



Golestan University



Journal of the Climate Change Research

Scientific Journal of Golestan University
Vol. 5, No. 18, Summer 2024



Quantifying the Zayandeh Rud River drying effects on land surface temperature and adjacent vegetation cover changes over the past 33 years using satellite images

Mohammad Mansourmoghaddam¹, Negar Naghipur², Mehrangiz Rezaei³,
Iman Rousta^{4*}

¹ PhD candidate in Remote Sensing, Center for Remote Sensing and GIS research, Shahid Beheshti University, Tehran Iran

² M.Sc. in Remote Sensing and GIS, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

³ Assistant Professor of Rural Planning, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran

⁴ Associate Professor of Climatology, Department of Geography, Yazd University, Yazd, Iran,

Email: irousta@yazd.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 2023-11-15
Accepted: 2023-11-24

Keywords:

Normalized Difference
Water Index (NDWI)
Normalized Difference
Vegetation Index (NDVI)
Land Surface Temperature
(LST)
Zayandeh Rud
Remote Sensing

ABSTRACT

Monitoring of water changes in human settlements especially in rural areas is essential because of its importance and vital role in sustainability as well as its effect on the natural environment of the village. The current research has investigated the effects of the Zayandeh Rud River drying on the Land Surface Temperature (LST) and vegetation in the years 1990 to 2023 using Landsat-5 and Landsat-8 multispectral and thermal images. For this purpose, two indices of the Normalized Difference Water Index (NDWI) and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), together with LST, and Hot Spot were calculated, and their changes in three levels of the river, One-kilometer buffer from the river and rural settlements were investigated. Based on the results, the years 2000 and 2008 were identified as the years in which the river flow was drier than the other years, and the years 1990, 2013, 2018, 2022, and 2023 were identified as the years with more water flow. The results showed that in dry years, NDWI and NDVI values tended to have small positive values, and in wet years tended to have smaller negative values. Also, dry years had higher LST and occupied a larger area of warm temperature classes. Dry years also had more hot spots than cold spots compared to wet years. The results of the correlation between parameters also showed a negative relationship between LST and NDVI and NDWI in all years and a positive relationship between NDVI and NDWI in drier years. Also, the correlation of the distance from the river was only significant in 1990 and below 100 meters, positive with LST and negative with NDWI. The results of the present study are useful for the planning and proper management of water resources and rivers in Iran.

Cite this article: Mansourmoghaddam, M., Naghipur, N., Rezaei, M., Rousta, I. (2024). Quantifying the Zayandeh Rud River drying effects on land surface temperature and adjacent vegetation cover changes over the past 33 years using satellite images. *Journal of the Climate Change Research*, 5 (18), 1-30.



©The author(s)

Publisher: Golestan University

Doi: 10.30488/CCR.2024.425449.1175



کمی‌سازی اثر خشکی زاینده رود بر تغییرات دمای سطح زمین و پوشش گیاهی مجاور آن طی ۳۳ سال اخیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

محمد منصورمقدم^۱، نگار نقی‌پور^۲، مهرانگیز رضایی^۳، ایمان روستا^{۴*}

^۱ کاندیدای دکتری سنجش‌ازدور، مرکز مطالعات سنجش‌ازدور و GIS، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

^۲ کارشناس ارشد سنجش‌ازدور، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۳ استادیار جغرافیا و برنامه‌ریزی روستایی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران

^۴ دانشیار اقلیم‌شناسی، گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، یزد، ایران، رایانامه: irousta@yazd.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>نوع مقاله: مقاله کامل علمی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۹/۳</p> <p>واژه‌های کلیدی: شاخص تفاضلی نرمال شده آب (NDWI) شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) دمای سطح زمین (LST) زاینده رود سنجش از دور</p>	<p>پایش تغییرات آبی در سکونتگاه‌های انسانی و به ویژه روستایی به دلیل اهمیت و نقش حیاتی آن در پایداری و همچنین اثرگذاری آن بر محیط طبیعی روستا امری حیاتی است. پژوهش حاضر با بهره‌گیری از تصاویر چندطیفی و حرارتی لندست-۵ و لندست-۸ به بررسی اثر تغییرات حاصل از خشک شدن رودخانه زاینده‌رود بر دمای سطح زمین و پوشش گیاهی را در سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ پرداخته است. بدین منظور از دو شاخص تفاضلی نرمال شده آب (NDWI) و تفاضلی نرمال شده گیاه (NDVI)، دمای سطح زمین (LST) و هات اسپات (Hot Spot) استفاده و تغییرات آنها در سه سطح حریم رودخانه، محدوده یک کیلومتری رودخانه و سکونتگاه‌های روستایی بررسی شد. بر اساس نتایج، دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ به‌عنوان سال‌هایی که جریان رودخانه در آنها خشک‌تر از بقیه سال‌ها بوده شناسایی و سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ نیز به‌عنوان سال‌های با جریان آب بیشتر شناسایی شدند. نتایج نشان داد در سال‌های خشک مقادیر NDWI و NDVI میل به مقادیر مثبت کوچک و در سال‌های تر میل به مقادیر منفی کوچکتر داشتند. همچنین سال‌های خشک دارای LST بیشتر بوده و مساحت بیشتری از کلاس‌های گرم دمایی را به خود اختصاص داده بودند. سال‌های خشک همچنین نسبت به سال‌های تر، دارای تعداد بیشتری از نقاط داغ نسبت به نقاط سرد بودند. نتایج حاصل از همبستگی بین پارامترها همچنین بیانگر ارتباط منفی بین LST با NDVI و NDWI در همه سال‌ها و ارتباط مثبت NDVI و NDWI در سال‌های خشک‌تر بود. همچنین همبستگی فاصله از رودخانه صرفاً در سال ۱۹۹۰ با LST مثبت و با NDWI منفی و در زیر ۱۰۰ متر معنادار بود. نتایج مطالعه حاضر به منزله زنگ خطری برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی و رودخانه‌های کشور مفید است.</p>

استناد: منصورمقدم، محمد؛ نقی‌پور، نگار؛ رضایی، مهرانگیز؛ روستا، ایمان. (۱۴۰۳). کمی‌سازی اثر خشکی زاینده رود بر تغییرات دمای سطح زمین و پوشش گیاهی مجاور آن طی ۳۳ سال اخیر با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۵ (۱۸)، ۳۰-۱.



مقدمه

منابع آبی ارتباط مستقیمی با سکونتگاه‌های انسانی داشته و در تاریخ بشر، اکثراً در مناطقی با منابع آبی فراوان استقرار پیدا کرده‌اند (Taloor et al., 2021). این منابع آبی، به ویژه منابع آب سطحی، در توسعه جوامع روستایی نقش بسزایی ایفا می‌کنند، زیرا تأثیر قابل توجهی در توسعه اقتصادی و به‌ویژه فعالیت‌های کشاورزی دارند. بنابراین، توجه به مناطق روستایی و تأمین خدمات و زیرساخت‌های لازم جهت توسعه پایدار و پویایی این مناطق، امری بسیار حیاتی و ضروری است (Salehian & Rahmani Fazli, 2018). به همین دلیل، تأمین زیرساخت‌های توسعه روستاها، به‌ویژه زیرساخت آب، نقش اساسی در رشد و توسعه روستاها خواهد داشت، زیرا در ساماندهی و پایداری سکونتگاه‌های روستایی نقش بسزایی ایفا می‌کند (Khorrambakht, 2016).

سنجش از دور یکی از بهترین روش‌ها برای مدیریت منابع آب از لحاظ زمان، راحتی و اثربخشی هزینه می‌باشد (Mansourmoghaddam, Ghafarian & Malamiri, et al., 2022). کشور ایران، با داشتن تعداد زیادی رودخانه، دریاچه و تالاب، به همراه بارش‌های متنوع در فصول مختلف سال، بین ۲۴ کشور دارای تنش و بحران آبی قرار دارد. اقلیم ایران عمدتاً گرم و خشک است. به دلیل این مسائل، نیاز به پایش و مدیریت منابع آبی از نظر کمی و کیفی در طول فصول مختلف و بررسی روند کاهش منابع آبی در کشور بسیار حیاتی است. همچنین، با توجه به وسعت کشور ایران، علم سنجش از دور در بحث منابع آبی کشور کمک بسیار مهمی خواهد بود (Hosseini hamid & Akbarinasab, 2016). در طول سالیان متمادی، سنجش از دور مبتنی بر پارامتر LST (دمای سطح زمین) به عنوان یک مؤلفه مهم در مطالعه فرآیندهای کشاورزی، تبخیر و تعرق، تغییرات آب و هوا، چرخه هیدرولوژیکی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، شاخص‌های گرمای محسوس و نهان، پایش پوشش گیاهی، اقلیم شهری، جزایر گرمایی شهری و مطالعات آتشفشانی استفاده می‌شود (Kumar et al., 2021; Rousta et al., 2021).

شاخص NDWI (شاخص آبی) (Rousta et al., 2021). برای نقشه برداری بدنه آبی بهترین شاخص است، زیرا بدنه‌های آبی قابلیت جذب قوی و تابش کم در محدوده طول موج مرئی تا مادون قرمز را دارند (McFeeters, 1996). این شاخص از نوارهای سبز و NIR تصاویر سنجش از دور بر اساس این پدیده استفاده می‌کند. استفاده از شاخص NDWI می‌تواند در بسیاری از موارد به بهبود اطلاعات آب کمک کند، با این حال، آن به زمین‌های ساخته شده حساس است و اغلب منجر به تخمین بیش از حد آب می‌شود (Sarkar et al., 2020).

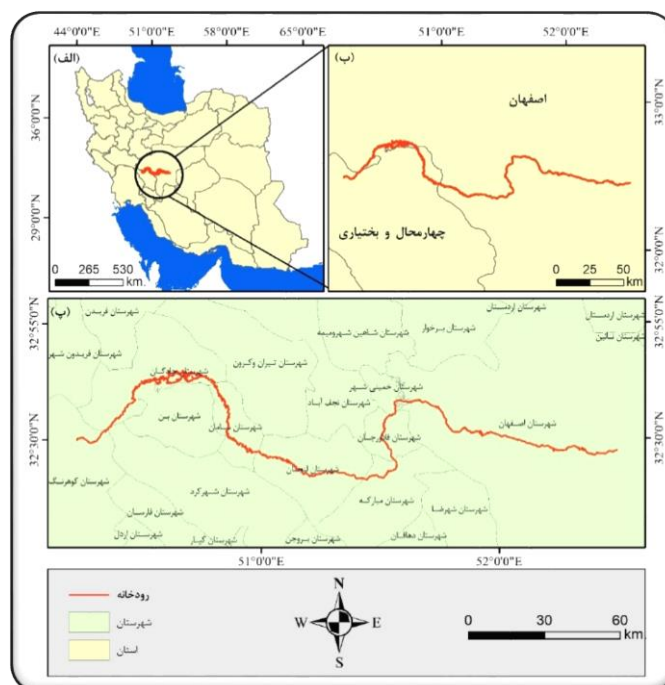
در یک پژوهش به عنوان تأثیر دمای سطح زمین بر کاربری‌ها که در سال ۲۰۲۰ در شهر هنگ کنگ انجام شد، از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های جغرافیایی و اقلیمی به عنوان روش پژوهش استفاده شد. نتایج نشان داد که دمای سطح زمین (LST) تحت تأثیر انواع کاربری اراضی و پوشش گیاهی قرار می‌گیرد. بر اساس این پژوهش، دمای سطح زمین با شاخص NDBI رابطه مثبت، اما با شاخص‌های NDVI و NDWI، سرعت باد و ارتفاع رابطه منفی دارد (Siqui & Yuhong, 2020). همچنین در پژوهشی با عنوان رابطه گسترش سکونتگاه‌های انسانی و ناپایداری منابع آب که در سال ۱۳۹۷ در حوزه آبریز زاینده رود انجام شد، تغییرات کاربری زمین از طریق تحلیل تصاویر ماهواره‌ای لندست در دو دوره زمانی سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۱۴ مورد بررسی قرار گرفت. محققان محدوده مورد مطالعه را به سه قسمت بالا، میانی و پایین دست تقسیم کردند و در قالب شش کاربری مختلف با هم مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که در طی دو دهه گذشته، کاربری ساخت و ساز و مسکونی در کل محدوده افزایش یافته است، در حالی که کاربری مرتع در کل محدوده کاهش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد که ناپایداری منابع آب در این منطقه رخ داده است (Rahmani Fazli & Salehian, 2018). با درک اهمیت پایش تغییرات آبی و اثرات آن بر محیط زیست و در نهایت انسان، پژوهش حاضر در صدد است تا تغییرات آبی رودخانه زاینده‌رود طی

تا 52° و 51° شرقی و عرض جغرافیایی 32° و 34° تا 32° و 37° شمالی واقع شده است. طول رودخانه زاینده رود ۴۲۰ کیلومتر می‌باشد که ۳۸۰ کیلومتر آن یعنی حدود ۹۰٫۴٪ مسیر رودخانه در استان اصفهان و ۴۰ کیلومتر آن در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است (Agricultural Trade Union of Isfahan, 2013). زاینده‌رود، بزرگ‌ترین و پرآب‌ترین رودخانه فلات مرکزی ایران است که از کوه‌های زاگرس مرکزی به ویژه زردکوه در استان چهارمحال و بختیاری سرچشمه گرفته و در دشت مرکزی ایران به سمت شرق پیش می‌رود تا در نهایت به جلگه تالاب گاوخونی می‌ریزد (Tabnak, 2018). زاینده رود چندین بار خشکی را تجربه کرده که نخستین مرتبه آن در سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۰ (Mehr, 2014) و پس از آن نیز در سال ۱۳۸۷ تا ۱۳۸۹ (Imna, 2011) بوده است و آب مجدداً در سال‌های ۱۳۹۲ (Tasnim, 2013)، ۱۳۹۷ در اثر رهاسازی آب از سد زاینده رود (Tasnim, 2018b)، ۱۴۰۱ (Imna, 2022) و ۱۴۰۲ (Imna, 2023) در آن جریان یافت.

سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ را بررسی کرده و ضمن آن تغییرات LST و NDVI را نیز در ارتباط با آن بارز کند. این پژوهش علاوه بر انتخاب بازه زمانی گسترده و در نتیجه بارزسازی تغییرات در گذر زمانی طولانی تا جدیدترین زمان ممکن، این مطالعه را در سه سطح (۱) حریم رودخانه، (۲) محیط اطراف رودخانه تا یک کیلومتر و (۳) سکونتگاه‌های روستایی موجود در این حریم بررسی کرده است. این سبب می‌شود تا تغییرات در سطوح مختلف پایش شده و اثرگذاری یا اثرپذیری هر یک در سطوح جداگانه بارزسازی شود. نتایج حاصل از مطالعه حاضر به مدیران و برنامه‌ریزان کمک می‌کند تا ضمن درک تغییرات محیطی ناشی از تغییر در سطح آب رودخانه‌ها، بتوان با دید موثرتری به برنامه‌ریزی در جهت بهره‌وری صحیح از این منابع آبی پرداخت.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه: رودخانه زاینده‌رود، بعنوان منطقه مورد مطالعه، بین طول جغرافیایی 50° و 22°



شکل ۱: نمای شماتیک رودخانه زاینده رود بعنوان منطقه مورد مطالعه در مقیاسکشور (الف)، استان‌ها (ب) و شهرستان‌های ایران (پ)

داده و روش‌شناسی: در پژوهش حاضر به‌منظور دریافت تصویر ماهواره‌ای لندست-۵ و لندست-۸، از وبسایت USGS ایالات متحده آمریکا (www.earthexplorer.usgs.gov) استفاده شد. با در نظر گرفتن ماهیت پژوهش مبنی بر بررسی

تغییرات LST، دوره مطالعه تابستان، بصورت میانگینی از ماه‌های ۰۷- جولای (تیرماه) ۰۸- آگوست (مردادماه) و ۰۹- سپتامبر (شهریور) انتخاب، تصاویر مربوطه دانلود و آماده شدند. مشخصات تصاویر مورد استفاده در این پژوهش، جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱: مشخصات تصاویر استفاده شده در پژوهش حاضر

ابرینگی (%)	بازه زمانی (میلادی)		قدرت تفکیک مکانی (متر)	باندهای مورد استفاده	ویژگی سنسور	
	سال	ماه			سنسور	ماهواره
<۵	۱۹۹۰		۳۰	۷، ۴، ۳، ۲	TM	لندست-۵
	۲۰۰۰			۶		
	۲۰۰۸	۰۷	۱۰۰		OLI	لندست-۸
	۲۰۱۳	۰۸	۳۰	۷، ۵، ۴، ۳		
	۲۰۱۸	۰۹				
	۲۰۲۲		۱۰۰	۱۰		
	۲۰۲۳					

در سه سطح (۱) حریم رودخانه زاینده رود شامل مساحتی برابر با ۶،۵۱۸ هکتار، (۲) ۱۲۰ هزار نمونه تصادفی با حداقل فاصله ۳۰ متر از مرکز هر پیکسل مجموعاً برابر با ۱۰،۸۰۰ هکتار از حریم یک کیلومتری اطراف رودخانه و (۳) ۴۷ سکونتگاه روستایی موجود در حریم یک کیلومتری رودخانه پرداخته است.

شاخص تفاضلی نرمال شده آب (NDWI): شاخص NDWI توسط McFeeters (۱۹۹۶) پیشنهاد شد و برای نمایش بازر ویژگی‌های پهنه‌های آبی در یک تصویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود؛ این شاخص تفکیک پهنه‌های آبی از خاک و پوشش گیاهی را ممکن می‌سازد (EOS, 2021). از آنجا که شاخص NDWI به طور موثر میزان رطوبت را اندازه‌گیری می‌کند، با استفاده از ترکیب دو باند GREEN-NIR^۴ (سبز مرئی و مادون قرمز نزدیک) محاسبه می‌شود که به آن امکان تشخیص تغییرات جزئی در محتوای آب پهنه‌های آبی را می‌دهد و امروزه نیز با همین کاربرد مورد استفاده قرار می‌گیرد (EOS, 2021). شاخص NDWI به شدت با محتوای آب گیاه مرتبط بوده و بدین ترتیب بنابراین می‌تواند

پیش پردازش و آماده‌سازی تصاویر: تصاویر اخذ شده از نظر هندسی، رادیومتریکی و اتمسفری، تنها پیش‌پردازش‌های رادیومتریکی و اتمسفری مورد نیاز بودند که این تصحیحات به‌منظور تبدیل مقدار رقومی تصاویر به بازتابش، توسط ابزار تصحیح رادیومتریکی^۱ و به‌منظور حذف اثر خطاهای اتمسفری توسط الگوریتم ۲QUAC (Module, 2009) در نرم‌افزار انوی^۳، پیش از شروع پردازش، صورت پذیرفت. سپس تصاویر به صورت میانگین تابستانی محاسبه شده و به منظور محاسبه شاخص‌های محیطی در مرحله بعد مورد استفاده قرار گرفتند.

روش پژوهش

مقیاس مطالعه (حریم رودخانه، حریم اطراف، سکونتگاه‌ها، تعداد نقاط و...): پژوهش حاضر به منظور مطالعه اثرات خشکی رودخانه زاینده رود بر دمای سطح زمین و پوشش گیاهی مناطق و سکونتگاه‌های روستایی اطراف آن، به بررسی تغییرات

^۱ Radiometric Correction

^۲ Quick Atmospheric Correction

^۳ ENVI

^۴ Near-Infrared

است. پس از محاسبه دمای روشنایی بالای اتمسفر، با کسر تصویر از عدد ۲۷۳٫۱۵، واحد دمایی را از کلونین به سانتی‌گراد تبدیل شده و در نهایت LST از رابطه (۴) زیر به دست می‌آید (Avdan & Jovanovska, 2016; Mansourmoghaddam et al., 2021; Ziaul & Pal, 2016).

$$LST = \tau / [1 + (\lambda * \frac{\tau}{c2}) * \ln(e)], \quad (4)$$

که τ دمای روشنایی بالای اتمسفر، λ طول موج باند حرارتی ($10.9 \mu\text{m}$ برای باند ۱۰ لندست-۸)، $c2$ عدد ثابت $14388 \mu\text{m}$ می‌باشد. همچنین به منظور محاسبه گسیلمندی، از رابطه (۵) استفاده می‌گردد که در آن، PV به شرح رابطه (۶) می‌باشد (Avdan & Jovanovska, 2016; Dos Santos et al., 2017; Mansourmoghaddam, Rousta, Cabral, et al., 2023; Ziaul & Pal, 2016).

$$e = 0.004 * PV + 0.986, \quad (5)$$

$$PV = ((NDVI - NDVI_{min}) / (NDVI_{max} - NDVI_{min}))^2, \quad (6)$$

که در آن NDVI شاخص تفاضلی نرمال شده پوشش گیاهی است که در معادله (۷) توضیح داده شده است و $NDVI_{min}$ و $NDVI_{max}$ به ترتیب بیشینه و کمینه آن می‌باشند.

شاخص تفاضلی نرمال شده گیاهی (NDVI):

شاخص پوشش گیاهی شاخصی است که سبزی (تراکم نسبی و سلامت پوشش گیاهی) را برای هر پیکسل تصویر در یک تصویر ماهواره‌ای توصیف می‌کند. یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی، شاخص NDVI است که مقادیر آن از 1.0 تا -1.0 متغیر است (Brown, 2018). سطوحی همچون سنگ لخت، ماسه یا برف معمولاً مقادیر بسیار پایین NDVI (0.1 یا کمتر) را نشان می‌دهند، درحالی‌که پوشش گیاهی کم، نظیر درختچه‌ها و علفزارها یا گیاهان در حال پیری ممکن است با مقادیر متوسط NDVI (تقریباً 0.2 تا 0.5) مشخص شود. مقادیر بالای NDVI (تقریباً 0.6 تا 0.9) نیز بیانگر به پوشش گیاهی متراکم مانند آنچه در جنگل‌های معتدل و گرمسیری یا محصولات در مرحله اوج رشد یافت می‌شود، است (Brown, 2018). شاخص NDVI می‌تواند معیار تقریبی از نوع، مقدار و شرایط

بیانگر بسیار خوبی از تنش آبی گیاهان باشد (IES, 2011). این شاخص با بهره‌گیری از باندهای طیفی مادون قرمز نزدیک و سبز، قادر است آب را در یک تصویر ماهواره‌ای بارز کند (معادله ۱).

$$NDWI = \frac{Green - NIR}{Green + NIR} \quad (1)$$

که در آن $Green$ بیانگر باند سبز در محدوده مرئی (باند ۲ ام در لندست-۵ و باند ۳ ام در لندست-۸) و NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند ۴ لندست-۵ و باند ۵ لندست-۸) است.

دمای سطح زمین: جهت محاسبه LST، ابتدا تصویر باند ۱۰ (حرارتی) لندست-۸ از حالت خام (raw data) به صورت رادیانس طیفی تبدیل شد (به دلیل وجود عدم قطعیت در دیگر باند حرارتی (باند ۱۱) لندست (USGS, 2014)، این باند در محاسبات آورده نشد) (رابطه ۲) (LANDSAT 8 data users handbook, 2015; Mansourmoghaddam, Rousta, Zamani, et al., 2023).

$$L_{\phi} = M_L * Q_{cal} + A_L, \quad (2)$$

که L_{ϕ} بیانگر تابش طیفی بالای اتمسفر (وات بر متر مربع بر استر رادیان)، M_L بیانگر ضریب هم‌مقیاس‌سازی باندها بر اساس متادیتای تصویر، Q_{cal} مقادیر پیکسل کالیبره شده (عدد رقمی) در محصول ۱ استاندارد و A_L فاکتور هم‌مقیاس‌سازی افزایشی بر اساس باندهای مشخص شده در متادیتای تصویر است. سپس دمای روشنایی سنجنده از طریق رابطه زیر به دست می‌آید (رابطه ۳). (Avdan & Jovanovska, 2016; Mansourmoghaddam, Rousta, et al., 2022; Ziaul & Pal, 2016).

$$\tau = \left[\frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{\phi}} + 1\right)} \right], \quad (3)$$

که در آن، τ دمای روشنایی بالای اتمسفر به کلونین، L_{ϕ} تابش بالای اتمسفری (وات بر متر مربع بر استر رادیان)، K_1 و K_2 ضرایب ثابت کالیبراسیون باند حرارتی است که برای سنجنده TIRS لندست-۸ بر اساس متادیتای تصویر، به ترتیب 774.8 و 1321.0

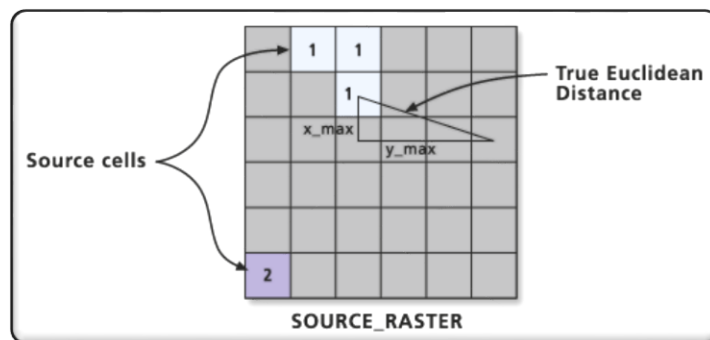
که در آن، R باند قرمز (باند ۳ ام لندست-۵ و باند ۴ ام لندست-۸) است.

فاصله اقلیدسی: در پژوهش حاضر، فاصله تا رودخانه با استفاده از فاصله اقلیدسی برای هر پیکسل از منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. به منظور افزایش دقت، فاصله اقلیدسی بین مرکز هر پیکسل و مرکز پیکسل مبدا بر اساس فاصله اقلیدسی واقعی تعیین شد. بدین ترتیب X_{max} و Y_{max} به عنوان دو پایه دیگر مثلث محاسبه شده و در نهایت وتر برای هر سلول محاسبه می شود تا فاصله آن تا هر پیکسل مبدا مشخص شود (شکل ۲). در این روش که نحوه مفهومی عملکرد الگوریتم اقلیدسی است، به جای فاصله سلول، فاصله اقلیدسی واقعی از طریق این محاسبه تعیین می شود (Esri, 2021). این مقادیر سپس به شش کلاس (۱ کمتر از ۱۰۰ متر، ۲ ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، ۳ ۲۰۰ تا ۳۰۰ متر، ۴ ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر، ۵ ۴۰۰ تا ۵۰۰ متر و ۶ بزرگتر از ۵۰۰ متر تفکیک شدند تا نقش یا اثرگذاری رنج مقادیر فاصله بر پارامترها نیز مشخص شود.

پوشش گیاهی را در سطح زمین ارائه کند. NDVI به ویژه برای نظارت بر پوشش گیاهی در مقیاس قاره ای تا جهانی مفید است زیرا می تواند شرایط تغییر نور، شیب سطح و زاویه دید را جبران کند. مقادیر NDVI را می توان در طول زمان برای ایجاد شرایط رشد "نرمال" در یک منطقه برای یک زمان معین از سال میانگین کرد. سپس تجزیه و تحلیل آن می تواند سلامت پوشش گیاهی در آن مکان را مشخص کند. زمانی که NDVI در طول زمان مورد تجزیه و تحلیل قرار بگیرد، می تواند نشان دهد که پوشش گیاهی کجا رشد می کند و کجا تحت استرس است، همچنین تغییرات در پوشش گیاهی به دلیل فعالیت های انسانی مانند جنگل زدایی، اختلالات طبیعی مانند آتش سوزی های وحشی یا تغییرات در مرحله فنولوژی گیاهان نیز از طریق این شاخص قابل اندازه گیری است (Brown, 2018). این شاخص از طریق نسبت بین دو باند قرمز (R) و مادون قرمز (NIR) نزدیک محاسبه می شود (Avdan & Jovanovska, 2016; Li et al., 2017; Mansourmoghaddam, Naghipur, et al., 2023).

