Climate Change & Climate Disasters

Print ISSN: 2783-0551

University Zanjan

Monitoring changes in vegetation cover and surface water resources of the Helmand River from Kajaki Dam to Hamun of Sistan during 2021–2024 using RS and GIS

Samad Fotoohi [1] | Hossein Negaresh [2] | Fatemeh Firoozi [3] | Masoud Sistani Badooei [4] | Noorallah Nikpour [5] |

1. Associate Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
2. Professor in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Geography and Environmental Planning, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
3. Visiting Professor, Department of Humanities and Social Sciences, Farhangian University, Tehran, Iran
4. Ph.D in Geomorphology and environmental management, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran
5. Ph.D. in Geomorphology, Department of Humanities and Social Sciences, Farhangian University, Tehran,Iran

Article Info:

Article type:
Research Article

Date:
Received:2024.12.19
Received:2025.01.02
Accepted:2025.01.07

Keywords:
Drought, Helmand River, Satellite images, Kamal Khan Dam, Kajaki Dam

Abstract: The Helmand River is the main water source for northern Sistan and Baluchestan, Iran. The failure to respect Iran's water rights has intensified regional water crises, caused environmental degradation, and evolved into a significant transboundary conflict. To assess Afghanistan's claims of drought and water shortage, this study analyzed the spatiotemporal dynamics of surface water and vegetation using Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS). Landsat imagery covering the area from Kajaki Dam to the Hamoun-e-Sistan wetlands was examined across five time intervals. The analysis focused on two key events—the commissioning of Kamal Khan Dam (26 March 2021) and the rise of the Taliban government (23 August 2021)—followed by a three-year monitoring period up to 2024. Surface water and vegetation were mapped using NDWI and SAVI indices processed in ArcGIS and ENVI. The results show an overall increase in Afghanistan's water bodies and vegetation, indicating that current authorities have disregarded the bilateral water treaty by diverting surplus flows from Kamal Khan Dam toward the Godzareh depression. Consequently, Iran faces serious threats, including intensified desertification, border depopulation, and environmental insecurity, requiring urgent national and international policy action.

Cite this article: : Fotoohi, S, Negaresh, H, Firoozi, F, Sistani Badooei, M, Nikpour, N . (2025).Monitoring changes in vegetation cover and surface water resources of the Helmand River from Kajaki Dam to Hamun of Sistan during 2021–2024using RS and GIS. Climat Chenge and Climat Disasters,3(6),1-31.
© The Author(s).
Homepage: cccd.znu.ac.ir **Publisher:** University of Zanjan.

Extended Abstract

Introduction

The Hirmand River serves as the primary water source for northern Sistan and Baluchestan Province, upon which the livelihoods of local populations depend. Due to the failure to secure Iran's water rights, water crises and their secondary hazards have intensified, transforming the water dispute between Iran and Afghanistan into a critical issue. Afghanistan's actions in this domain, coupled with drought conditions, have resulted in reduced water allocation to Iran and subsequent environmental consequences including dust storms and vegetation degradation across the Sistan Plain. The construction of multiple canals and dams such as Kajaki, and particularly the Kamal Khan Dam commissioned in 2021, exemplifies this trend. Given that the Taliban administration constructed this dam in contravention of international treaties, extensive hydrological and environmental problems have emerged in the Sistan Plain (Maturi et al., 2022). Border and territorial disputes, security challenges, and human migration driven by water scarcity constitute fundamental issues intrinsically linked to water and its associated concerns (Araghchi, 2014). Considering the absence of stable democratic governance in Afghanistan, various factors including refugees, narcotics, and hydropolitics related to the Hirmand have predominantly played a divergent role in Iran-Afghanistan relations (Fallahnejad & Amiri, 2015). The water resources of the Hirmand River have remained a contentious subject between Iran and Afghanistan since 1857, as the Hirmand constitutes the sole major water supply for Sistan and Hamoun, functioning as the lifeline of socio-economic activity; any reduction in its inflow to Iran directly impacts regional viability (Akbari et al., 2020). Given the droughts of the past 30 years, the Hirmand River has experienced severe depletion and desiccation, with Afghanistan failing to fulfill the international water rights of the Sistan region. Beyond the

Kajaki Dam, the construction of the Kamal Khan Dam (impounded in 2021) at the downstream terminus of the Hirmand River has further exacerbated water scarcity (Maturi et al., 2022). This study, in response to Afghanistan's claims of drought and water shortage, conducts a spatiotemporal analysis of surface water resources and vegetation cover in Iran and Afghanistan utilizing RS and GIS methodologies. Recognizing that environmental and water resource conservation constitutes a priority for every nation, and that Iran must align its irrigation and agricultural production with its water allocation (Aman, 2016), sustainable development of the Hirmand Basin necessitates adherence to environmental commitments by both Iran and Afghanistan.

Materials and methods

This research employs a quantitative approach based on time-series analysis, utilizing remote sensing methodologies. Data were processed and analyzed using Geographic Information Systems (GIS). For this purpose, Landsat 8 satellite imagery comprising six mosaicked image sets of the study area across five distinct temporal intervals was employed. The Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) was applied for vegetation cover extraction, while the Normalized Difference Water Index (NDWI) was utilized for water body delineation. Subsequently, the extent of vegetation and water cover during the period 2021–2024 was examined and analyzed.

