný rozlišit vodní plochu od vyschlého solného dna. NDWI index nebyl pro výpočet vodní plochy v této oblasti vyhovující. S tímto problémem se potýkala i studie od Szába (Szábo et.al.,2016), ve které se uvádí, že NDWI index nebyl schopný rozeznat vodní plochu od lesa a pastvin.

Po tomto zjištění byla provedena metoda prahování snímků. Touto metodou vznikly výsledné binární mapy, které měly odlišit vodní plochu od ostatních povrchů. Prahování snímků bylo prováděno na pásmu NIR. Pro prahování vody se vybírá mezi pásmy NIR a SWIR, což potvrzuje ve své studii i Haibo (Haibo et al., 2011). Naopak studie od Zhanga (Zhang at el., 2017) tvrdí, že prahování vody je lepší provádět na pásmu NIR, které zachytí největší rozdíly v odrazivosti.

Výsledné binární mapy znázorňují hodnoty 1 pro vodu a 0 pro souš. Tento výsledek je správný. Výsledek vodních ploch pro rok 1987 je zobrazen na obr.26, kde lze pozorovat kolísání hladiny jezera během roku.

Přílohy 1 až 4 znázorňují přehled výsledných ploch v období od 1987–2018. Od roku 2008 - do prosince 2018 bylo jezero trvale vyschlé. Lze tedy říci, že pro detekci vody jezera Gav khuni byla metoda prahování přínosnější a přesnější oproti již zmíněnému indexu NDWI.

Mapování přilehlé vegetace probíhalo za použití indexu NDVI. Výpočty byly prováděny na snímcích Sentinel 2 v období 2015–2018. Studie od El – Asmara (El – Asmar et al., 2013) tvrdí, že snímky Sentinelu jsou vhodnější pro globální mapování vegetace. Satelitní snímky ze Sentinelu byly vybrány z důvodu snahy zmapovat aktuální výskyt vegetace kolem jezera a ve srovnání se snímky z Landsatu mají lepší prostorové i spektrální rozlišení. Při aplikaci atmosférické korekce na snímky v úrovni L1C v rozlišení 10 m se během zpracování vyskytla chyba, která nešla odstranit. Proto bylo pro zpracování vybráno pásmo 8A s 20 m rozlišením. S tímto naskytnutým problémem se potýkají i pokročilí uživatelé snapu. Pracování ve Snapu má několik výhod např. dá se v něm pracovat i s daty jiných družic, naopak jeho nevýhodou je nižší stabilita.

NDVI index byl tedy počítán z pásem 4 a 8A. Lange (Lange et al., 2017) ve své studii počítá index pro obě rozlišení jak 10 m tak 20 m a uvádí, že rozdíl ve výsledcích je minimální. Výsledky NDVI všech zpracovaných snímků se nacházejí v rozmezí [- 1; 1].

Výsledkem byly binární mapy, které vznikly za pomoci prahové hodnoty 0.4. Tato hodnota značí keře nebo velmi řídkou vegetaci, což odpovídá skutečnosti vzhledem k prostředí, ve kterém se zájmová oblast nachází. Výsledky, které byly získané z binárních map jsou zobrazeny v obr. 30. Změny vegetační plochy v průběhu roku 2018 byly vizualizovány na obr.28, kde lze vidět výskyt vegetace v severní části jezera a kolem řeky Zayandeh Rud, kde vegetace kopíruje směr toku.

Temporální rozlišení dat z družic Landsat 4-5,8 je 16 dní. Při společném provozu družic 4 a 5 se perioda zkracuje na 5 dní. U Sentinelu je perioda přeletu 10 dní a při společném fungování 2A a 2B se zkracuje na 5 dní. Dle (satimagingcorp.com,2017) klasifikace temporálního rozlišení družic spadají do střední třídy v rozsahu 4–16 dní. Pro studium změn při sledování výskytu vody a vegetace je toto rozlišení dostačující.