(رابطه ۷):

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (7)$$



شکل ۲: روش استفاده شده برای محاسبه فاصله اقلیدوسی واقعی (Mansourmoghaddam Rousta, et al., 2022)

پایین (نقاط سرد ۳) در مقیاس محلی استفاده می شود. معیار شناسایی یک نقطه داغ یا نقطه خنک از نظر آماری این است که یک فیچر/منطقه باید بالاترین یا کمترین مقدار را داشته باشد، در حالی که توسط سایر فیچرها/مناطق با مقادیر مشابه احاطه شده

هات اسپات (Hot Spot): آماره G_i^* در تحلیل هات-اسپات، روشی است که برای شناسایی خوشه های فضایی معنی دار آماری مقادیر LST بالا (نقاط داغ ۲) و

۲ Cold Spot

۱ Getis-Ord G_i^*

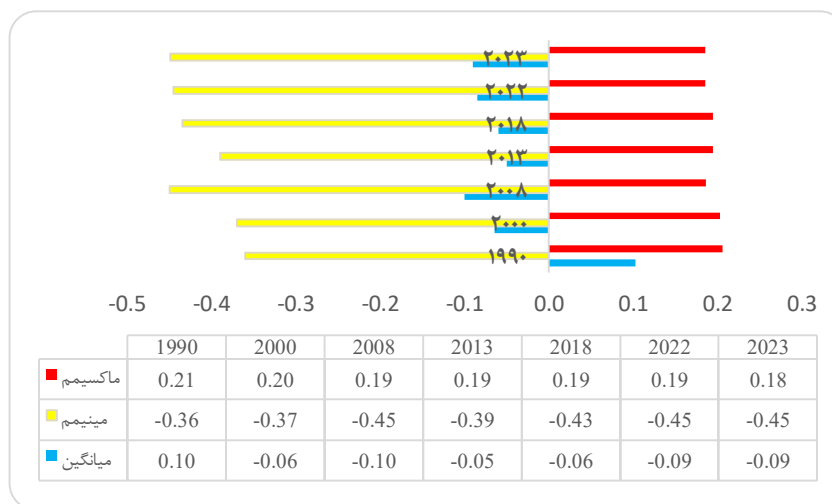
۲ Hot Spot

آمده از آن، بیشینه این شاخص در تمام دوره‌ها از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ کاهش داشته است. این کاهش اما در سال‌های ۲۰۰۸، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ بیشتر از قبل و تا مقدار ۰/۱۹ یکسان بوده و در سال ۲۰۲۳ به بیشترین مقدار کاهش یعنی ۰/۱۸ رسیده است. کمینه این شاخص نیز نوسان متفاوتی را تجربه کرده است بدین صورت که نسبت به ۰/۳۶- در سال ۱۹۹۰، در سال ۲۰۰۰، فاصله بیشتری از صفر را تجربه کرده و تا ۰/۳۷- رسیده است. سپس با یک افزایش فاصله شدیدتر در سال ۲۰۰۸ به ۰/۴۵- رسیده و با یک افزایش در سال ۲۰۱۳ به ۰/۳۹- و در روند کاهشی مجدداً در سال ۲۰۱۸ به ۰/۴۳- رسیده است. این مقدار مجدداً در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ به ۰/۴۵- کاهش پیدا کرده است. میانگین NDWI اما بطور واضح بیانگر کاهش این مقدار از ۰/۱ در سال ۱۹۹۰ تا شدیدترین میزان کاهش خود یعنی ۰/۱- در سال ۲۰۰۸ بوده است. این مقدار سپس با یک افزایش قابل توجه در سال ۲۰۱۳ به ۰/۰۵- و در سال ۲۰۱۸ به ۰/۰۶- رسیده و مجدداً در سال ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ با ۰/۰۹-، به فاصله بیشتر خود از ۰ بازگشته است (شکل ۳). نقشه شاخص NDWI در محدوده مورد مطالعه برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ در شکل ۴ قابل مشاهده است. مقادیر این شاخص، مبنای استخراج اطلاعات بعدی در سطوح مختلف مطالعه شده می‌باشد.

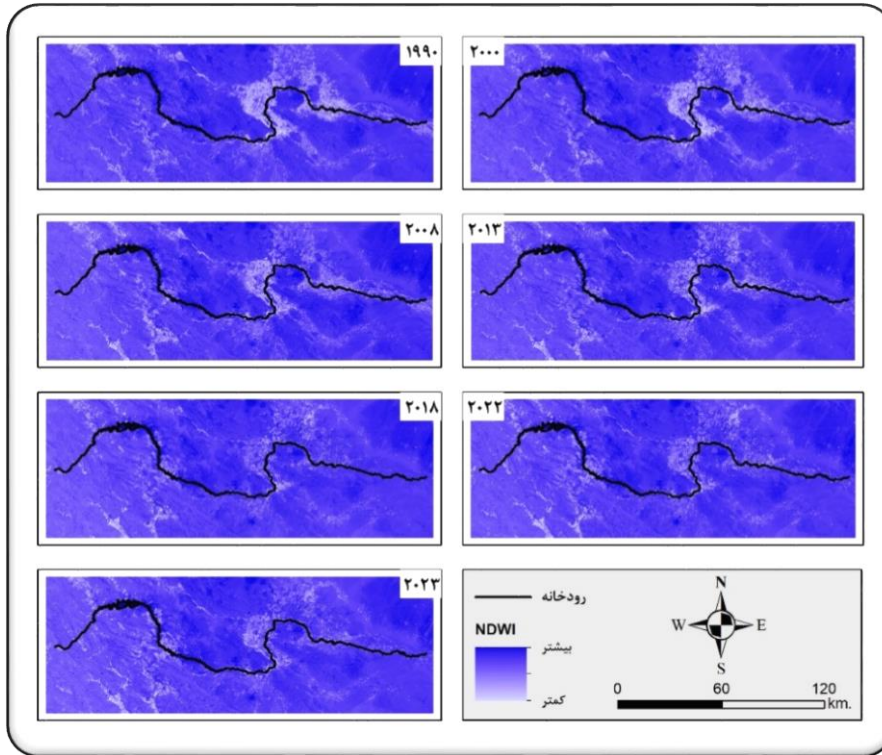
باشد (Ord & Getis, 1995). در آماره G-i-star، به ازای هر فیچر، از طریق تجزیه و تحلیل نقطه داغ محاسبه می‌شود. در این تحلیل، هر مشخصه از یک فیچر، در ارتباط با فیچرهای نزدیک آن بررسی می‌شود. حتی یک ویژگی با ارزش بالا ممکن است از نظر آماری نقطه داغ مهمی نباشد. یک ویژگی باید ارزش بالایی داشته باشد و نیز باید توسط ویژگی‌های دیگری که دارای مقادیر بالایی هستند احاطه شود تا از نظر آماری یک نقطه داغ مهم باشد. زمانی که مجموع مقدار محلی یک فیچر و همسایگان آن از مجموع مقدار محلی پیش‌بینی شده به‌طور قابل توجهی انحراف داشته باشد، یک امتیاز z آماری معنی‌دار ایجاد می‌شود که شانس تصادفی بودن آن بسیار پایین است (esri, 2022; Mansourmoghaddam, Naghipur, et al., 2023).

یافته‌ها

ارزیابی تغییرات در سطح حریم رودخانه: پژوهش حاضر با هدف ارزیابی تغییرات LST و پوشش گیاهی در ارتباط با خشکی زاینده‌رود در سکونتگاه‌ها و مناطق پیرامون آن انجام شده است. شاخص NDWI که به منظور مطالعه تغییرات رخ داده در پهنه‌های آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد، به منظور ارزیابی تغییرات خشکی رودخانه در طول زمان برای دوره‌های زمانی ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ محاسبه و مورد استفاده گرفت. بر اساس نتایج به‌دست



شکل ۳: تغییرات مقادیر شاخص نرمال شده تفاضلی آب (NDWI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود



شکل ۴: نقشه شاخص نرمال شده تفاضلی آب (NDWI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود

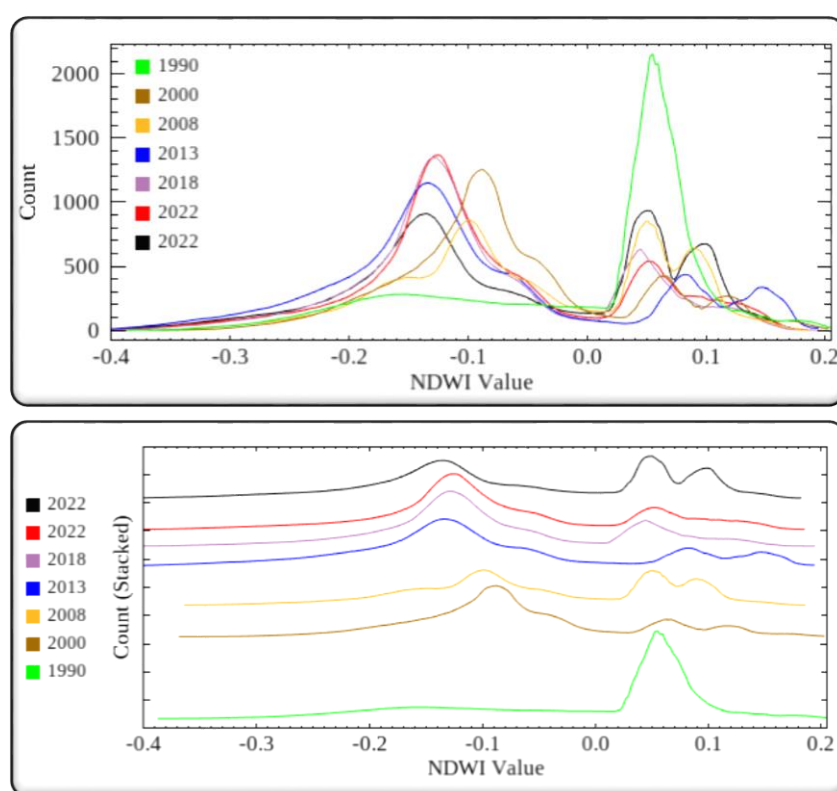
اختصاص داده است. این کلاس در سال بعد، ۲۰۱۸ یک افزایش به ۴۹۲۶/۵۱ هکتار و سپس تا ۲۰۲۳ روند کاهشی از خود نشان داده است که در نهایت در سال ۲۰۲۳ به ۳۸۵۵/۱۵ هکتار رسیده است. کلاس مقادیر کمتر از ۰/۳- نیز بیشترین مساحت خود را به ترتیب در ۲۰۱۳، ۲۰۲۳، ۲۰۲۲ و ۲۰۱۸ داشته است. این کلاس کمترین مقادیر را نیز به ترتیب در سه سال ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۱۹۹۰ به خود اختصاص داده است (جدول ۲).

هیستوگرام مقادیر NDWI همچنین در شکل ۵ به تفکیک هر سال قابل مشاهده است. در این هیستوگرام بطور واضح شیفت قله مقادیر NDWI از مقادیر بزرگ‌تر در سال ۱۹۹۰ به سمت مقادیر کوچک‌تر در گذر زمان تا سال ۲۰۲۳ قابل مشاهده است.

ارزیابی مساحت کلاس‌های مقادیر شاخص NDWI به‌طور واضح بیانگر آن است که مساحت کلاس مقادیر بیش از ۰/۲ NDWI پس از دوره ۲۰۰۰ به صفر رسیده و این کلاس فقط در دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ وجود داشته است. کلاس مقادیر بین ۰-۰/۲ بیشترین مساحت خود را در ۱۹۹۰ داشته است و سپس با کاهش در ۲۰۰۰ به ۱۴۰۶/۸۸ هکتار و مجدداً به ۱۳۶۵ هکتار در سال ۲۰۰۸ همراه بوده است. این کلاس مجدداً در سال ۲۰۱۳ به ۲۰۴۸۶ هکتار افزایش داشته و پس از آن تا سال ۲۰۲۳ نیز روند افزایشی نسبی را طی کرده و در ۲۰۲۳ به ۲۵۰۳/۲۶ هکتار رسیده است. در مقابل، کلاس ۰- -۰/۳ در سال ۱۹۹۰ با ۲۲۱۰/۳۱ هکتار کمترین، در سال ۲۰۰۸ با ۵۱۱۵/۸ هکتار بیشترین و در ۲۰۱۳ در روند کاهشی، ۳۸۱۷/۸ هکتار مساحت را به خود

جدول ۲: مساحت کلاس‌های مقادیر شاخص نرمال شده تفاضلی آب (NDWI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود (هکتار)

NDWI	< -0.3	-0.3 - 0	0 - 0.2	> 0.2
1990	41.31	2210.31	4265.91	0.45
2000	12.69	5098.05	1406.88	0.45
2008	37.35	5115.8	1365.03	0
2013	214.29	3817.8	2486.07	0
2018	106.11	4926.51	1485.45	0
2022	131.94	4875.21	1510.92	0
2023	159.66	3855.15	2503.26	0



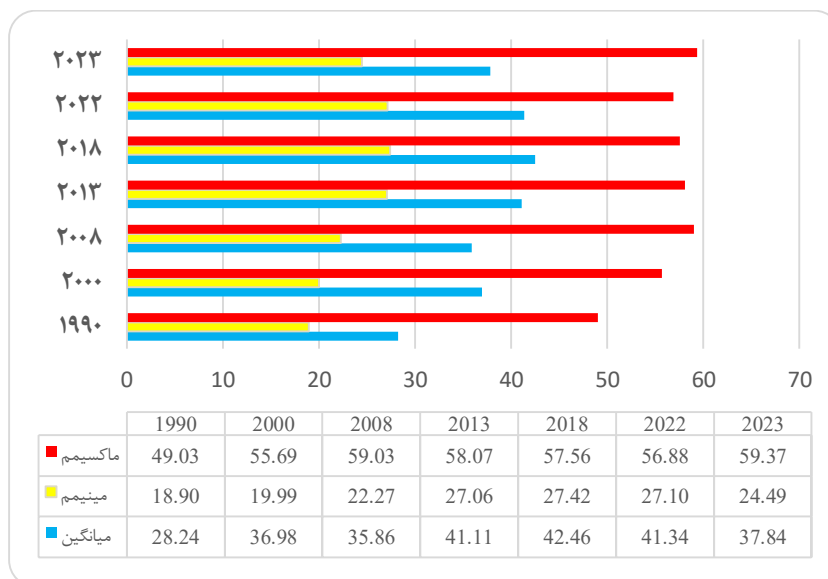
شکل ۵: هیستوگرام نرمال (بالا) و انباشه (پایین) مقادیر شاخص نرمال شده تفاضلی آب (NDWI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود

بطوریکه در سال ۲۰۲۲ به ۵۶/۸۸ درجه سانتی‌گراد رسیده است. بیشینه LST سپس در سال ۲۰۲۳ به ۵۹/۳۷ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. کمینه LST همواره در گذر زمان از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ افزایشی بوده و در این بین از ۱۸/۹ درجه به ۲۷/۴۲ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. این مقدار در سال ۲۰۲۲ با کمی کاهش به ۲۷/۱ درجه و در سال

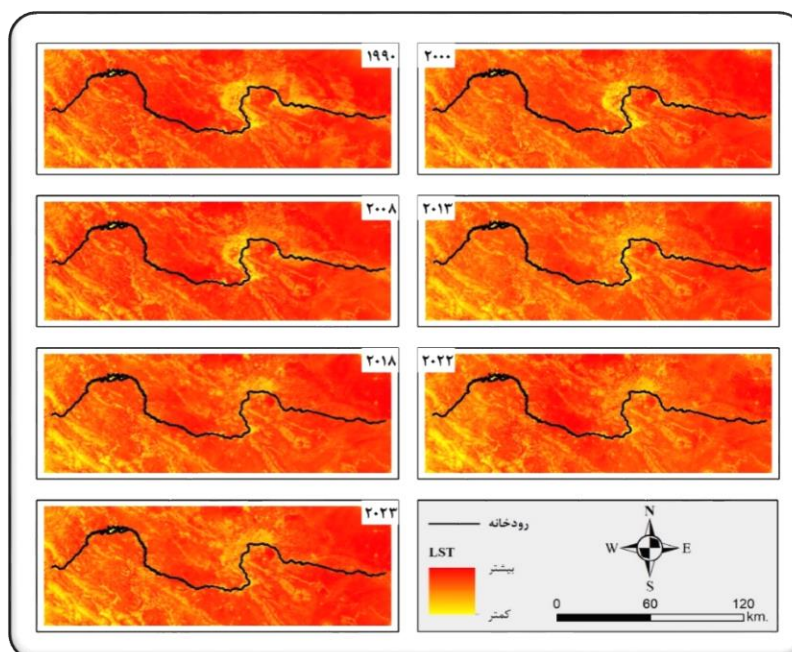
بررسی تغییرات LST در سطح حریم رودخانه زاینده‌رود بیانگر روند افزایشی بیشینه LST بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ بوده است. بطوریکه این مقدار از ۴۹/۰۳ درجه سانتی‌گراد در ۱۹۹۰ به ۵۹/۰۳ درجه سانتی‌گراد در ۲۰۰۸ رسیده است. پس از آن در سال ۲۰۱۳ با یک کاهش، به ۵۷/۵۶ درجه سانتی‌گراد رسیده و روند نزولی را تا سال ۲۰۲۲ ادامه داده است

افزایشی خود را تا ۲۰۱۸ به ۴۲/۴۶ درجه سانتی‌گراد که حداکثر آن در بین همه دوره‌ها بوده است ادامه داده است. پس از آن در سال ۲۰۲۲ این مقدار مجددا کاهش یافته و این کاهش تا دوره بعد، یعنی ۲۰۲۳ نیز ادامه یافته و میانگین LST در نهایت به ۳۷/۸۴ درجه سانتی‌گراد در سال ۲۰۲۳ ختم شده است (شکل ۶).