Results and discussion

Based on satellite image processing and analysis spanning 2021 to 2024, changes in vegetation cover and water resources of the Hirmand Basin are presented as follows. Regarding vegetation dynamics, Afghanistan's agricultural land area decreased from 249,000 hectares in April 2021 to 189,000 hectares in 2023, but experienced a sudden increase to 224,000 hectares in 2024. Conversely, vegetation cover in Iran's Hirmand Delta underwent severe decline from 34,000 hectares in April 2021 to 6,486 hectares in 2024, primarily attributable to non-fulfillment of Hirmand water rights. Concerning

water resource variations, the water surface area of Afghanistan's Kajaki Dam exhibited an increasing trend, expanding from 3,624 hectares in 2021 to 4,242 hectares in 2024. During this period, overflow from the Kamal Khan Dam has been deliberately diverted to the Gaud-e Zereh depression where it evaporates without utilization, evidence of which is observable in satellite imagery—a fact that refutes drought claims in the upstream region. Concurrently, Iran's Chah-Nimeh reservoirs have faced critical depletion, with water coverage declining from 8,495 hectares in April 2021 to merely 786 hectares in 2024.

Conclusion

Results indicate that beyond drought and limited climatic fluctuations, political changes in Afghanistan have impacted the country's water resources and agriculture; however, these have been subsequently managed, reversing the negative trajectory of water resources and agriculture toward positive, growing, and sustainable trends. In contrast, the status of water resources and agriculture downstream of the Hirmand River has continuously deteriorated in terms of both water availability and vegetation cover. Therefore, the Afghan governing authority's claims of water shortage behind the dams are refuted, as hydrological and agricultural conditions in Afghanistan have demonstrated an increasing trend. Conversely, Iran's water rights have been compromised, with evidence revealing that during overflow periods at Kajaki and Kamal Khan dams, surplus water does not enter Iran but is instead diverted through the southern gates of Kamal Khan Dam into the Gaud-e Zereh depression in Afghanistan. Consequently, to prevent primary hazards and secondary natural and anthropogenic risks resulting from water scarcity or absence in northern Sistan and Baluchestan Province (Sistan region), specific measures must be implemented through both national and international diplomacy as well as cross-border engagement between Iranian and Afghan populations. Divisive tactics represent colonial-era strategies for regional

destabilization and political exploitation; both Afghan and Iranian populations must remain cognizant of this reality and, by preserving their extensive commonalities, steer the region toward development and sustainable interactions for mutual advancement—prerequisites for which include security, particularly sustainable water security.

Keywords: Drought, Helmand River, Satellite images, Kamal Khan Dam, Kajaki Dam

دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی
شاپا چاپی: ۲۷۸۳-۰۵۵۱
دانشگاه زنجان

پایش تغییرات پوشش گیاهی و منابع آب سطحی رودخانه هیرمند از سد کجکی تا هامون سیستان بین سال‌های (۲۰۲۴– ۲۰۲۱) با استفاده از RS و GIS

صمد فتوحی ✉ [۱] | حسین نگارش [۲] | فاطمه فیروزی [۳] | مسعود سیستانی بدوئی [۴] | نورالله نیک پور [۵]

۱. دانشیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۲- استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۳- دکترای اقلیم شناسی، استاد مدعو گروه علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران
۴- دکترای ژئومورفولوژی، دانشکده جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران
۵- دکتری ژئومورفولوژی، استاد مدعو گروه علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه فرهنگیان، تهران، ایران

اطلاعات مقاله:
نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ‌ها:
دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۹
بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۱۳
پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۸

واژگان کلیدی:
خشکسالی، هیرمند، تصاویرماهواره‌ای، سدکمال‌خان، سدکجکی

چکیده: رودهیرمند منبع اصلی آب شمال استان سیستان‌وبلوچستان بوده که به دلیل عدم تأمین حق‌آبه آن، بحران آبی وخطرات ثانویه را افزایش داده و به یک چالش اصلی بین ایران و افغانستان تبدیل کرده‌است. در این پژوهش با توجه به ادعای خشکسالی وکمبود آب از سوی افغانستان، اقدام به تحلیل سری زمانی-مکانی منابع آب سطحی و پوشش‌گیاهی در ایران و افغانستان با استفاده از RS و GIS شده است. بدین منظور از تصاویرماهواره‌ای لندست استفاده شده که از سدکجکی تا هامون‌سیستان در پنج دوره‌زمانی مختلف و طی دو اتفاق مهم (افتتاح سد کمال خان در تاریخ 26-03-2021 و شروع قدرت هیات‌حاکمه طالبان در تاریخ 23-08-2021) و پایش سه سال متوالی پس از آن تا سال 2024 استخراج شده‌است. آشکارسازی منابع آب سطحی و پوشش‌گیاهی با شاخص‌هایNDWI و SAVI انجام شده که با نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI پردازش شده‌است. نتایج نشان می‌دهد به طور میانگین منابع آبی و پوشش‌گیاهی افغانستان افزایش‌یافته و هیات‌حاکمه‌طالبان حقوق آبی ایران را طبق معاهده بین المللی نادیده می‌گیرد و مازاد آب بندکمال‌خان را در گودزره هدایت می‌نماید. درنتیجه، ایران با بحران‌های بسیارخطرآفرین ازجمله مهاجرت از مناطق مرزی، بیابان‌زایی شدید و ناامنی مواجه خواهد شدکه رسیدگی به این مسائل نیازمند تدابیر ملی و بین‌المللی می‌باشد.