## 7. Závěr

Diplomová práce se zabývala problematikou vysychání jezera Gav khuni a změny výskytu přilehlé vegetace. Vysychání jezera je označováno za ekologickou katastrofu, ke které dochází v důsledku minimálního přítoku řeky Zayandeh Rud a změny klimatu. Řeka je jediným vodním zdroje pro centrální část Iránu. V důsledku stálého růstu obyvatel se zvyšují nároky na vodu. Řeka je prioritně využívána v zemědělství a pro dodávky vody do domácností. Což způsobuje omezený či žádný přítok vody do jezera.

Detekce vody a vegetace probíhaly na satelitních snímcích Landsatu 4-5,8 a Sentinelu 2. Změny výskytu vody byly pozorovány na časových řadách od roku 1987 do 2018. Vegetace byla sledována pouze na snímcích Sentinel 2 v období 2015–2018. Celkem bylo zpracováno 503 snímků. Tento velký objem dat, by měl zvýšit přesnosti analýz. První analýza počítala změny výskytu vody za použití NDWI indexu. Během zpracování dat bylo zjištěno, že index není vhodný pro mapování vody v této oblasti. Hodnoty pro vodu a sůl byly stejné, tudíž je od sebe index nedokázal rozlišit. Výsledné snímky zobrazovaly výskyt vody v jezeře, která se tam v dané době nevyskytovala. Poté byla aplikována metoda prahování snímků, která odlišila vodu od ostatních povrchů, a vznikly výsledné binární mapy. Z binárních map byla vypočítána plocha vody v [ha]. Výsledky jsou uvedeny v kapitole č. 5.

Studie rozsahu vodní plochy byla rozdělena na 4 epizody v období od roku 1987 do roku 2018. První epizoda je v období od roku 1987 do roku 1993. Pomocí analýz bylo zjištěno, že se voda v této epizodě v jezeře vyskytuje začátkem každého roku. V letních měsících dojde k vyschnutí jezera po dobu 5 až 10 měsíců. Voda se do jezera vrátí v listopadu a prosinci. Druhá epizoda byla v letech 1994–1999. Zde se průběh vysychání jezera opakoval. V zimních měsících lze sledovat výskyt vody a v letních měsících jenom vyschlé zasolené dno jezera. Po roce 1994 následoval značný pokles vodní plochy až do roku 1999. Ve třetí epizodě, která je v období od roku 2000 až do roku 2009, chybí data v letech 2004–2007, neboť v této studii nebyly zakomponovány poškozené snímky z družice Landsat 7. V této epizodě se voda vyskytovala pouze v letech 2001 a 2002. Poslední epizoda je od roku 2010 do roku 2018. Toto období je považováno za nejsušší ze všech epizod.

Od roku 2008 až do října roku 2018, bylo jezero trvale vyschlé. Od listopadu roku 2018 se v jezeře opět začala vyskytovat vodní plocha. Příčinami vysychání jezera jsou změny klimatu a stále zvětšující se nároky na vodu.

Mapování přilehlé vegetace probíhalo za použití vegetačního indexu NDVI pro období od roku 2015–2018. Za pomoci prahové hodnoty 0.4 vznikly výsledné binární mapy, z kterých byla vypočítána plocha [ha]. Ve zkoumané oblasti převládá poušť a vegetace se zde vyskytuje ve velice malém množství. Nachází se v severní části jezera a podél řeky Zayandeh Rud. Co se týče sezónního výskytu vegetace, prosperuje spíše v zimních měsících a nejvíce v roce 2018, což znázorňuje i výsledný graf na obr. 30.



## 8. Přehled literatury a použitých zdrojů

Aalamifar, H., Agh, N., Malekzadeh, R., Aalinezhad, M., 2014: A Comparative study on effects of different salinities on the reproduction rates of two parthenogenetic species of Artemia (Gaav Khooni wetlands of Isfahan and ponds around the Urmia lake) from Iran. *International Journal of Aquatic Biology*, 2(2), 91-98.

Aerts, J. C. J. H., Droogers, P., 2004: Climate change in contrasting river basins. *Adaptation strategies for water, food and environment*, CABI, 115- 122.