۲۰۲۳ نیز به ۲۴/۴۹ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. مقدار میانگین LST اما در گذر زمان روند نامنظم و نوسان‌داری را طی کرده است. بطوریکه حداقل این مقدار در سال ۱۹۹۰ بوده و در سال ۲۰۰۰ با افزایش به ۳۶/۹۸ درجه سانتی‌گراد همراه بوده است. سپس این مقدار در سال ۲۰۰۸ به ۳۵/۸۶ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته و پس از آن روند



شکل ۶: تغییرات مقادیر دمای سطح زمین (LST) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود



شکل ۷: نقشه مقادیر دمای سطح زمین (LST) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود

مساحت از کلاس ۲۰-۴۰ درجه سانتی‌گراد را از آن خود کرده و سال ۲۰۰۸ پس از آنها قرار گرفته است با این حال افت مساحت این کلاس در سال ۲۰۰۸ محسوس است. نکته قابل توجه، بیشتر بودن مساحت این کلاس در سال ۲۰۱۳ نسبت به دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ علی‌رغم نزدیک بودن مساحت این کلاس در هر سه سال و کاهش نرم آن نسبت به ۲۰۰۸ است. در طرف مقابل اما کلاس ۴۰-۵۵ درجه سانتی‌گراد کمترین مساحت را در ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۳ داشته و بیشترین مساحت را نیز به ترتیب در سه سال ۲۰۲۲، ۲۰۱۸ و ۲۰۱۳ به ثبت رسانده است (جدول ۳).

نقشه مقادیر LST برای هر سال در محدوده مورد مطالعه در شکل ۷ نمایش داده شده است. مقادیر این شکل، مبنای استخراج اطلاعات بعدی در سطوح مختلف مطالعه شده می‌باشد.

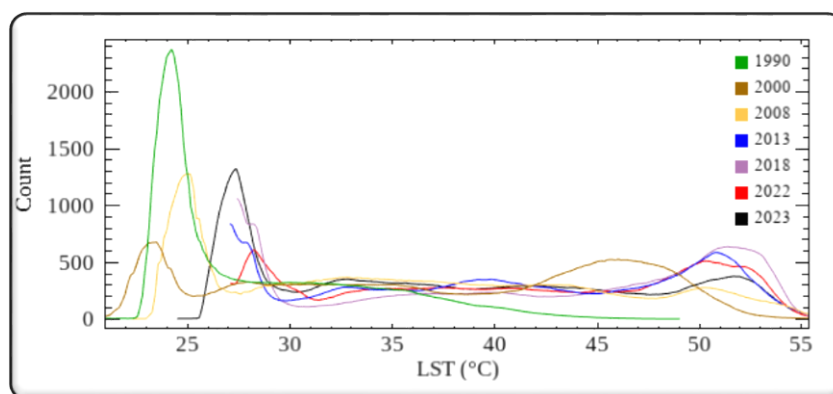
مقایسه مساحت کلاس‌های مقادیر دمای سطح زمین بیانگر آن است که بجز در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰، در هیچیک از سال‌های دیگر کلاس دمایی زیر ۲۰ درجه سانتی‌گراد وجود نداشته و در ۲۰۰۰ نیز این مقدار بسیار ناچیز و در حداقل خود قرار گرفته است. از طرف دیگر، بجز در سال ۱۹۹۰ هیچیک از سال‌ها فاقد کلاس دمایی بالای ۵۵ درجه سانتی‌گراد نبوده‌اند. سه سال ۱۹۹۰، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۳ به ترتیب بزرگ‌ترین

جدول ۳: مساحت کلاس‌های مقادیر دمای سطح زمین (LST) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود (هکتار)

LST	< 20	20-40	40-55	>55
1990	1.26	6319.4	197.28	0
2000	0.09	3645.3	2871.18	1.53
2008	0	3306.1	3187.72	23.49
2013	0	2962.1	3524.58	31.41
2018	0	2923.8	3569.63	24.66
2022	0	2906.7	3594.24	17.1
2023	0	3887.1	2616.84	14.13

مقادیر بزرگ‌تر در گذر زمان از سال ۱۹۹۰ به ۲۰۲۳ می‌باشد (شکل ۸).

هیستوگرام مقادیر LST بر روی حریم رودخانه زاینده رود همچنین بیانگر شیفت مقادیر دمایی به سمت



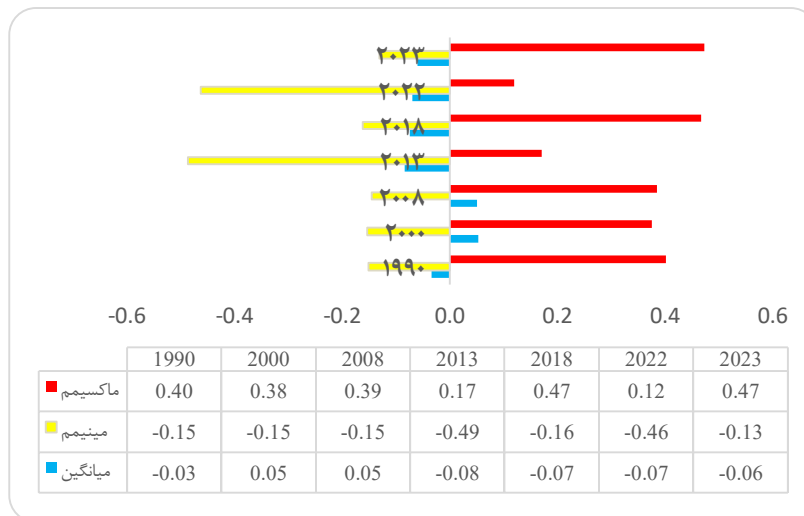
شکل ۸: هیستوگرام مقادیر دمای سطح زمین (LST) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود

شاخص از ۱۹۹۰ با مقدار ۰/۴ تا ۲۰۱۳ با مقدار ۰/۱۷ بوده است. این مقدار سپس در سال ۲۰۱۸ با افزایش

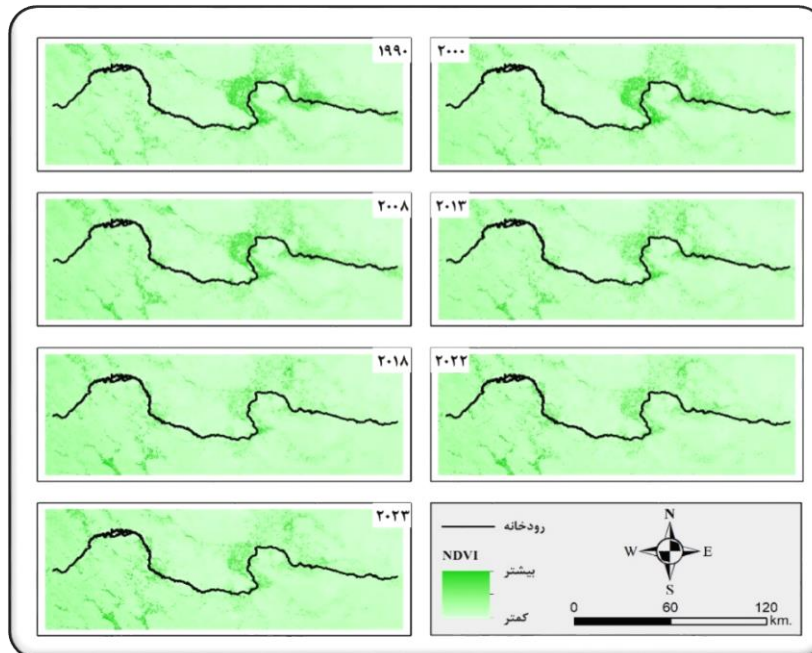
نتایج حاصل از ارزیابی شاخص NDVI در حریم رودخانه زاینده رود بیانگر کاهش تدریجی بیشینه این

رسیده و سپس با یک افزایش جزئی در هر دو دوره بعد، یعنی سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ با ۰/۰۷- ثابت مانده است. این مقدار مجدداً با مقدار اندکی افزایش به ۰/۰۶- در ۲۰۲۳ رسیده است (شکل ۹). نقشه مقادیر NDVI برای محدوده مورد مطالعه به ازای هر سال در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. مقادیر این شکل، مبنای استخراج اطلاعات بعدی در سطوح مختلف مطالعه شده می‌باشد.

به ۰/۴۷ همراه بوده و سپس با یک کاهش در ۲۰۲۲ و افزایش مجدد در ۲۰۲۳ به همین میزان باز می‌گردد. کمینه NDVI اما در طول دوره زمانی بجز در دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ که به کمتر از ۰/۴- رسیده بودند تقریباً یکسان و حول محور ۰/۱۴- اندازه‌گیری شده است. میانگین NDVI در این محدوده، از ۱۹۹۰ با ۰/۰۳- بطور افزایشی تا ۲۰۰۸ با ۰/۰۵- ثبت شده است اما سپس در یک روند کاهشی به ۰/۰۸- در ۲۰۱۳



شکل ۹: تغییرات مقادیر شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود



شکل ۱۰: نقشه مقادیر شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود

است. در حالیکه این کلاس در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ کمترین مساحت‌ها را از آن خود کرده است. دو کلاس ۰/۳ - ۰/۲ و بزرگ‌تر از ۰/۳ با الگوی مشترکی ظاهر شده‌اند؛ بدین ترتیب که هر دو کلاس هیچ مساحتی را در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ از آن خود نکرده بودند، از طرف دیگر هر دو کلاس در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ بیشترین مساحت را برگرفته‌اند. این دو کلاس همچنین حداقل مساحت را (بدون در نظر گرفتن دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲) در ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ از خود نشان داده‌اند (جدول ۴).

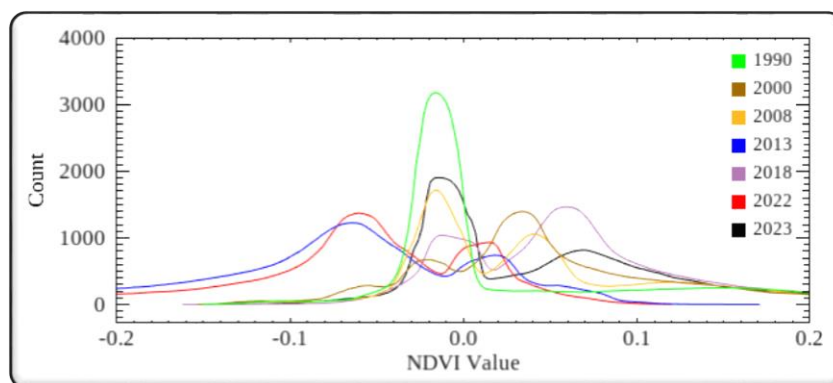
ارزیابی مساحت مقادیر NDVI در حریم رودخانه زاینده‌رود حاکی از تعلق حداکثر مساحت کلاس کمتر از ۰ به دو سال ۱۹۹۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ با به ترتیب ۴۲۳۷/۳، ۵۱۶۲/۱ و ۵۰۳۱/۵ هکتار بوده است. حداقل مساحت مقادیر این کلاس نیز در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ با به ترتیب ۱۴۷۰/۲ و ۲۴۹۴/۹ هکتار مشاهده می‌شود. این کلاس همچنین در سال‌های ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ با به ترتیب ۳۴۰۴/۱ و ۲۵۱۷/۵ هکتار مساحت بالایی را از خود نشان داده‌اند. کلاس مقادیر ۰/۱ - ۰ اما در روندی معکوس، حداکثر مساحت خود را در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۳ نشان داده

جدول ۴: مساحت کلاس‌های مقادیر شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود (هکتار)

NDVI	<0	0-0/1	0/2-0/3	>0/3
1990	4237.3	1812.5	410.4	57.78
2000	1470.2	4706.6	321.48	19.8
2008	2494.9	3590	380.79	51.57
2013	5162.1	1355.9	0	0
2018	3404.1	2576.1	413.1	124.8
2022	5031.5	1486.5	0	0
2023	2517.5	3334.6	468.54	197.5

سمت مقادیر منفی از طرف دیگر به علاوه پیک سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ در مقادیر کوچک و مثبت NDVI را نشان می‌دهد (شکل ۱۱).

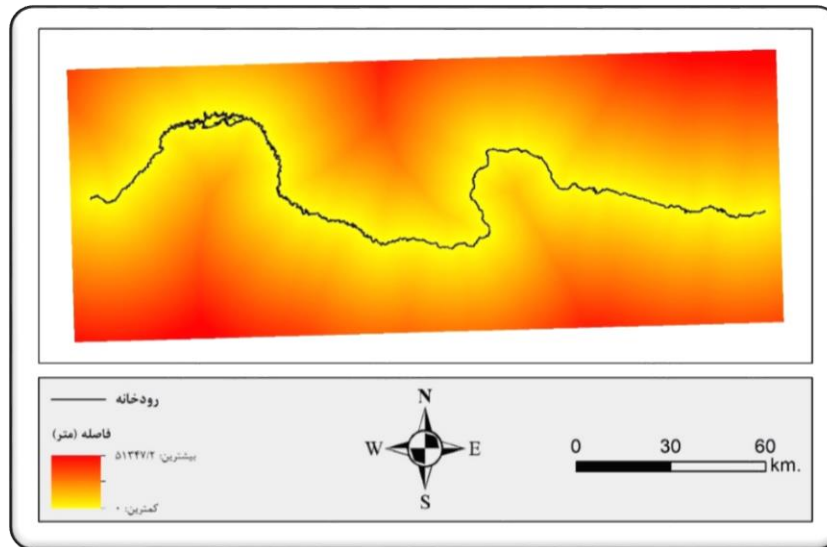
هیستوگرام مقادیر NDVI همچنین بطور واضح کاهش قله مقادیر مربوط به کوچک‌تر از صفر از یک طرف و شیفت مقادیر سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۲ به



شکل ۱۱: هیستوگرام مقادیر شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ بر روی حریم رودخانه زاینده‌رود

ارزیابی تغییرات در سطح حریم یک کیلومتری اطراف رودخانه: نقشه فاصله از رودخانه زاینده رود با هدف ارزیابی اثر فاصله بر روی مقادیر LST, NDWI

و NDVI و ارتباط آن‌ها محاسبه شد (شکل ۱۲). بر اساس این نقشه، بیشترین فاصله اندازه‌گیری شده در ۵۱/۳۵ کیلومتری رودخانه قرار دارد.