استناد: فتوحی, صمد,نگارش,حسین,فیروزی,فاطمه,سیستانی بدوئی, مسعود,نورالله,نیک پور. (۱۴۰۳). پایش تغییرات پوشش گیاهی و منابع آب سطحی رودخانه هیرمند از سد کجکی تا هامون سیستان بین سال‌های (۲۰۲۴– ۲۰۲۱) با استفاده از RS و GIS . دگرگونی ها و مخاطرات آب و هوایی,۳(۶), ۱-۳۱.

© نویسندگان .

ناشر: دانشگاه زنجان

Homepage: cccd.znu.ac.ir

۱. مقدمه

شناخت ویژگی‌های پوشش گیاهی و روابط موجود و عوامل محیطی تغییر دهنده آن همواره مورد توجه بوم شناسان بوده است (Depew 2004 & Magee 2008). دلیل این امر، اهمیت زیاد پوشش گیاهی از نظر زیستگاهی، تولید انرژی و دیگر خصوصیات مهم گیاهان در زمین می‌باشد. پوشش‌های گیاهی، به علل مختلف و به مرور زمان در اثر عوامل طبیعی و یا انسانی دچار تغییر می‌شود (Pettorelli et al, 2005) که در مناطق مختلف می‌تواند شرایط محیطی و تبادلات انرژی را کنترل نموده (Goward et al, 1985) و به عنوان عاملی مؤثر در کنترل آلودگی و سلامت انسان‌ها عمل نماید (Wagrowski & Hites, 1997). رشد و نمو گیاهان به طور دائم تحت تأثیر عوامل مختلف محیطی قرار می‌گیرد (Franklin et al, 2010). تنش‌های محیطی به طورکلی حدود ۷۱ درصد از عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد (Ranjbar & Pirasteh Anousheh, 2015) و خشکسالی بخصوص در مناطق خشک و نیمه خشک جهان از جمله خاورمیانه، که آب یکی از مسائل حیاتی در آن به شمار می رود اثر زیادی در این مورد گذاشته است. اختلاف مرزی و اراضی، چالش‌های امنیتی و مهاجرت گروه‌های انسانی ناشی از کم آبی، مسائلی اساسی هستند که با آب و موضوعات فرعی مربوط به آن پیوند دارند (Araghchi, 2014). با توجه به فقدان حکومت دموکراسی و پایدار در افغانستان، عوامل مختلفی چون آوارگان، مواد مخدر و هیدروپلتیک مربوط به هیرمند عمدتا نقشی واگرایانه در مناسبات ایران و افغانستان بازی نموده اند (Fallahnejad & Amiri, 2015) . منابع آب رودخانه هیرمند از سال ۱۸۵۷ تاکنون یکی از موضوعات مورد مناقشه

ایران و افغانستان بوده زیرا هیرمند تنها منبع عمده تامین آب سیستان و هامون بوده که به منزله جریان حیات اجتماعی-اقتصادی، هرگونه کاهش در میزان آب ورودی آن به ایران حیات منطقه را تحت تاثیر قرار می دهد (Akbari et al 2021). با توجه به خشکسالی‌های ۳۰ سال اخیر، آب رودخانه هیرمند بسیار کم و خشک شده و کشور افغانستان حق آبه بین المللی منطقه سیستان را تأمین نمی‌نماید و علاوه بر سدکجکی، سد کمال‌خان (آبگیری در ۱۴۰۰) را نیز در انتهای رودخانه هیرمند احداث نموده و مشکلات آبی را بیشتر نموده است. (Matouri et al 2022).

مساله هیرمند و حقابه همچنان در روابط دو کشور ایران و افغانستان به عنوان یک عامل مشاجره پایدار باقی مانده است، به گونه‌ای که در این خصوص تحقیقات زیادی انجام شده است که به عنوان نمونه می توان به آثار Matouri et al (2022) و همکاران Shafiei (2023) و Dorj (2023) اشاره نمود که در تحقیقات خود مواردی همچون (احداث و بهره‌برداری سد کمال خان توسط افغانستان از منظر حقوق بین الملل، روابط بین ایران و هیات حاکمه طالبان و عوامل اثرگذار بر آن و وضعیت آینده رودخانه هیرمند و قدرت‌نمایی افغانستان با توجه به شرایط طبیعی و سیاسی منطقه) را مورد بحث و تحلیل قرار داده‌اند. در این تحقیق به صورت تخصصی سعی در شفاف‌سازی وضعیت پوشش گیاهی و منابع آبی حوضه رودخانه هیرمند از سد کجکی تا هامون سیستان با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی شده است. سنجش از دور عبارت است از علم دریافت اطلاعات بدون تماس فیزیکی با آن‌ها (Zeaian & Parvin, 2012). اصطلاح سنجش‌ازدور برای اولین بار در دهه ۱۹۵۰ توسط جغرافیدان و اقیانوس‌شناس به نام

اولین پرویت[1] مورد استفاده قرار گرفت (Lantiri, 1988). استفاده از فناوری سنجش‌ازدور ماهواره‌ای در ایران از سال ۱۳۵۱ به دنبال پرتاب اولین ماهواره‌ی مطالعه‌ی منابع زمینی ارتس یک[2] که بعدها به لندست تغییر نام داد، آغاز شد (Zeaian Firoozabadi & Parvin, 2012) و به سرعت گسترش یافت. سابقه تحقیقات با این فنون در چند دهه اخیر تحول شگرفی در کسب و بهره‌برداری از اطلاعات مربوط به زمین و محیط زیست نموده است که می‌تواند به‌عنوان ابزاری مناسب در مطالعات و بررسی‌های منابع طبیعی و محیطی در دسترس پژوهشگران قرار گیرد که در زیر به برخی تحقیقات انجام گرفته با این روش اشاره می‌گردد.