Bahrani, F. A. E. S. B., Salahesh, N., 2015: Learning from the past to deal with future urban landscape 19-26.

Barzani, M. M., Salleh, K. B. O., 2017: Assessment of aridity index in Iran. *IJIDS* 9(4), 405–416.

Barzani, M. Marani; Khairulmaini, O. S., 2013: Desertification risk mapping of the Zayandeh Rood Basin in Iran. *Journal of earth system science*, 122, 1269-1282.

Birkett, C. M., 2000: Synergistic remote sensing of Lake Chad: Variability of basin inundation. *Remote sensing of environment*, 72(2), 218-236.

Campbell, J. B., Wynne, 1987: *Introduction to remote sensing*, Guilford press. 551.

COLLGS, ©2019: Sentinel 2 (online) [cit.2019.4.4], dostupné z<  
<http://collgs.czechspaceportal.cz/sentinel-2-datove-specifikace/>>

Crétaux, J. F., Kouraev, A. V., Papa, F., Bergé-Nguyen, M., Cazenave, A., Aladin, N., Plotnikov, I. S., 2005: Evolution of sea level of the big Aral Sea from satellite altimetry and its implications for water balance. *Journal of Great Lakes Research*, 31(4), 520-534.

Dobrovolný, P. 1998: *Dálkový průzkum Země. Digitální zpracování obrazu*. 1.vydání. Brno. Masarykova univerzita, 208 s.

Droogers, P., Salemi, H. R., Mamanpoush, A. R., 2001: Exploring basin scale salinity problems using a simplified water accounting model: the example of Zayandeh Rud basin, Iran. *IAERI – IWMI*, 50(4), 335-348.

El-Asmar, H. M., Hereher, M. E., El Kafrawy, S. B., 2013: Surface area change detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, using water indices: A remote sensing approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 119-123.

El-Asmar, H. M., Hereher, M. E., El Kafrawy, S. B., 2013: Surface area change detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, using water indices: A remote sensing approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 119-123.

- EOS, ©2019: Odrazivost vegetace (online) [cit.2019.7.4], dostupné z <<https://eos.com/ndvi/>>
- Eslamian, S., Safavi, H. R., Gohari, A., Sajjadi, M., Raghibi, V., Zareian, M. J. 2017: Climate change impacts on Some Hydrological Variables in the Zayandeh-Rud River Basin, Iran. In *RevivingtheDyingGiant* 201-217.
- Faiman Z., 1995: Družicové a letecké snímky. *Ochr. Přír.* 335.
- Felmeden, J., Kickler, K., 2014: Agriculture in the Zayandeh Rud Catchment. ISOE, 50.
- Gao, B. C., 1996: NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
- Garrouthe, E. L., Hansen, A. J., Lawrence, R. L., 2016: Using NDVI and EVI to map spatiotemporal variation in the biomass and quality of forage for migratory elk in the Greater Yellowstone ecosystem. *RemoteSensing*, 8, 404.
- Gohari, A., Eslamian, S., Abedi-Koupaei, J., MassahBavani, A., Wang, D., and Madani, K., 2013: Climate change impacts on crop production in Iran's Zayandeh Rud River Basin. *Science od the Total. Environ.*442, 405–419.
- Gohari, A., Eslamian, S., Mirchi, A., Abedi-Koupaei, J., Bavani, A. M., Madani, K., 2013. Water transfer as a solution to water shortage: a fix that can back fire. *Journalof Hydrology*, 491, 23-39.
- Gohari, A., Madani, K., Mirchi, A., & Bavani, A. M., 2014: System-Dynamics approach to evaluate climate change adaptation strategies for Iran's Zayandeh-Rud Water System. In *World Environmental and Water Resources Congress*, 1598-1607.
- GOOGLE EARTH, ©2018: Snímek z Landsatu 8 jezera Gav khuni (online) [cit.2019.14.4.], dostupné z <<https://earth.google.com/web/@32.12883425,52.8338544,1438.48916321a,135800.22025824d,35y,0.56650969h,10.95984289t,0r/data=ChQaEgoKL20vMDJxcGZ6cBgCIAEoAg>>
- Guth, J., Kučera, T., 1997: Monitorování změn krajinného pokryvu s využitím DPZ a GIS. *Příroda*, 10, 107-124.
- Haibo, Y., Zongmin, W., Hongling, Z., Yu, G., 2011: Water body extraction methods study based on RS and GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10, 2619-2624.
- Harandi, M. F., Yarahmadian, S., Sepehrifar, M., van Gelder, P. H., 2014: The dichotomous Markov process with nonparametric test application; a decision support method in long-term river behavioural analysis: the Zayandeh Rud River; a case study from central Iran. *Stochastic environmental research and risk assessment*, 28, 1889-1896.
- Harris, I., Jones, P.D., Osborn, T.J. and Lister, D.H., 2014: Updated high-resolution grids of monthly climatic observations – the CRU TS3.10 Dataset. *Int. J. Climatol.*, 34, 623–642.