شکل ۱۲: نقشه فاصله از رودخانه زاینده رود (رنگ قرمز بیانگر دورترین و رنگ زرد بیانگر نزدیک‌ترین فاصله است)

نتایج حاصل از بررسی تغییرات مقادیر LST بیانگر افزایش مداوم میانگین LST در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۰۸ از ۴۵/۲۲ تا ۴۸/۸۹ درجه سانتی‌گراد بوده است. این مقدار سپس در سال ۲۰۱۳ با کمی کاهش به ۴۸/۵۹ رسید و پس از آن تا سال ۲۰۲۳ روند کاهشی را تجربه کرده است تا در نهایت، به ۴۸/۳۷ درجه سانتی‌گراد رسیده است. با این حال، اکثریت مقادیر LST در سال ۱۹۹۰، ۴۹ درجه سانتی‌گراد و در سال ۲۰۲۲، ۵۴ درجه سانتی‌گراد بوده است (جدول ۵). حائز توجه آنکه ۱۰/۹۸ هکتار از مساحت حریم یک کیلومتر اطراف رودخانه بطور مداوم از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ افزایش و تنها ۱/۱۷ هکتار بطور مداوم کاهش LST را تجربه کرده‌اند. بررسی تغییرات NDWI همچنین نشان دهنده آن است که سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ دارای میانگین NDWI مثبت و کوچک و در سایر سال‌ها این مقدار منفی و کوچک بوده است. در همین ارتباط، ۵۷/۸۷ هکتار از حریم یک کیلومتری اطراف رودخانه بطور مداوم از ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ کاهش و تنها ۷/۷۴ هکتار افزایش

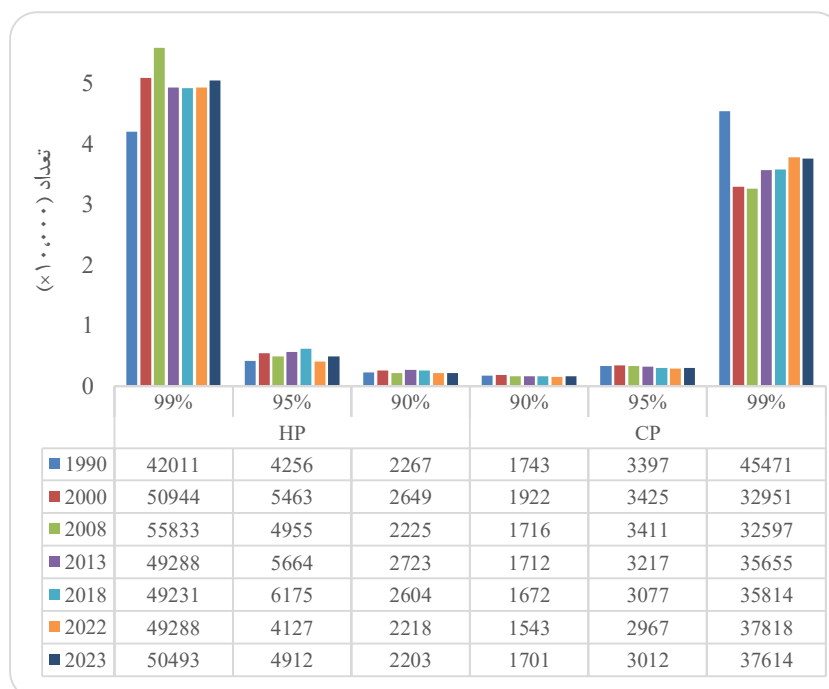
NDWI را در بازه زمانی مشابه تجربه کرده‌اند. همچنین در بررسی تغییرات NDVI در این محدوده، تغییرات کمینه NDVI حائز اهمیت است بطوریکه کمینه آن در سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ مقادیر منفی بزرگ‌تری را از خود نشان داده و میانگین آن‌ها نیز منفی است (جدول ۵). نتایج حاصل از محاسبات هات-اسپات در ارتباط با LST بر روی حریم رودخانه همچنین بیانگر تغییرات بیشتر در مقادیر نقاط داغ و نقاط سرد در سطح اطمینان ۹۹٪ بوده است (شکل ۱۳). بدین ترتیب که در نقاط داغ با اطمینان ۹۹٪، سال ۱۹۹۰ با ۴۲،۰۱۱ نقطه داغ کمترین و ۲۰۰۸ با ۵۵،۸۳۳ نقطه بیشترین نقاط داغ را از آن خود کرده بودند. سال ۲۰۰۰ نیز با ۵۰،۹۴۴ نقطه در جایگاه دوم مالکیت تعداد نقاط داغ در سطح اطمینان ۹۹٪ قرار گرفته است. سه سال ۲۰۱۳، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ نیز مقادیر نزدیک به همی از نقاط داغ در سطح اطمینان ۹۹٪ را به ثبت رسانیده‌اند. در طرف مقابل، نقاط سرد با اطمینان ۹۹ درصد بیشترین تعداد خود را با ۴۵،۴۷۱ نقطه در سال

نقشه توزیع نقاط داغ و نقاط سرد در تحلیل هات-اسپات برای محدوده یک کیلومتری حریم رودخانه زاینده رود به تفکیک هر سال در نمایش داده شده است (شکل ۱۴).

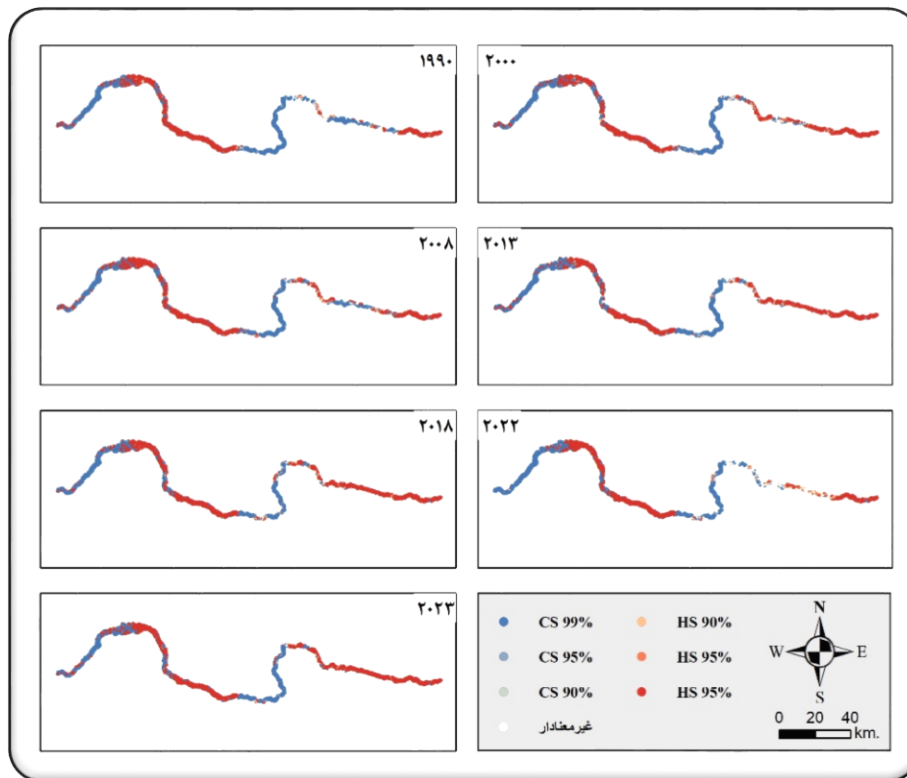
۱۹۹۰ و کمترین مقدار خود را در ۲۰۰۸ و ۲۰۰۰ با به ترتیب ۳۲،۵۹۷ و ۳۲،۹۵۱ نقطه ثبت کرده است. این نقاط سرد همچنین در زوج سال‌های ۲۰۱۳-۲۰۱۸ و ۲۰۲۲-۲۰۲۳ الگوی مشابه و مقادیر نزدیک به هم را به ثبت رسانده است (شکل ۱۳). همچنین

جدول ۵: تغییرات مقادیر دمای سطح زمین (LST)، شاخص نرمال شده تفاضلی آب (NDWI) و شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ در حریم یک کیلومتری رودخانه زاینده‌رود

شاخص	آماره	1990	2000	2008	2013	2018	2022	2023
LST	بیشینه	57.44	58.33	59.50	62.65	60.42	61.12	60.32
	کمینه	23.98	24.58	19.27	28.42	29.84	27.32	29.35
	میانگین	45.22	46.69	48.89	48.59	49.63	49.04	48.37
	اکثریت	49	52	53	52	53	54	51
NDWI	بیشینه	0.03	0.06	0.05	0.03	0.02	0.00	0.04
	کمینه	-0.45	-0.38	-0.42	-0.47	-0.46	-0.45	-0.48
	میانگین	0.01	-0.11	-0.13	0.01	0.01	0.1	-0.15
	اکثریت	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1
NDVI	بیشینه	0.47	0.40	0.43	0.40	0.50	0.42	0.53
	کمینه	-0.43	-0.03	-0.07	-0.50	-0.34	-0.48	-0.50
	میانگین	-0.07	0.06	0.07	-0.09	-0.08	-0.09	0.09
	اکثریت	0.00	0.10	0.10	-0.10	-0.10	-0.10	0.10



شکل ۱۳: نقاط داغ (HP) و نقاط سرد (CS) در تحلیل هات-اسپات برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ در حریم یک کیلومتری رودخانه زاینده‌رود



شکل ۱۴: توزیع نقاط داغ (HP) و نقاط سرد (CS) در تحلیل هات-اسپات برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ در حریم یک کیلومتری رودخانه زاینده‌رود

همچنین در NDVI سال‌های بعد، از این همبستگی به تدریج کاسته می‌شود. LST سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۱۸ نیز صرفاً با NDVI خود هر سال با به ترتیب $50/4\%$ و $50/9\%$ همبستگی معنادار دارند. در دو سال ۲۰۱۳ و ۲۰۰۸، هر دو مقدار LST هر سال با هر دو مقدار NDVI همان سال و سال دیگر همبستگی منفی و معنادار مشاهده می‌شود و این همبستگی بین LST با NDVI خود هر سال بیشتر از LST با NDVI سال دیگر است. با این تفاوت که LST سال ۲۰۰۸ با NDVI سال ۲۰۰۰ نیز با $60/5\%$ همبستگی منفی و بالایی از خود نشان داده است. سال ۲۰۰۰ نیز در روندی مشابه، با NDVI خود و سال پس از خود یعنی ۲۰۰۸ همبستگی منفی ثبت کرده است. همبستگی بین مقادیر NDVI و NDWI نیز در بین تمامی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ مثبت و معنادار بوده است.

نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین مقادیر LST، NDWI و NDVI در سال‌های مورد مطالعه در حریم یک کیلومتری رودخانه زاینده رود نیز در جدول ۶ نمایش داده شده است. بر این اساس، مقادیر LST در تمامی دوره‌ها با مقادیر NDWI همبستگی منفی داشته‌اند اما این همبستگی منفی در اغلب موارد تنها با NDWI همان سال معنادار و بالای 50% بوده است که بیشترین مقدار این همبستگی با $62/8\%$ و در سال ۱۹۹۰ و کمترین آن با $51/6\%$ و در سال ۲۰۰۸ بوده است. از طرفی، در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸، بین مقادیر LST با NDWI بین سال اول و دوم نیز همبستگی منفی دیده می‌شود. میزان همبستگی بین مقادیر LST و NDVI نیز در تمامی سال‌ها منفی اما نه لزوماً معنادار بوده است. LST سال ۲۰۲۳ با NDVI همان سال با $55/7\%$ ، همبستگی منفی و با NDVI سال ۲۰۲۲ نیز با $52/6\%$ همبستگی منفی دارد؛

جدول ۶: محاسبه مقادیر همبستگی (درصد) برای دمای سطح زمین (LST)، شاخص نرمال شده تفاضلی آب (NDWI)، شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی (NDVI) و فاصله از رودخانه برای سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۳ در حریم یک کیلومتری رودخانه زاینده‌رود (همبستگی مثبت با رنگ قرمز و همبستگی منفی با رنگ آبی نشان داده شده است)

	LST 2023	LST 2022	LST 2018	LST 2013	LST 2008	LST 2000	LST 1990	NDWI 2023	NDWI 2022	NDWI 2018	NDWI 2013	NDWI 2008	NDWI 2000	NDWI 1990	NDVI 2023	NDVI 2022	NDVI 2018	NDVI 2013	NDVI 2008	NDVI 2000	NDVI 1990				
LST 2022	86/9																								
LST 2018	88/8	90/3																							
LST 2013	87/5	85/2	88/5																						
LST 2008	74/5	75/3	75/4	85/2																					
LST 2000	74/7	75/2	76/3	86/2	89/6																				
LST 1990	67/9	73/4	68/7	78/2	86/3	86/8																			
NDWI 2023	-58/3	-40/4	-33/7	-35/9	-31/9	-28/6	-25/7																		
NDWI 2022	-46/2	-55/0	-37/3	-38/3	-33/7	-30/2	-25/2	91/2																	
NDWI 2018	-43/5	-42/6	-54/7	-40/8	-34/5	-32/7	-27/3	84/2	86/3																
NDWI 2013	-40/2	-39/2	-34/5	-59/2	-48/2	-43/5	-40/8	75/5	76/2	78/0															
NDWI 2008	-39/3	-39/4	-34/5	-48/0	-51/6	-50/0	-40/6	68/2	67/6	69/8	83/1														
NDWI 2000	-33/7	-36/7	-28/8	-43/7	-54/2	-51/9	-45/7	58/3	59/1	59/1	75/2	81/7													
NDWI 1990	-31/8	-32/4	-24/7	-39/1	-48/2	-46/1	-62/8	48/7	48/2	47/3	62/9	72/1	80/2												
NDVI 2023	-55/7	-44/7	-38/1	-41/8	-38/4	-33/6	-31/4	95/9	87/3	77/9	71/4	64/5	56/2	48/7											
NDVI 2022	-52/6	-50/4	-42/2	-44/6	-40/2	-35/8	-31/1	85/8	96/3	80/3	72/2	63/8	56/8	47/5	88/8										
NDVI 2018	-49/9	-47/8	-50/9	-47/8	-42/8	-39/1	-34/4	78/5	82/2	95/1	74/6	67/1	58/0	47/7	79/8	83/7									
NDVI 2013	-43/8	-41/9	-37/4	-57/5	-55/4	49/0	-47/3	66/1	67/9	68/3	95/6	78/7	72/9	62/1	69/0	70/7	72/8								
NDVI 1990	-41/2	-39/5	-35/1	-51/9	-66/5	-54/8	-55/9	-58/2	-58/6	-59/2	-77/4	-95/2	-79/0	-70/8	-61/4	-61/4	-64/2	-80/8							