(Shakeryari, 2015) در پایش روند تغییرات تالاب‌های سه‌گانه هامون و پوشش اراضی اطراف آن‌ها در یک بازه زمانی ۳۸ ساله (۲۰۱۴-۱۹۷۷) با استفاده از تولیدات سنجش‌ازدور ماهواره‌ای به این نتیجه رسیدند که در دوره اول (۱۹۸۸-۱۹۷۷) و دوره دوم (۲۰۰۲-۱۹۸۸) تغییرات تالاب‌های سه‌گانه هامون به‌صورت منفی بوده اما در دوره سوم (۲۰۱۴-۲۰۰۲) تغییرات دارای یک شیب مثبت در جهت احیاء شدن تالاب‌ها پیش رفته است.

Firoozi (2018) به مطالعه مدل سازی مولفه‌های محیطی در دشت سیستان در شرق ایران از تولیدات سنجنده MODIS ماهواره ترا با قدرت تفکیک فضایی یک در یک کیلومتر برای یک دوره آماری ۱۵ ساله (۲۰۱۴-۲۰۰۰) برای سه ماه آوریل، می و ژوئن استفاده کردند. نتایج نشان داد، کانون بیشترین تغییرات افزایشی در شاخص NDVI در شمال شرق دشت و کانون

[1] EvelynPruitt

[2] Ertsi

بیشترین تغییرات کاهشی در شرق و مرکز دشت مشاهده شده است. از طرف دیگر عدم وجود همبستگی بین متغیرهای اقلیمی با پویایی پوشش گیاهی در دشت سیستان، همبستگی بین میانگین سالانه ورودی رودخانه هیرمند به عنوان تنها رودخانه جاری در این دشت، با پوشش گیاهی ماه‌های آوریل، می و ژوئن مورد توجه قرار گرفته است. Zakerinejad and Moavi (2024) به بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی در پوشش گیاهی در حوضه آب شوشتر با استفاده از سنجش از دور پرداختند. نتایج نشان داد سد، مراکز صنعتی، کارگاه های آلاینده و افزایش دما باعث کاهشی شدن پوشش گیاهی در منطقه شده است.

با توجه به اینکه حفاظت از محیط زیست و منابع آب اولویت هر کشوری است و ایران باید آبیاری و محصولات کشاورزی خود را با سهم خود از آب تطبیق دهد، در نتیجه توسعه پایدار حوضه هیرمند نیازمند عمل به تعهدات زیست محیطی دو کشور ایران و افغانستان در آن است.

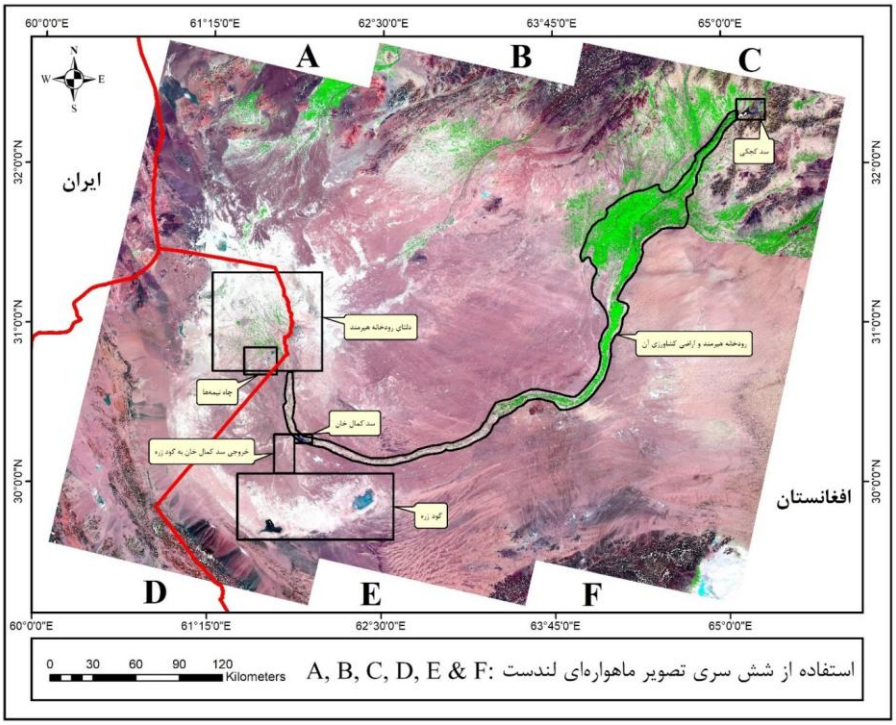
۲. داده‌ها و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

حوضه رودخانه هیرمند منشأ پیدایش تمدن‌های گوناگونی در دوران ما قبل تاریخ و تاریخی به شمار می‌رود و معیشت مردم به شدت به آبریزهای این حوضه وابسته می‌باشد. هیرمند که بخش اعظم آن در خاک افغانستان واقع شده است، از کوه‌های شرقی افغانستان جاری شده و به دریاچه هامون در استان سیستان و بلوچستان در ایران می‌ریزد. رود بزرگ هیرمند از رودهای پر آب شرقی فلات ایران و آسیا به شمار می‌رود که سالانه میلیاردها متر مکعب آب در آن جریان یافته و طول آن ۱۱۰۰ کیلومتر می‌باشد(Afshar, 1988). این رود از بلندی‌های کوه‌های بابا در ۴۰ کیلومتری غرب کابل از رشته کوه