Herbei, M. V., Sala, F., Boldea, M., 2015: Relation of normalized difference vegetation index with some spectral bands of satellite images. AIP Conference Proceedings, 670003.

CHEGG, ©2019: Odrazivost vegetace (online) [cit.2018.10.11], dostupné z <[www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/spectral-reflectance-curves-water-soil-green-vegetation-shown-graph-wavelengths-suitable-d-q23977716](http://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/spectral-reflectance-curves-water-soil-green-vegetation-shown-graph-wavelengths-suitable-d-q23977716)>

Khodagholi, M. 2006: Investigation plants and climate of Zayandeh Rood Basin, Research and Developing Journal, 50(70), 125–132.

Kupková, L. (2010): Země z nadhledu – dálkový průzkum Země. Geografické rozhledy, 3, 10–11 s.

LABGUIDE, ©2014: Elektromagnetické spektrum (online) [cit.2019.12.2], dostupné z <<https://labguide.cz/fluorochromy/>>

Lange, M., Dechant, B., Rebmann, C., Vohland, M., Cuntz, M., & Doktor, D., 2017: Validating MODIS and sentinel-2 NDVI products at a temperate deciduous forest site using two independent ground-based sensors. Sensors, 17(8), 1855.

Lemoalle, J., 2004: Lake Chad: a changing environment. In Dying and Dead Seas Climatic Versus Anthropic Causes, 321-339.

Madani, K., Mariño, M. A., 2009: System Dynamics Analysis for Managing Iran's Zayandeh – Rud River Basin, Water Resources management., 23, 2163–2187.

McCarthy, J. J., Canziani, O. F., Leary, N. A., Dokken, D. J., White, K. S., 2001: Climate change impacts, adaptation, and vulnerability: contribution of Working Group II to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, 1005.

McFeeters, S. K., 2013: Using the normalized difference water index (NDWI) with in a geographic information system to detect swimming pools for Mosquito Abatement: A practical approach. Remote Sensing, 5, 3544-3561.

Molle, F., Hoogesteger, J., Mamanpoush, A., 2008: Macro-and micro-level impactsofdroughts: the case of the Zayandeh Rud river basin, Iran. Irrigation and Drainage, 57,9.

Morid, S., 2003: Adaptation to climatechange to enhance food security and environmentalquality: Zayandeh Rud Basin. Iran. ADAPT Project Final Report, 50 s.

Murray-Rust, H., Salemi, H. R., Droogers, P., 2002: Water resources development and water utilization in the Zayandeh Rud basin, Iran. IAERI-IWMI Research Report, 13.

Murray-Rust, H., Sally, H., Salemi, H. R., Mamanpoush, A.s 2000: An overview of the hydrology of the Zayandeh Rud Basin. IAERI-IWMI, 22.