کیلومتری رودخانه زاینده رود بیانگر افزایش تدریجی بیشینه مقادیر LST از ۵۵/۸۲ تا ۱۹۹۰ تا ۵۹/۸۸ درجه سانتی‌گراد در ۲۰۱۳ می‌باشد. این مقدار در دوره‌های بعدی بجز در ۲۰۲۲، کاهش یافته است (جدول ۷). کمینه LST نیز بجز در ۲۰۲۲ در تمام دوره‌ها از ۳۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد در ۱۹۹۰ تا ۴۰/۴۷ درجه سانتی‌گراد در ۲۰۲۳ افزایشی بوده است. میانگین LST از ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۸ روند افزایشی شدیدی را تجربه کرده است اما در سال ۲۰۱۳ با یک افزایش نرم و کوچک همراه بوده است؛ سپس در ۲۰۱۸ افزایش یافته و افزایش دوره بعد یعنی ۲۰۲۲ نیز نرم بوده است. این مقدار سپس در ۲۰۲۳ کاهش یافت ثبت شده است. اکثریت مقادیر LST در بین روستاهای مورد مطالعه از ۱۹۹۰ که ۴۹ درجه سانتی‌گراد بوده است رشد شدیدی تا ۵۴ درجه سانتی‌گراد در ۲۰۰۸ داشته است. این مقدار سپس با یک کاهش شدید به ۵۱ درجه سانتی‌گراد در ۲۰۱۳ و سپس با افزایش به ۵۳ درجه سانتی‌گراد در دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ بصورت ثابت اندازه‌گیری شده است. این مقدار مجدداً در ۲۰۲۳ به ۵۲ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است (جدول ۷). آماره‌های NDWI در مطالعات روستاها حاوی اطلاعات چندانی نیستند جز آنکه تمامی مقادیر منفی بیشینه و میانگین آن منفی و نزدیک به صفر هستند. کمینه NDWI اما گرچه در تمام دوره‌ها منفی بوده است اما در سال‌های ۲۰۱۳ به بعد بسیار کوچک و نزدیک به صفر بوده و این الگو در سال ۱۹۹۰ بیشتر از بقیه سال‌ها به چشم می‌خورد (جدول ۷). ارزیابی تغییرات مقادیر NDVI بیانگر کاهش بیشینه آن از ۰/۲۸ در ۱۹۹۰ به ۰/۲۵ تا سال ۲۰۰۸ و افزایش مجدد آن از ۰/۳ در ۲۰۱۳ تا ۰/۳۹ در ۲۰۱۸ بوده است. این مقدار پس از یک کاهش در ۲۰۲۲ مجدداً با روند افزایشی به ۰/۳۱ در ۲۰۲۳ همراه بوده است (جدول ۷). کمینه NDVI در تمام دوره‌ها بجز ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ منفی و بزرگ‌ترین مقدار منفی آن در سال ۱۹۹۰ و پس از آن ۲۰۲۲ و ۲۰۱۳ بوده است. میانگین آن نیز در سال ۱۹۹۰ در حداکثر خود و در ۲۰۰۰ در حداقل خود بوده است و با این

این در حالیست که همبستگی بین مقادیر NDVI سال ۲۰۰۸ با NDWI خود و تمامی سال‌ها منفی و معنادار بوده و این مقدار برای خود سال ۲۰۰۸ بزرگتر از سایرین است. همبستگی مقادیر NDVI با NDWI در دو سال ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ با الگوی یکسان اما در جهات متفاوتی همراه بوده است بدین ترتیب که بین مقادیر مذکور در هر دوی این سال‌ها، علاوه بر همبستگی با خود، تنها با مقادیر سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۳ همبستگی معنادار وجود داشته است، با این تفاوت که در سال ۱۹۹۰ این همبستگی مثبت و معنادار و در سال ۲۰۰۰ منفی و معنادار بوده است؛ در هر دوی این سال‌ها میزان همبستگی NDVI و NDWI مربوط به خود هر سال بیشتر از سایرین است. همبستگی میان مقادیر شاخص‌های محاسبه شده و فاصله همچنین بیانگر آن است که گرچه بطور کلی، همبستگی LST و فاصله در همه سال‌ها مثبت برآورد شده است، اما این همبستگی فقط در سال ۱۹۹۰ و فقط در فاصله زیر ۱۰۰ متر از رودخانه معنادار بوده است. همبستگی میان NDWI و فاصله نیز در تمامی دوره‌ها منفی برآورد شده و البته در روند مشابه با قبل، تنها برای سال ۱۹۹۰ با ۵۰/۷٪- معنادار و منفی بوده است. در میان همبستگی مقادیر NDVI و فاصله، هیچ سالی معنادار نبوده و همگی زیر ۵۰٪ بوده‌اند اما به طور کلی همبستگی میان مقادیر NDVI و فاصله، مثبت برآورد شده و این میزان در دو سال ۲۰۱۸ و ۲۰۲۳ با ۴۳/۵٪ بیشتر از بقیه سال‌ها بوده است. همچنین قابل توجه است که در همه موارد، مقادیر همبستگی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ پایین‌تر از بقیه سال‌ها بوده و در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ بالای ۴۰٪ بوده است. همچنین، بطور کلی مقادیر همبستگی در فاصله زیر ۱۰۰ متر بالاتر از بقیه فاصله‌ها در رتبه نخست و فاصله بین ۱۰۰-۲۰۰ متر در رتبه دوم اثرگذاری (بر اساس میزان همبستگی) قرار گرفته است (جدول ۶).

ارزیابی تغییرات در سطح روستاهای موجود در حریم یک کیلومتری رودخانه: ارزیابی تغییرات در سکونتگاه‌های روستایی موجود در حریم یک

حال، مقدار مشابهی را در سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ نشان می‌دهد. NDVI اکثر مقادیر خود را در سال ۱۹۹۰ با ۰/۲ و در سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ با مقدار ۰/۱ به ثبت رسانده است (جدول ۷).

جدول ۷: روستاهای خارج از محدوده یک کیلومتر

شاخص	آماره	1990	2000	2008	2013	2018	2022	2023
LST	بیشینه	55.82	56.63	57.36	59.88	58.03	59.27	57.56
	کمینه	33.09	34.77	34.87	39.95	40.05	38.18	40.47
	میانگین	47.21	48.45	50.62	50.92	51.54	51.99	50.59
	اکثریت	49	51	54	51	53	53	52
NDWI	بیشینه	-0.03	-0.04	-0.04	-0.07	-0.06	-0.05	-0.05
	کمینه	-0.29	-0.29	-0.27	-0.26	-0.38	-0.30	-0.31
	میانگین	-0.01	-0.10	-0.11	-0.03	-0.03	-0.03	-0.03
	اکثریت	-0.1	-0/1	-0/1	-0/1	-0/1	-0/1	0/0
NDVI	بیشینه	0.28	0.26	0.25	0.3	0.39	0.2	0.31
	کمینه	-0.31	0.01	0.01	-0.24	-0.12	-0.31	-0.02
	میانگین	0.08	0.05	0.06	0.07	0.06	0.07	0.07
	اکثریت	0.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1

بحث

در این مقاله، به بررسی تغییرات دمای سطح زمین (LST) و پوشش گیاهی در حریم و مناطق مختلف اطراف رودخانه زاینده‌رود با تمرکز بر اثرات خشکی، طی سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ پرداخته شده است. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی این تغییرات و تحلیل رابطه آنها با خشکسالی است. همچنین بعنوان نمونه سکونتگاهی، این تحقیق، سکونتگاه‌های روستایی و مناطق مختلفی که در اطراف رودخانه زاینده‌رود واقع شده‌اند را نیز مطالعه کرده است.

بر اساس نتایج به دست آمده، با توجه به اینکه رنج مقادیر کوچکتر NDWI بیانگر افزایش خشکی و بیانگر کاهش پهنه آبی است (EOS, 2021) کاهش بیشینه، کمینه و میانگین آن در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ نسبت به ۱۹۹۰ مشاهده شد که در کنار کاهش مساحت کلاس‌تر ۰/۲ - ۰ در این سال‌ها به انضمام افزایش مساحت کلاس‌های خشک کوچکتر از ۰ می‌توان ادعا کرد که در این سال‌ها رودخانه زاینده رود نسبت به ۱۹۹۰ با عمق آب کمتری روبرو بوده است. در همین دو سال، مساحت کلاس‌های تر با به ترتیب

۶۷٪ و ۶۸٪، نسبت به ۱۹۹۰ همراه بوده است. کلاس خشک (۰ - ۰/۳) این شاخص نیز با به ترتیب ۱۳۰/۷٪ و ۱۳۱/۴٪ افزایش برای این دو سال همراه بوده است که این می‌تواند بیانگر خشک‌تر شدن این حریم در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ بوده باشد. حائز ذکر است، مساحت کلاس خیلی خشک (کوچکتر از ۰/۳-) در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ نسبت به ۱۹۹۰ کمتر شده است اما با توجه به کاهش همزمان کلاس تر در این دو سال و افزایش کلاس خشک، این کاهش نمی‌تواند بیانگر کاهش خشکی در این دو سال بوده باشد، بلکه ممکن است مسیر جریان آب در این دو سال به سمت مناطق خشک در سال ۱۹۹۰ تغییر پیدا کرده باشد. این نتایج با گزارش خشکی شدید زاینده‌رود در سال‌های ۱۳۷۹ ه.ش (Mehr, 2014) و ۱۳۸۷ ه.ش (Imna, 2011) نسبت به دوره‌های زمانی قبل‌تر نیز همخوانی دارد. نتایج حاصل از بررسی LST در هردوی این سال‌ها، ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸، همچنین بیانگر افزایش شدید بیشینه با به ترتیب ۱۳٪ و ۲۰/۳٪، کمینه دما با به ترتیب ۵/۸٪ و ۱۷/۸٪ و میانگین دما با به ترتیب ۳۰/۹٪ و ۲۷٪ است که این می‌تواند با توجه به این حقیقت که حضور آب عامل خنک کننده دمای سطح

زمین بوده و کاهش آن نیز دما را افزایش می‌دهد (Cai et al., 2018)، می‌تواند نشان‌دهنده اثرگذاری خشکی بر افزایش LST این حریم باشد. پژوهش‌های دیگری همچون (Jafari & Hasheminasab, 2017) و (Hereher, 2017) همچنین اثر خشکی رودخانه و پهنه‌های آبی بر افزایش LST را مورد مطالعه قرار داده و نتایج پژوهش حاضر را تایید کرده‌اند. همچنین علی‌رغم آنکه بیشینه NDVI در این دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ نسبت به دوره ۱۹۹۰ با به ترتیب ۵٪ و ۲/۵٪ همراه بوده است، کمینه آن تقریباً بدون تغییر مانده این تغییر می‌تواند در اثر تجربه خشکی در این حریم در طی این سال‌ها و اثر بر پوشش گیاهی موجود در حریم رودخانه تلقی شود. اما میانگین NDVI در این دو سال نسبت به دوره قبل از حالت منفی خارج شده و با ۲۶۶/۷٪ تغییر، به سمت مقادیر مثبت کوچک روی آورده. با توجه به اینکه رنج تغییرات منفی NDVI بیانگر مقادیر آب (Rizvi et al., 2009) و رنج مقادیر کوچک مثبت بیانگر خاک بایر (EOS, 2022; Rizvi et al., 2009) می‌باشد، این تغییر میانگین می‌تواند بطور واضح خشکی رخ داده در این رودخانه تفسیر شود. پژوهش‌های دیگری همچون (Omute et al., 2012) نیز کاربرد مقادیر NDVI در تخمین سطح آب رودخانه و را تایید کرده‌اند. در سال ۲۰۱۳ اما بیشینه NDWI نسبت به دوره قبل، ۲۰۰۸ بدون تغییر و کمینه و میانگین آن با به ترتیب ۱۳/۳٪ و ۵۰٪ افزایش روبرو بوده است که گرچه نسبت به ۱۹۹۰ همچنان کم‌عمق‌تر می‌نمایند اما نسبت به دو دوره قبل از خود یعنی ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ افزایش نسبی عمق آب در این حریم را نشان می‌دهد. در این سال، کلاس تر با ۸۲/۱٪ افزایش مساحت نسبت به دوره قبل از خود همراه بوده و کلاس خشک نیز ۲۵/۴٪ کاهش یافته است که این به وضوح کاهش خشکی حریم رودخانه در این سال را نشان می‌دهد. کلاس خیلی خشک NDWI اما نسبت به دوره قبل از خود افزایش مساحت را تجربه کرده است که با توجه به شیفت قبلی که برای دوره‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ گزارش شد و همچنین با توجه به افزایش مساحت کلاس تر،

می‌تواند مرتبط با تغییر جهت حضور/جریان آب و خشک ماندن قسمتی از رودخانه در این سال نسبت به دوره‌های قبل باشد. گزارش‌های موجود از جاری شدن آب در رودخانه زاینده‌رود در سال ۱۳۹۲ ه.ش (Tasnim, 2013) نیز این نتایج را تایید می‌کند. در این سال همچنین بیشینه LST نسبت به دوره قبل، ۲/۱٪ کاهش یافته است که می‌تواند اثر افزایش جریان آن در این سال بر LST را نشان دهد. کمینه و میانگین LST در این سال اما بصورت افزایشی بوده است که می‌تواند با توجه به کاهش نه چندان شدید بیشینه دما، به دلیل افزایش در کلاس خیلی خشک در این سال و اثر پذیری LST از این کلاس و همچنین روند طبیعی گرم‌تر شدن زمین طی سال‌های اخیر توجیه شود. در این سال همچنین مقدار بیشینه NDVI نسبت به دوره پیش ۵۴/۴٪ کاهش یافته است که می‌تواند بر اثر خشکی ایجاد شده در دو دوره قبل و اثر دراز مدت آن بر پوشش گیاهی در حریم رودخانه اتفاق افتاده باشد. کمینه و میانگین NDVI اما با به ترتیب ۲۲۶/۷٪ و ۲۶۰٪ کاهش به سمت اعداد منفی برگشته است که می‌تواند به دلیل جریان مجدد آب در حریم رودخانه در این سال اتفاق افتاده باشد. در دوره بعد، ۲۰۱۸، علی‌رغم یکسان بودن بیشینه مقدار دیویا نسبت به سال ۲۰۱۳، کمینه و بیشینه مقادیر آن همچنان به ترتیب با ۱۰/۳٪ و ۲۰٪ تغییر روبرو بوده است که این می‌تواند بیانگر کاهش نسبی عمق آب در سال ۲۰۱۸ نسبت به ۲۰۱۳ باشد. در این سال مساحت کلاس تر نیز نسبت به ۲۰۱۳، حدود ۴۰٪ کاهش یافته است اما با توجه به اینکه نسبت به ۲۰۰۸ این مساحت همچنان بیشتر است صرفاً می‌تواند خشک‌تر شدن حریم رودخانه نسبت به دوره قبل یعنی ۲۰۱۳ را برداشت کرد و نه خشک‌تر شدن آن در کل دوره. مساحت کلاس خشک نیز در این سال نسبت به دوره پیش از خود، ۲۹٪ افزایش داشته است اما کلاس خیلی خشک نسبت به ۲۰۱۳، کاهش ۵۰ درصدی داشته که این می‌تواند نشان‌دهنده حضور بیشتر نسبی آب در مناطق مختلف حریم رودخانه نسبت به ۲۰۱۳ باشد. نتایج این بخش با گزارش