هندوکش در افغانستان سرچشمه می‌گیرد و در نهایت به دریاچه هامون می‌ریزد و از آنجایی که حوضه آبریز بسته است، مقدار زیادی املاح در پایین دست خود به جای می‌گذارد. این رودخانه در محل بند کمال خان واقع در خاک افغانستان تغییر مسیر داده و به شمال منحرف و در بند کهک واقع در ۳۶ کیلومتری جنوب شرقی شهر زابل وارد خاک ایران می‌شود و از این نقطه به بعد رودخانه هیرمند به دو شاخه سیستان و پریان مشترک یا هیرمند مرزی تقسیم می‌شود که شاخه سیستان وارد خاک ایران شده و رودخانه سیستان را تشکیل می‌دهد و پس از طی ۷۰ کیلومتردر ادامه مسیر، به دو شاخه ادیمی و افضل آباد تقسیم می‌شود که شاخه ادیمی به هامون صابری و شاخه افضل آباد به هامون هیرمند می‌ریزد. شاخه دیگر رودخانه هیرمند، هیرمند مرزی یا پریان مشترک است که مرز آبی مشترک بین دو کشورافغانستان و ایران نیز محسوب می شود و انشعابات کانال شیردل، گلمیر و کانال شماره ۱ که به داخل ایران جریان دارند و زمین های منطقه میان‌کنگی از آن منشعب شده و در نهایت به هامون پوزک می‌ریزد. دریاچه هامون با عمق متوسط ۵ متر و سطحی معادل با ۳۵۰ هزار هکتار که بزرگ ترین دریاچه آب شیرین منطقه است در واقع شامل سه هامون بزرگ به نام هامون پوزک در شمال شرقی، هامون صابری در شمال غربی و هامون هیرمند در مغرب و جنوب غربی دشت سیستان واقع شده است که در فصول پرآبی به هم پیوسته و در فصول خشک از هم جدا می‌شوند. قسمت عمده‌ای از هامون پوزک و هامون صابری در خاک افغانستان قرار دارد، ولی هامون هیرمند به طور کامل در ایران واقع شده است (Water Resources of the Sistan-Plain, 2004). بخش قابل‌توجهی از اراضی آبی استان سیستان و بلوچستان ایران از منابع

آب حوضه رودخانه هیرمند تأمین می‌شود و در سال ۲۰۱۶ تالاب هامون در فهرست کنوانسیون رامسر ثبت شده و به عنوان ذخیرگاه زیست کره یونسکو شناخته می‌شود. در محدوده مورد مطالعه ۷ محدوده اصلی مورد بررسی قرار گرفته است که شامل پوشش گیاهی (دلتای رودخانه هیرمند و کلیه اراضی کشاورزی اطراف رودخانه هیرمند در افغانستان) و پوشش آبی (سد کجکی، سد کمال‌خان، چاه نیمه‌ها، گود زره و کانال ارتباطی سد کمال‌خان به گود زره) می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (منبع: نویسندگان)

۲.۲. داده‌ها

پژوهش حاضر بصورت تحلیل کمی- سری زمانی و روش انجام آن به صورت سنجش

از دور است که داده‌های آن با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS مورد پردازش و تحلیل قرار گرفته است. در انجام این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ استفاده شده است که شامل ۶ سری تصویر موزائیک شده از منطقه مورد مطالعه در ۵ زمان متفاوت (مجموعا ۳۰ مجموعه) بوده است. در جدول شماره ۱ مشخصات داده‌های دانلود شده و تاریخ‌های دقیق این تصاویر که از سایت Earthexplorer دانلود شده ذکر گردیده است.

جدول۱: شماره Index و تاریخ تصاویر لندست مورد استفاده در تحقیق (منبع: نویسندگان)

Path و Row موزاییک شده از کل منطقه مورد مطالعه	تاریخ استفاده تصاویر ماهواره لندست در تحقیق
۱۵۵ - ۰۳۸	افتتاح سد یا بند کمال خان در تاریخ (۱۴۰۰/۰۱/۰۶)
۱۵۵ - ۰۳۹	شروع قدرت طالبان در تاریخ (۱۴۰۰/۰۷/۰۱)
۱۵۶ - ۰۳۸	تصویر (۱۴۰۱/۰۶/۱۸)
۱۵۶ - ۰۳۹	تصویر (۱۴۰۲/۰۴/۱۱)
۱۵۷ - ۰۳۸	تصویر (۱۴۰۳/۰۱/۰۸)
۱۵۷ - ۰۳۹	

۳.۲. روش‌ها

از آنجایی که داده‌های دانلود شده لندست از سری (Collection 2 – Level 2) می‌باشند بنابراین نیاز به تصحیحات هندسی، رادیومتریک، اتمسفری و توپوگرافی نداشته چون این تصحیحات روی این تصاویر اعمال شده است. بنابراین باندهای طیفی آن مستقیما مورد پردازش قرار گرفته‌اند. در تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی از شاخص پوشش‌گیاهی تفاضل تعدیل شده خاک (SAVI)

(Miralizadeh Fard & Mansouri, 2019) و در تهیه نقشه‌های پوشش آبی از شاخص تفاضل نرمال شده آب (NDVI) استفاده شده است (Khosravian et al., 2018) (رابطه ۱ و ۲).