NASA, ©2019: Landsat 1,4-5 (online) [cit.2019.10.4], dostupné z <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/about/history/>>

- NASA, ©2019: Landsat 8 (online) [cit.2019.9.4], dostupné z <<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-8/>>
- RAMSAR, ©2014: Flóra a Fauna Gav khuni (online) [cit.2019.10.4], dostupné z <<https://www.ramsar.org/activity/world-wetlands-day>>
- Richards, J. A., Jia X., 2006: Remote sensing digital image analysis, Springer, 454.
- Safavi H.R., Esfahani M.K., Zamani A.R., 2014: Integrated index for assessment of vulnerability to drought, case study: Zayandehrood River Basin, Iran, Water resources management, 28, 1671-1688.
- Salemi, H. R., Mamanpoush, A. R., Miranzadeh, M., Akbari, M., Torabi, M., Toomanian, N., Gieske, A., 2000: Water management for sustainable irrigated agriculture in the Zayandeh Rud Basin, Esfahan Province. IAERI – IWMI, 21.
- Sarala, D., Jacob, S. 2014: Digital image processing a remote sensing perspective. International journal of innovative research and development, 3(12), 295–300.
- SATIMAGINGCORP, ©2017: Landsat 8 (online) [cit.2019.3.4], dostupné z <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat-8/>>
- SATIMAGINGCORP, ©2017: Rozlišení Sentinelu 2 (online) [cit.2019.5.4], dostupné z <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>>
- SATIMAGINGCORP, ©2017: Sentinel 2 (online) [cit.2019.4.4], dostupné z<<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>>
- SATIMAGINGCORP, ©2017: Temporální rozlišení (online) [cit.2019.13.4], dostupné z <https://www.satimagingcorp.com/services/resources/characterization-of-satellite-remote-sensing-systems/>>
- Shi, W., Wang, M., Guo, W., 2014: Long-term hydrological changes of the Aral Sea observed by satellites. Journal of Geophysical Research: Oceans, 119(6), 3313-3326.
- Sobrino, J. A., Jimenez-Munoz, J. C., Paolini, L., 2004: Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote sensing of environment, 90(4), 434440.
- Szabó, S., Gacsi Z., Balázs B., 2016: Specific features of NDVI, NDWI and MNDWI as reflected in land cover categories. Landsc. Environ., 10, 3-4, 194-202.
- Turvey, C. G., Mclaurin, M. K., 2012: Applicability of the normalized difference vegetation index (NDVI) in index-based crop insurance design. Weather, Climate, and Society, 4, 271-284.
- USGS, ©2018: Rozlišení družice Landsat 4-5 (online) [cit. 2019.29.3], dostupné z <[https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites-0?qt-news\\_science\\_products=7#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites-0?qt-news_science_products=7#qt-news_science_products)>

USGS, ©2018: Rozlišení družice Landsat 8 (online) [cit. 2019.29.3], dostupné z <  
<https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-oli-and-tirs-and-their-uses>>

Vaiphasa, C., Piamduaytham, S., Vaiphasa, T., Skidmore, A. K., 2011: A Normalized Difference Vegetation index (NDVI) Time-Series agriculture land: A preliminary study. *Engineering journal*, 15(1), 9-16.

Xu, H., 2006: Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International journal of remote sensing*, 27(14), 3025-3033.