دو سال نسبت به دوره پیش از خود باشد. این نتایج با گزارشات مرتبط با جریان یافتن آب در زاینده رود بصورت مقطعی و محدود در سال ۱۴۰۱ ه.ش (Ensaf, 2021; Imna, 2022) و همچنین سال ۱۴۰۲ که با افزایش روزهای باز جریان آب در این رودخانه در سال آبی ۱۴۰۱-۱۴۰۲ همراه بوده است (Imna, 2023) نیز همخوانی دارد. بیشینه LST در این دو سال نسبت به دوره قبل، رفتار متفاوتی از خود نشان داده است، بطوریکه در سال ۲۰۲۲ با ۱/۲٪ کاهش و در سال ۲۰۲۳ با ۳/۱٪ افزایش همراه بوده است. افزایش بیشینه دما در ۲۰۲۳ می‌تواند مرتبط با افزایش کلاس خیلی خشک در این سال باشد؛ کما آنکه این الگو در سال‌های پیش نیز مشاهده و مورد بحث قرار گرفت. این در حالیست که کمینه و میانگین LST در هر دو سال نسبت به دوره ۲۰۱۸ کاهش یافته است که این کاهش با توجه به افزایش جریان آب در حریم رودخانه منطقی است. در دوره ۲۰۲۲ همچنین بیشینه NDVI با ۷۴/۵٪ کاهش و در سال ۲۰۲۳ بدون تغییر بوده است. افزایش در بیشینه NDVI ۲۰۲۳ می‌تواند مرتبط با کاهش ۱۸۷/۵ درصدی در کمینه NDVI در سال ۲۰۲۲ نسبت به دوره پیش از خود است که بیانگر افزایش آب حریم رودخانه و در نتیجه اثر بر کیفیت پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۳ باشد.

نتایج تغییرات رخ داده در حریم یک کیلومتری رودخانه نیز مرتبط با تغییرات رخ داده در سطح حریم رودخانه بوده است. بطوریکه در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ بعنوان دو دوره خشک، مقادیر بیشینه و میانگین LST نسبت به دوره قبل یعنی ۱۹۹۰ با به ترتیب ۱/۵٪ و ۳/۶٪ برای بیشینه و ۳/۳٪ و ۸/۱٪ افزایش قابل توجهی داشته است. همچنین اکثریت مقادیر از ۴۹ درجه سانتی‌گراد در سال ۱۹۹۰ به ترتیب به ۵۲ و ۵۳ درجه سانتی‌گراد افزایش پیدا کرده است. گرچه مقادیر بیشینه و میانگین LST در سال ۲۰۱۳ نیز نسبت به دوره پیش از خود ۵/۳٪ و ۰/۶٪ افزایش پیدا کرده است، اما این تغییرات جزئی در کنار کاهش مقدار اکثریت دما به ۵۲٪ می‌تواند بیانگر

جریان آب کوتاه مدت در زاینده رود در سال ۱۳۹۷ ه.ش (Tasnim, 2018a, 2018b) همخوانی دارد. در این سال همچنین بیشینه دما روند کاهشی خود را نسبت به ۲۰۱۳ با ۰/۹٪ حفظ کرده و افزایش ناچیزی در کمینه و میانگین دما با به ترتیب ۱/۳٪ و ۳/۳٪ نشان داده است. که کاهش دما می‌تواند به دلیل کاهش مساحت کلاس خیلی خشک و افزایش می‌تواند به دلیل کاهش کلاس تر و همچنین روند طبیعی گرم‌تر شدن زمین باشد. این می‌تواند نقش کلاس‌های تر و خیلی خشک در اثرگذاری LST را نیز نشان دهد. در این دوره بیشینه NDVI همچنین با ۱۷۶/۵٪ رشد نسبت به دوره پیش از خود همراه بوده است که می‌تواند با وضعیت بهتر آب در دوره قبل و همین دوره و در نتیجه اثر آن بر پوشش گیاهی موجود در حریم مرتبط باشد. با این حال کمینه و میانگین NDVI با به ترتیب ۱۳۲/۷٪ و ۱۲/۵٪ کاهش نسبت به دوره پیش از خود همراه بوده است که وضعیت کم‌تر بودن آب در این دوره نسبت به دوره پیش از خود را که در بحث ذکر شده در تفسیر شاخص‌های دیگر هم بیان شد، تایید می‌کند. در دو دوره بعدی یعنی ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ کمینه و میانگین مقدار NDWI تقریباً ثابت مانده و تنها تغییر در بیشینه NDWI نسبت به ۲۰۱۸ است که تنها ۵/۳٪ کاهش داشته است. بنابراین نمی‌تواند تغییر زیادی در عمق آب را در این سال‌ها نسبت به ۲۰۱۸ برآورد کرد. با این حال، نسبت به دوره قبل، در سال ۲۰۲۲ مساحت کلاس تر با تنها ۱/۷٪ و در سال ۲۰۲۳ با ۶۸/۶٪ افزایش همراه بوده است. همچنین کلاس خشک در سال ۲۰۲۲ تنها ۱٪ و در سال ۲۰۲۳، ۲۱/۷٪ کاهش یافته است. بدین ترتیب می‌توان دو سال ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ را سال‌های با خشکی کمتر در حریم رودخانه برآورد کرد اما شدت این رفع خشکی در سال ۲۰۲۲ کمتر و در سال ۲۰۲۳ بیشتر بوده است. همچنین کلاس خیلی خشک در دو سال ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ نسبت به دوره قبل، با به ترتیب ۲۴/۳٪ و ۵۰/۵٪ افزایش مساحت همراه بوده است که این می‌تواند بیانگر حضور آب در قسمت‌های مختلف و خشک ماندن قسمت‌های بیشتری از رودخانه در این

اثرگذاری وجود آب در رودخانه باشد. با این حال روند افزایش ساخت و سازها در منطقه و تغییر پوشش/کاربری اراضی مرتع و کشاورزی (Rahmani & Salehian, 2018) طی سال‌های اخیر نیز می‌تواند به این عامل دامن زده باشد. کاهش ۳/۶ درصدی بیشینه و افزایش جزئی ۰/۵٪ و ۲/۱٪ در کمینه و میانگین LST در سال ۲۰۱۸ نسبت به دوره پیش از آن نیز می‌تواند با توجه به جمیع عوامل محیطی و گرمایش اقلیمی و ساخت‌وسازهای این منطقه، عامل خنک‌کنندگی حضور آب در رودخانه که البته حضور آن در این سال کمتر از ۲۰۱۳ بوده است را توجیه کند. چنانکه اکثریت دما نیز در این سال به مقدار ۵۳ درجه سانتی‌گراد بازگشته است. در سال ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ بعنوان دو سال با جریان نسبی بیشتر آب در رودخانه، کمینه و میانگین LST نسبت به دوره قبل از خود، به ترتیب با ۸/۴٪ و ۱/۶٪ برای کمینه و با ۱/۲٪ و ۲/۵٪ کاهش برای میانگین کاهش همراه بوده است که این می‌تواند بیانگر اثر جریان آب در این رودخانه در این دو سال باشد. از آنجا که این منطقه شامل مناطق ساخته شده و طبیعی دیگری نیز می‌باشد، می‌توان افزایش و کاهش بیشینه LST در این دو سال را مرتبط با عوامل دیگری از جمله اثر مناطق ساخته شده، تغییر کاربری‌ها و یا گرمایش جهانی و تغییر اقلیم نیز دانست. اما در حریم یک کیلومتری اطراف رودخانه، نتایج مقادیر نقاط داغ و نقاط سرد نیز قابل توجه بوده است. بطوریکه در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸، تعداد نقاط سرد با سطح اطمینان ۹۹٪، به طور چشمگیری به ترتیب به میزان ۲۷/۵٪ و ۲۸/۳٪ کاهش یافته‌اند. این در حالیست که در همین بازه زمانی، تعداد نقاط داغ با سطح اطمینان ۹۹٪ به ترتیب با ۲۱/۳٪ و ۳۲/۹٪ افزایش همراه بوده‌اند. این می‌تواند بیانگر خوبی از افزایش ارتباطات بین همسایگی پیکسل‌ها در افزایش دمای سطح زمین در ارتباط با خشکی رودخانه زاینده‌رود باشد. در سال ۲۰۱۳ اما نقاط سرد نسبت به دوره قبل از خود ۹/۴٪ افزایش و نقاط داغ ۱۱/۷٪ کاهش داشته است. این می‌تواند به خوبی اثر جریان آب در رودخانه و در

نتیجه در مناطق اطراف آن را بر نقاط سرد و گرم LST نشان دهد. در سال ۲۰۱۸ اما با جریان آب کمتر نسبت به ۲۰۱۳، نقاط سرد با ۰/۴٪ افزایش و نقاط داغ با ۰/۱٪ کاهش همراه بوده‌اند که آمار قابل توجهی نبوده و از این نظر تفاوت چندانی بین این دو سال مشاهده نشده است. اختلاف چشمگیر سال ۲۰۲۲ نسبت به دوره قبل تنها در افزایش ۵/۶ درصدی نقاط سرد بوده است. سال ۲۰۲۳ اما شاهد کاهش ناچیز برابر با ۰/۵٪ در نقاط سرد و افزایش ۲/۴٪ نقاط داغ بوده است که از این نظر نسبتاً به سال‌های پیش از خود نزدیک بوده و با در نظر گرفتن جمیع عوامل از جمله ساخت و سازهای موجود در منطقه، عوامل تغییر کاربردی و گرمایش زمین و تغییر اقلیم در طول زمان، می‌تواند توجیه مناسبی برای نقش حضور متعادل‌کننده جریان آب در منطقه باشد. با توجه به وجود مناطق ساخته شده در منطقه مورد مطالعه و نیز اثرپذیری زیاد مقادیر NDWI از مناطق ساخته شده (Sarkar et al., 2020) نمی‌توان تغییرات بیشینه و میانگین NDWI در این منطقه را نشانگر خوبی از تغییرات زاینده‌رود دانست بدین ترتیب به بحث در مورد کمینه NDWI اکتفا می‌شود. در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ با توجه به خشکی رودخانه در این سال‌ها نسبت به دوره قبل از خود یعنی ۱۹۹۰، کمینه NDWI به ترتیب با ۱۵/۶٪ و ۶/۷٪ افزایش به سمت مقادیر بزرگتر سوق پیدا کرده است که با توجه به رنج مقادیر NDWI (EOS, 2021) می‌تواند بیانگر خوبی از جریان کمتر آب در منطقه اطراف رودخانه در این دو سال باشد. این مقدار مجدداً در سال ۲۰۱۳ بعنوان سالی با جریان آب، با ۱۱/۹٪ کاهش به سمت مقادیر منفی همراه بوده است که می‌تواند بیانگر افزایش جریان آب در این سال در محدوده اطراف رودخانه باشد. اما توجه به دوره‌های بعد، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۲ که جریان آب محدودتر بوده است، یک افزایش جزئی، به ترتیب با ۲/۱٪ و ۲/۲٪ در جهت مثبت را نمایان می‌کند که می‌تواند بیانگر جریان محدودتر آب در این دو سال باشد. سال ۲۰۲۳ اما بعنوان یک سال با جریان نسبتاً بهتر مجدداً با ۶/۷٪ کاهش در جهت

مقادیر منفی در کمینه NDWI نسبت به دوره پیش از خود همراه بوده است. همچنین مقادیر کمینه NDVI در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ بیانگر مقادیر منفی اما بسیار نزدیک به صفر است که می‌تواند بیانگر حضور آب بسیار کمی در محدوده اطراف رودخانه باشد. این مقدار اما در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۳ مقادیر منفی کوچکتر از $0/3$ - بوده‌اند که حضور آب در مناطق اطراف رودخانه را توجیه پذیر می‌کند. لازم به ذکر است حضور جریان آب در محیط اطراف رودخانه همچنین می‌تواند بر اثر آبیاری اراضی کشاورزی نیز صورت گرفته باشد چراکه در برخی دوره‌ها همچون فروردین تا تابستان ۱۳۹۲، رودخانه زاینده رود اساساً با هدف تامین نیاز آبی کشاورزان جریان یافته و در اختیارشان قرار گرفته بوده (Tasnim, 2013).