رابطه (۱). شاخص تفاضل نرمال شده آب:

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

رابطه (۲). شاخص پوشش‌گیاهی تفاضل تعدیل شده خاک:

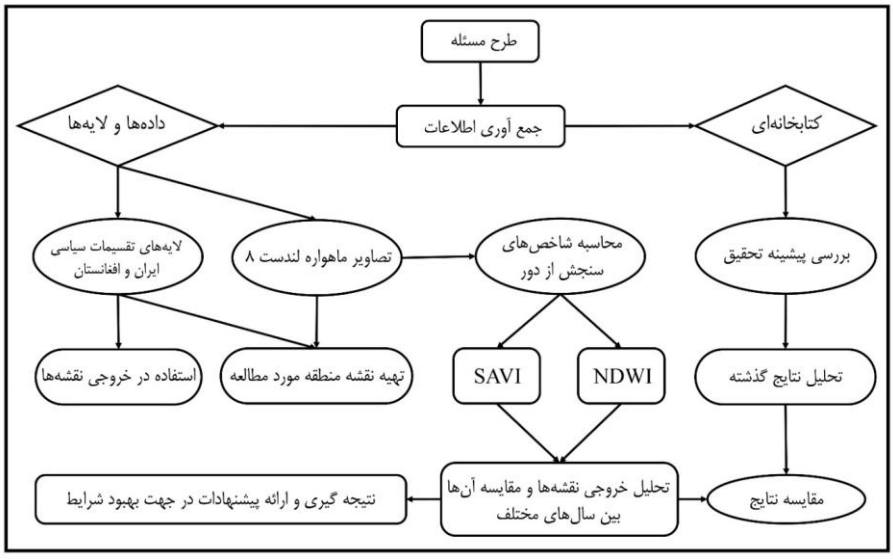
$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \times (1 + L)$$

در این رابطه‌ها، NIR باند مادون قرمز نزدیک (باند۵)، Blue باند آبی (باند۲) و RED باند قرمز (باند۴) در ماهواره لندست ۸ و L عددی ثابت بین صفر تا یک می‌باشد (Sistani et al., 2021) که در کاهش اثر بازتاب خاک بر مقدار شاخص پوشش گیاهی تاثیر گذاشته و دقت خروجی را افزایش می‌دهد. از آنجایی که پوشش گیاهی در محدوده‌های مورد بحث کم تا متوسط است بنابراین میزان L در فرمول فوق 0.5 در نظر گرفته شده است که در مرحله صحت سنجی نیز نتیجه مطلوب را در خروجی‌ها داشته است. در استخراج پیکسل‌های دارای پوشش گیاهی و آبی از طبقه بندی نظارت نشده استفاده شده است. به دلیل این که منطقه مورد مطالعه از سد کجکی تا هامون سیستان به ترتیب در آب و هوای نیمه خشک تا خشک قرار دارد، برای طبقه بندی شاخص‌های SAVI و NDWI از طبقه بندی آستانه‌ای استفاده شده و از آستانه شروع پوشش گیاهی و آبی بر مبنای محاسبه طیفی بهره برده شده که در منابع مختلف این دستورالعمل مورد استفاده قرار گرفته است. بنابراین طبق (جدول ۲) طبقه بندی آستانه محور مبتنی بر این دو شاخص نشان داده شده است.

جدول۲: الگوی طبقه بندی شاخص‌های پوشش گیاهی و پوشش آبی بر اساس ارزش پیکسلی (منبع: نویسندگان)

شاخص	حداقل و حداکثر ارزش پیکسل‌ها	ارزش پیکسل‌های زمین‌های بایر	ارزش پیکسل‌ها در طبقه بندی آستانه محور
SAVI	۱/۵ تا ۱/۵-	۰/۲ تا ۱/۵-	۱/۵ تا ۰/۲
NDWI	۱ تا ۱-	۰/۱ تا ۱-	۱ تا ۰/۱

به منظور و بررسی دقت خروجی نقشه‌های پوشش گیاهی و آبی، با توجه به تصویر RGB تولید شده از تصاویر لندست، صحت سنجی شد که در بخش یافته‌ها و نتایج به آن پرداخته خواهد شد. در (شکل ۲) مراحل انجام تحقیق نشان داده شده است.



شکل ۲: چارت مراحل انجام تحقیق (منبع: نویسندگان)

۳. یافته‌ها و نتایج

در سال ۲۰۲۱ تعداد دو تصویر مورد پردازش قرار گرفته است که تصویر اول مربوط به فروردین ۱۴۰۰ هم زمان با افتتاح سد کمال‌خان و تصویر دوم مربوط به مهرماه ۱۴۰۰ در زمان آغاز قدرت هیئت حاکمه طالبان در افغانستان بوده است. سپس سه سال متوالی پس از آن نیز مورد بررسی و پایش قرار گرفته و اطلاعات آن استخراج و مساحت مربوط به پوشش گیاهی و پوشش آبی هر سری در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شده است.

۳. ۱. تغییرات پوشش گیاهی

۳. ۱. ۱. بررسی تغییرات پوشش گیاهی اراضی کشاورزی افغانستان از پایین دست سد کجکی تا مرز ایران