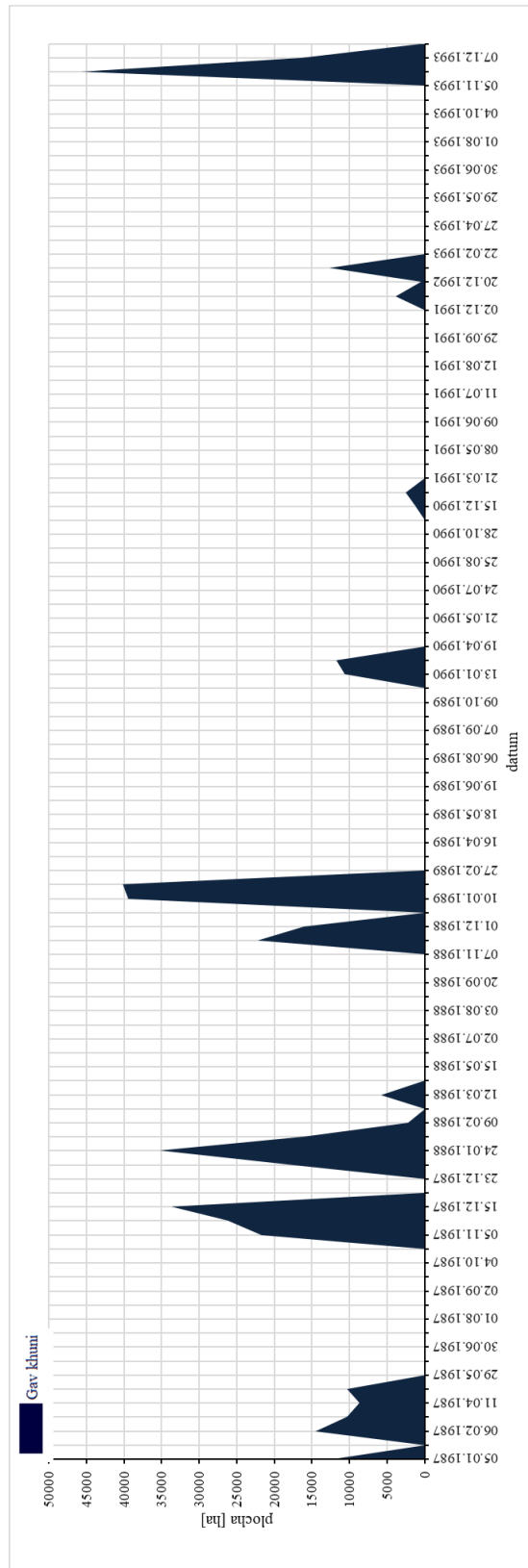
Zareian, M. J., Eslamian, S., Hosseinipour, E. Z., 2014: Climate change impacts on reservoir inflow using various weighting approaches. In *World Environmental and Water Resources Congress*, 2136-2145.

Zareian, M. J., Eslamian, S., Safavi, H. R., Eslamian, A. 2015: Effect of climate change on reference evapotranspiration based on weighting methods. In *Proceedings of the 4th Climate Change Technology Conference*, 12.

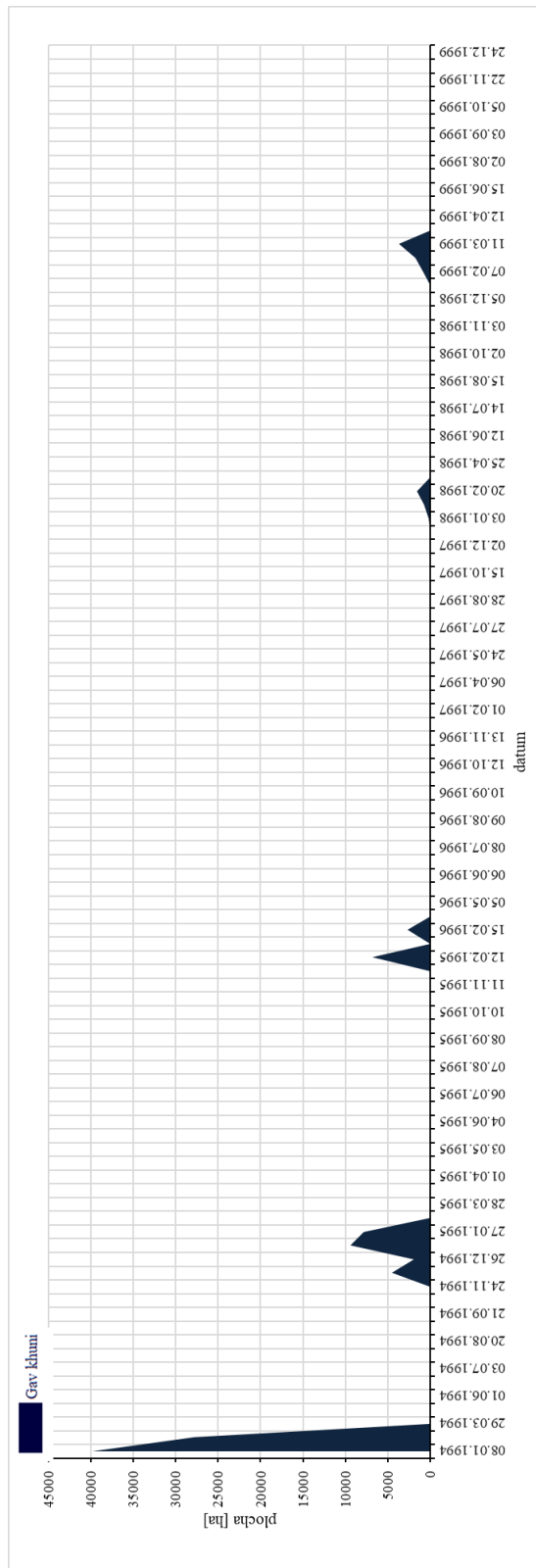
Zhang, G., Zheng, G., Gao, Y., Xiang, Y., Lei, Y., Li, J., 2017: Automated water classification in the Tibetan plateau using Chinese GF-1 WFV data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 83(7), 509-519.