محاسبه مقادیر همبستگی بین پارامترهای مختلف مورد مطالعه در محدوده یک کیلومتری حریم رودخانه همچنین بیانگر ارتباط منفی LST در تمام دوره‌ها با NDWI بود که این ارتباط در سال‌های با جریان آب از جمله ۱۹۹۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ تنها بین LST و NDWI در همان سال معنادار بود. این ارتباط اما در سال‌های خشک ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ علاوه بر LST و NDWI در هر سال با LST و NDWI سال دیگر نیز معنادار بود که بیانگر اثرگذاری روند خشکی در این دو سال بر LST سال دیگر بوده و از این نظر احتمالاً روند تغییرات و اثرگذاری‌ها در این دو سال به دلیل خشکی رودخانه شباهت بیشتری داشته است. همبستگی منفی میان LST و NDWI در پژوهش‌های پیشین همچون (Guha et al., 2020) نیز تایید شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، این الگو در مورد ارتباط بین NDVI و LST نیز صادق بوده است که پژوهش‌های بسیاری همانند (Sun & Kafatos, 2007; Yue et al., 2007) نیز این نتایج را تایید کرده‌اند.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، تغییرات شاخص‌های NDWI، LST و NDVI در حریم رودخانه زاینده‌رود بررسی شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در سال‌های خشک، مقادیر NDWI و NDVI میل به مقادیر مثبت کوچک و در سال‌های تر، میل به مقادیر منفی کوچکتر داشتند. همچنین در سال‌های خشک، دارای LST بیشتر بوده و مساحت بیشتری از کلاس‌های گرم دمایی را به خود اختصاص داده بودند. همچنین همبستگی فاصله از رودخانه صرفاً در سال ۱۹۹۰ با LST مثبت و با NDWI منفی و در زیر ۱۰۰ متر معنادار بود. نتایج نشان داد در سال‌های کم آب، میل به افزایش مساحت کلاس‌های حرارتی با دمایی بالاتر در منطقه افزایش پیدا می‌کند. همچنین تعداد نقاط داغ افزایش و نقاط سرد کاهش پیدا می‌کند. در مطالعه حاضر همچنین کاربرد شاخص NDWI به منظور پایش خشکی رودخانه‌های کشور نشان داده شد. این نتایج به منزله زنگ خطری برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آبی و رودخانه‌های کشور می‌باشد. با توجه به اینکه تغییرات آب و هوایی و خشکسالی در دهه‌های اخیر در ایران رو به افزایش است، برنامه‌ریزان و مدیران باید با توجه به نتایج

مورد مطالعه در محدوده یک کیلومتری حریم رودخانه همچنین بیانگر ارتباط منفی LST در تمام دوره‌ها با NDWI بود که این ارتباط در سال‌های با جریان آب از جمله ۱۹۹۰، ۲۰۱۳، ۲۰۱۸، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۳ تنها بین LST و NDWI در همان سال معنادار بود. این ارتباط اما در سال‌های خشک ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ علاوه بر LST و NDWI در هر سال با LST و NDWI سال دیگر نیز معنادار بود که بیانگر اثرگذاری روند خشکی در این دو سال بر LST سال دیگر بوده و از این نظر احتمالاً روند تغییرات و اثرگذاری‌ها در این دو سال به دلیل خشکی رودخانه شباهت بیشتری داشته است. همبستگی منفی میان LST و NDWI در پژوهش‌های پیشین همچون (Guha et al., 2020) نیز تایید شده است. بر اساس نتایج به دست آمده، این الگو در مورد ارتباط بین NDVI و LST نیز صادق بوده است که پژوهش‌های بسیاری همانند (Sun & Kafatos, 2007; Yue et al., 2007) نیز این نتایج را تایید کرده‌اند. همبستگی بین مقادیر NDVI و NDWI در سال‌های دارای جریان آب مثبت و در سال‌های فاقد جریان، منفی برآورد شده است. این ارتباط منفی در سال‌های خشکی، می‌تواند بیانگر ارتباط منفی بین مقادیر این دو شاخص باشد بطوریکه می‌توان گفت با کاهش

سکونتگاه‌های روستایی استفاده شود. با توجه به اینکه رودخانه زاینده‌رود یکی از مهمترین منابع آبی در استان اصفهان و همچنین در کشور است، مطالعه حاضر می‌تواند به عنوان یک الگوی مفید برای پایش تغییرات آبی در سایر رودخانه‌ها و مناطق حریمی مورد استفاده قرار گیرد. در نتیجه، برنامه‌ریزان و مدیران باید با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش، اقدامات لازم را برای حفظ و مدیریت صحیح منابع آبی و رودخانه‌ها انجام دهند.

حاصل از این پژوهش، اقدامات لازم را برای مدیریت صحیح منابع آبی و رودخانه‌ها انجام دهند. از جمله اقدامات می‌توان به افزایش ظرفیت ذخیره سازی آب، کاهش تبخیر و تعرق، استفاده از روش‌های کشاورزی پایدار، ترویج استفاده از فناوری‌های صرفه‌جویی در مصرف آب و مدیریت صحیح منابع آبی اشاره کرد. همچنین، نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به عنوان یک راهنمای مفید برای تصمیم‌گیری در مورد توسعه و ساخت و ساز در مناطق حریم رودخانه‌ها و

منابع

1. Agricultural Trade Union of Isfahan. (2013, 2013-12-30). Average annual rainfall in Kohrang from 1350 to 1390 (period of 40 years). Retrieved 2020-11-25 from <https://web.archive.org/web/20131230135439/http://www.nsksfahan.org/%D8%B2%D8%A7%DB%8C%D9%86%D8%AF%D9%87-%D8%B1%D9%88%D8%AF>
2. Avdan, U., & Jovanovska, G. (2016). Algorithm for automated mapping of land surface temperature using LANDSAT 8 satellite data. *Journal of Sensors*.
3. Brown, J. (2018). NDVI, the Foundation for Remote Sensing Phenology. Retrieved 2023-10-27 from <https://www.usgs.gov/special-topics/remote-sensing-phenology/science/ndvi-foundation-remote-sensing-phenology#overview>.
4. Cai, Z., Han, G., & Chen, M. (2018). Do water bodies play an important role in the relationship between urban form and land surface temperature? *Sustainable Cities and Society*, 39, 487-498.
5. Dos Santos, A.R., de Oliveira, F. S., da Silva, A. G., Gleriani, J. M., Gonçalves, W., Moreira, G. L., . . . da Silva, R. G. (2017). Spatial and temporal distribution of urban heat islands. *Science of the Total Environment*, 605, 946-956 .
6. Ensaf. (2021). Zayandeh Rood became "juicy" in the form of boils! Ensaf News. Retrieved 2023-11-02 from <https://www.ensafnews.com/?p=335765>
7. EOS. (2021). Normalized Difference Water Index. Retrieved 2023-10-15 from <https://eos.com/make-an-analysis/ndwi/>
8. EOS. (2022). NDVI: Normalized Difference Vegetation Index. Retrieved 2023-11-02 from <https://eos.com/make-an-analysis/ndvi/>
9. Esri. (2021). Understanding Euclidean distance analysis. Retrieved from https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/tools/spatial-analyst-toolbox/understanding-euclidean-distance-analysis.htm#ESRI_SECTION1_29048F6D811_B40D0A0B7E2BA0F36E92E
10. Esri. (2022). How Hot Spot Analysis (Getis-Ord Gi*) works. Retrieved 2022-0 from <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm#:~:text=The%20Hot%20Spot%20Analysis%20tool,the%20context%20of%20neighboring%20features>.
11. Guha, S., Govil, H., & Besoya, M. (2020). An investigation on seasonal variability between LST and NDWI in an urban environment using Landsat satellite data. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 1319-1345 .
12. Hereher, M. E. (2017). Effects of land use/cover change on regional land surface temperatures: severe warming from drying Toshka lakes, the Western

- Desert of Egypt. *Natural Hazards*, 88(3), 1789-1803.
13. Hosseini hamid, M., & Akbarinasab, M. (2016). The Calculation of the Optimum Index Factor for Monitoring Water Resources pollution using Satellite Images: A Case Study of the Oman sea. *Hydrophysics*, 2(1), 35-45. https://www.hydrophysics.ir/article_24499_5577a3bc39e187da63b35717977b24da.pdf
 14. IES. (2011). NDWI: Normalized Difference Water Index. European Drought Observatory (EDO) Retrieved from https://edo.jrc.ec.europa.eu/documents/factsheets/factsheet_ndwi.pdf
 15. Imna. (2011). Slow death of a dream. Imna News. Retrieved 2023-10-28 from imna.ir/xfCM
 16. Imna. (2022). Releasing Zayandeh Rood water for the fourth time of irrigation. Imna News. Retrieved 2023-11-02 from imna.ir/x6SF7
 17. Imna. (2023). Zayandehroud reopening time 1402 + dam condition. Imna News. Retrieved 2023-11-02 from imna.ir/x7WJy
 18. Jafari, R., & Hasheminasab, S. (2017). Assessing the effects of dam building on land degradation in central Iran with Landsat LST and LULC time series. *Environmental monitoring and assessment*, 189, 1-15.
 19. Khorrambakht, A. (2016). Quantitative Analysis of the Role of Groundwater Quality to Promote Rural Development Indicators Based on Morris Model Case Study: Khonj County. *Physical Geography Quarterly*, 9(32), 57-70. https://jopg.larestan.iau.ir/article_528623_a6da46495180_e7f17724d1de9f09564c.pdf
 20. Kumar, D., Singh, A. K., Taloor, A. K., & Singh, D. S. (2021). Recessional pattern of Thelu and Swetvarn glaciers between 1968 and 2019, Bhagirathi basin, Garhwal Himalaya, India. *Quaternary International*, 575, 227-235.
 21. LANDSAT 8 data user's handbook. (2015). Department of the Interior US Geological Survey .
 22. Li, X., Zhou, Y., Asrar, G. R., Imhoff, M., & Li, X. (2017). The surface urban heat island response to urban expansion: A panel analysis for the conterminous United States. *Science of the Total Environment*, 605, 426-435.
 23. Mansourmoghaddam, M., Ghafarian Malamiri, H. R., Rousta, I., Olafsson, H., & Zhang, H. (2022). Assessment of Palm Jumeirah Island's Construction Effects on the Surrounding Water Quality and Surface Temperatures during 2001–2020. *Water*, 14(4), 634.
 24. Mansourmoghaddam, M., Naghipur, N., Rousta, I., Alavipanah, S. K., Olafsson, H., & Ali, A. A. (2023). Quantifying the Effects of Green-Town Development on Land Surface Temperatures (LST)(A Case Study at Karizland (Karizboom), Yazd, Iran). *Land*, 12(4), 885.
 25. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Cabral, P., Ali, A.A., Olafsson, H., Zhang, H., & Krzyszcak, J. (2023). Investigation and Prediction of the Land Use/Land Cover (LU/LC) and Land Surface Temperature (LST) Changes for Mashhad City in Iran during 1990–2030. *Atmosphere*, 14(4), 741.
 26. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M., Mokhtari, M. H., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S. K. (2021). Study and prediction of land surface temperature changes of Yazd city: assessing the proximity and changes of land cover. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(4), 1-27.
 27. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M., & Olafsson, H. (2023). Investigating and predicting Land Surface Temperature (LST) based on remotely sensed data during 1987–2030 (A case study of Reykjavik city, Iceland). *Urban Ecosystems*, 1-23.
 28. Mansourmoghaddam, M., Rousta, I., Zamani, M. S., Mokhtari, M. H., Karimi Firozjaei, M., & Alavipanah, S. K. (2022). Investigating and Modeling the Effect of the Composition and Arrangement of the Landscapes of Yazd City on the Land Surface Temperature Using Machine Learning and Landsat-8

- and Sentinel-2 Data. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 15(3), 1-26.
29. 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
30. Mehr. (2014). How did Zayandeh Rood dry up/ when multiple management dried up Zayandeh Rood. *Mehr News*. Retrieved 2023-10-28 from mehrnews.com/xqYnY.
31. Module, F. (2009). Atmospheric correction module: QUAC and FLAASH user's guide. Version, 4, 4.
32. Ogashawara, I., & Bastos, V.D.S.B. (2012). A quantitative approach for analyzing the relationship between urban heat islands and land cover. *Remote Sensing*, 4(11), 3596-3618 .
33. Omute, P., Corner, R., & Awange, J.L. (2012). The use of NDVI and its derivatives for monitoring Lake Victoria's water level and drought conditions. *Water resources management*, 26, 1591-1613.
34. Ord, J. K., & Getis, A. (1995). Local spatial autocorrelation statistics: distributional issues and an application. *Geographical analysis*, 27(4), 286-306.
35. Rahmani Fazli, A., & Salehian, S. (2018). Investigating the Relationship between the Spreading of Human Settlements and Instability of Agricultural Water resources in the Zayandeh-Rud Basin. *Town and Country Planning*, 10(1), 167-192 . <https://doi.org/10.22059/jtcp.2018.257200.669865>
36. Rizvi, R. H., Yadav, R. S., Singh, R., Datt, K., Khan, I., & Dhyani, S. (2009). Spectral analysis of remote sensing image for assessment of agroforestry areas in Yamunanagar district of Haryana. *National Symposium on "Advances in Geo-spatial Technologies with Special Emphasis on Sustainable Rainfed Agriculture"*, RRSSC.
37. Rousta, I., Olafsson, H., Nasserzadeh, M. H., Zhang, H., Krzyszcak, J., & Baranowski, P. (2021). Dynamics of daytime land surface temperature (LST) variabilities in the Middle East countries during 2001–2018. *Pure and Applied Geophysics*, 178(6), 2357-2377.
38. Rousta, I., Olafsson, H., Zhang, H., Moniruzzaman, M., Baranowski, P., & Krzyszcak, J. Anthropogenic factors affecting the vegetation dynamics in the arid Middle East. *Environmental and Climate Technologies*, 26(1), 774-805.
39. Salehian, S., & Rahmani Fazli, A. (2018). Environmental Consequences of Water Resources Instability in the Zayandeh-Rud Basin. *Physical Geography Research Quarterly*, 50(2), 391-406.
40. Sarkar, T., Kannaujiya, S., Taloor, A. K., Ray, P. K. C., & Chauhan, P. (2020). Integrated study of GRACE data derived interannual groundwater storage variability over water stressed Indian regions. *Groundwater for sustainable development*, 10, 100376.
41. Siqui, J., & Yuhong, W. (2020). Effects of land use and land cover pattern on urban temperature variations: A case study in Hong Kong. *Urban Climate*, 34, 100693.
42. Sun, D., & Kafatos, M. (2007). Note on the NDVI-LST relationship and the use of temperature-related drought indices over North America. *Geophysical Research Letters*, 34.
43. Tabnak. (2018). Zayandeh Rood. *Tabnak News*. Retrieved 2023-10-28 from <https://www.tabnak.ir/fa/tags/2852/32/%D8%B2%D8%A7%DB%8C%D9%86%D8%AF%D9%87%-D8%B1%D9%88%D8%AF>
44. Taloor, A. K., Manhas, D. S., & Kothiyari, G. C. (2021). Retrieval of land surface temperature, normalized difference moisture index, normalized difference water index of the Ravi basin using Landsat data. *Applied Computing and Geosciences*, 9, 100051.
45. Tasnim. (2013). The Zayandeh Road series started with political conflicts and ended with the tired hands of farmers. *Tasnim News*. Retrieved 2023-11-02 from <https://tn.ai/100972>
46. Tasnim. (2018a). The thirsty gardens of Isfahan are watered; Release of 30

- million cubic meters of water in Zayandeh Rood. Tasnim News. Retrieved 2023-11-02 from <https://tn.ai/1791014>
47. Tasnim. (2018b). Water flowing in Zayandeh Rood. Tasnim News. Retrieved 2023-10-28 from <https://tn.ai/1934716>
48. USGS. (2014). OLI and TIRS Calibration Notices. In Landsat 8 Reprocessing to Begin February 3, 2014.
49. Yue, W., Xu, J., Tan, W., & Xu, L. (2007). The relationship between land surface temperature and NDVI with remote sensing: application to Shanghai Landsat 7 ETM+ data. *International Journal of remote sensing*, 28(15), 3205-3226.
50. Ziaul, S., & Pal, S. (2016). Image based surface temperature extraction and trend detection in an urban area of West Bengal, India. *Journal of Environmental Geography*, 9(3-4), 13-25.