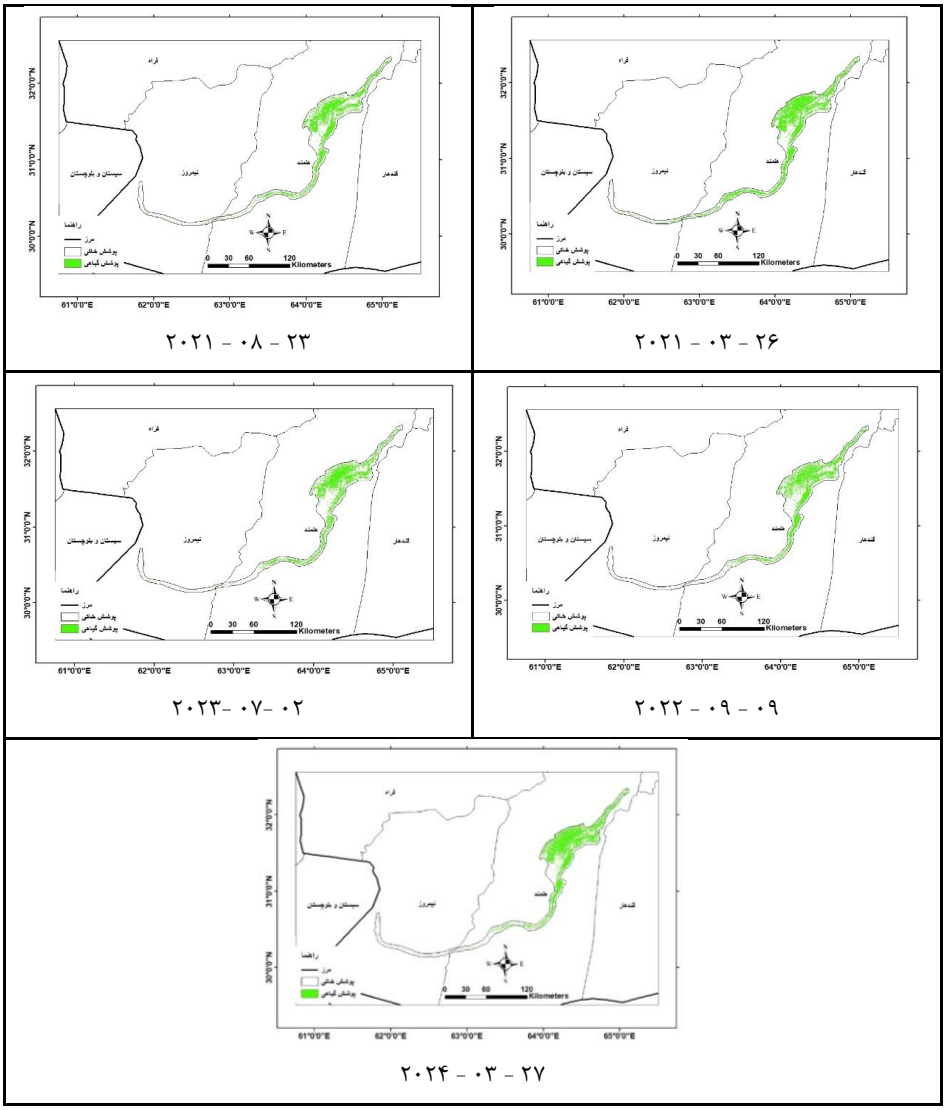
نقشه‌های پوشش گیاهی اراضی کشاورزی افغانستان، از پایین دست سد کجکی تا مرز ایران که بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای لندست طی سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ تهیه شده است، نشان می‌دهد که پوشش گیاهی ابتدا روندی کاهشی و سپس افزایشی داشته است که تغییرات سیاسی و شیوه مدیریتی کشاورزی در این کشور به طور مستقیم روی این روند تاثیر گذاشته است. بر اساس داده‌های به‌دست آمده، میزان پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه در فروردین سال ۱۴۰۰ (زمان افتتاح سد کمال خان) به بیشترین مقدار خود، یعنی حدود ۲۴۹۰۰۰ هکتار، رسیده است. با این حال، در مهرماه همان سال و همزمان با آغاز به قدرت رسیدن هیأت حاکمه طالبان در افغانستان، کاهش شدیدی در پوشش گیاهی منطقه مشاهده شد که میزان آن به حدود ۱۸۹۰۰۰ هکتار رسید. به عبارت دیگر کاهش حدود ۶۰۰۰۰ هکتاری نسبت به زمان افتتاح سد رخ داده است. روند کاهشی پوشش گیاهی در سال‌های بعد نیز ادامه یافته و در سال

۱۴۰۱ این میزان به ۱۹۰۰۰۰ هکتار و در سال ۱۴۰۲ به ۱۸۵۰۰۰ هکتار رسیده است. اما در سال ۱۴۰۳، پوشش گیاهی با افزایش ناگهانی به ۲۲۴۰۰۰ هکتار رسید که روند افزایشی به خود گرفت. کاهش پوشش گیاهی پیش از سال ۱۴۰۳ می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی باشد، از جمله توقف و کاهش کشت خشخاش، نا آرامی‌های سیاسی، هرج و مرج در جامعه، مهاجرت بخشی از جمعیت افغانستان و کاهش فعالیت‌های کشاورزی. افزایش پوشش گیاهی پس از دو سال در سال ۱۴۰۳ و روند صعودی بسیار زیاد آن می‌تواند به عواملی همچون تأمین منابع آب کافی و ایجاد ثبات سیاسی نسبی و کنترل هیات حاکمه طالبان در افغانستان و در نتیجه افزایش فعالیت‌های زراعی نسبت به گذشته مرتبط باشد (شکل۳ و جدول۳).