## 9. Přílohy

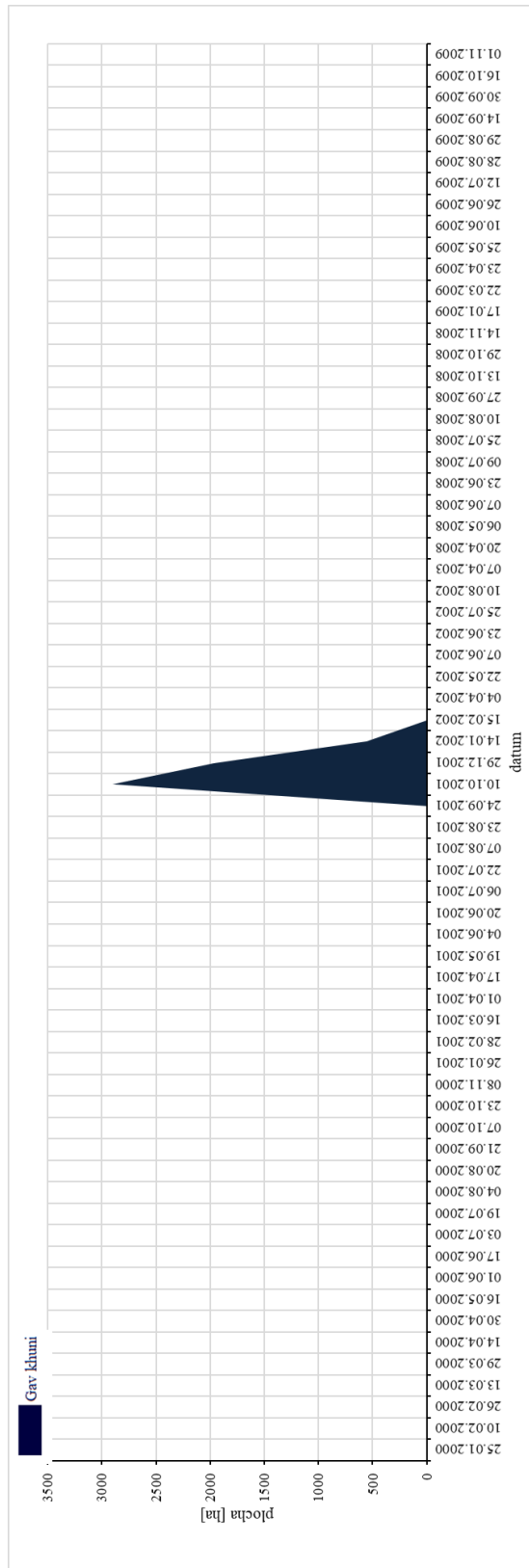
Příloha 1: Výskyt vodní plochy od 1987 do 1993



Příloha 2: Výskyt vodní plochy od roku 1994 do roku 1999



Príloha 3: Výskyt vodní plochy od roku 2000 do roku 2009





Příloha 4: Výskyt vodní plochy od roku 2010 do roku 2018 na snímcích Sentinel 2 a Landsat 8