جدول ۳: جزییات محاسبات پوشش گیاهی مرتبط با رودخانه هیرمند در افغانستان

(منبع: نویسندگان)

تاریخ	تعداد پیکسل خاک	تعداد پیکسل پوشش گیاهی	مساحت خاک (متر مربع)	مساحت پوشش گیاهی (متر مربع)	مساحت خاک (هکتار)	مساحت پوشش گیاهی (هکتار)
۲۰۲۱/۰۳/۲۶	۳۶۵۸۱۰۴	۲۷۶۳۲۹۴	۳۲۹۲۲۹۳۶۰۰	۲۴۸۶۹۶۴۶۰۰	۳۲۹۲۲۹/۳۶	۲۴۸۶۹۶/۴۶
۲۰۲۱/۰۸/۲۳	۴۳۲۳۵۷۱	۲۰۹۷۸۲۷	۳۸۹۱۲۱۳۹۰۰	۱۸۸۸۰۴۴۳۰۰	۳۸۹۱۲۱/۳۹	۱۸۸۸۰۴/۴۳
۲۰۲۲/۰۹/۰۹	۴۳۰۴۸۰۸	۲۱۱۶۵۹۰	۳۸۷۴۳۲۷۲۰۰	۱۹۰۴۹۳۱۰۰۰	۳۸۷۴۳۲/۷۲	۱۹۰۴۹۳/۱
۲۰۲۳/۰۷/۰۲	۴۳۷۰۷۶۴	۲۰۵۰۶۳۴	۳۹۳۳۶۸۷۶۰۰	۱۸۴۵۵۷۰۶۰۰	۳۹۳۳۶۸/۷۶	۱۸۴۵۵۷/۰۶
۲۰۲۴/۰۳/۲۷	۳۹۳۰۷۶۹	۲۴۹۰۶۲۹	۳۵۳۷۶۹۲۱۰۰	۲۲۴۱۵۶۶۱۰۰	۳۵۳۷۶۹/۲۱	۲۲۴۱۵۶/۶۱

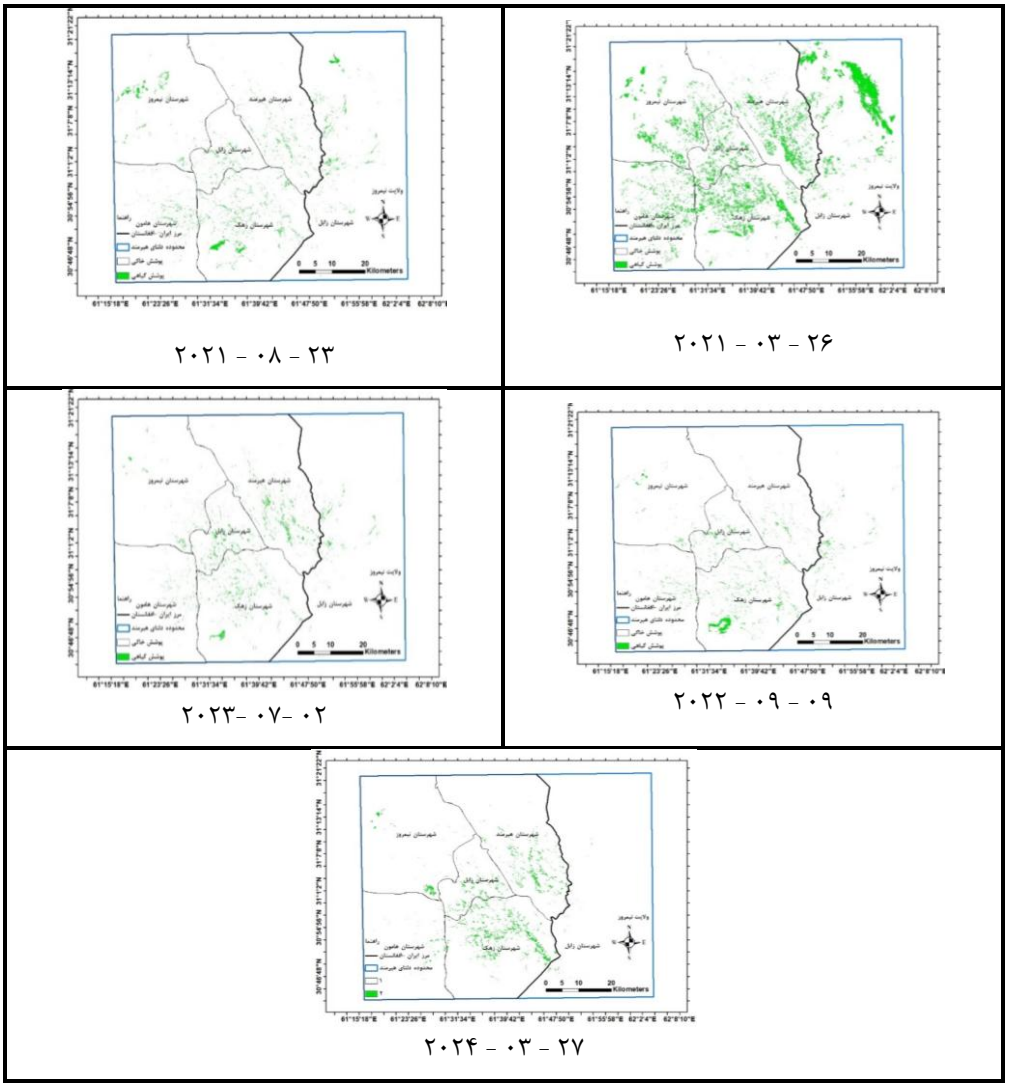


شکل ۳: نقشه شاخص SAVI اراضی کشاورزی افغانستان بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ (منبع: نویسندگان)

۳. ۱. ۲. بررسی تغییرات پوشش گیاهی دلتای رودخانه هیرمند

در مقابل، ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی پایین دست رودخانه هیرمند یعنی دلتای این رودخانه که بیشترین مساحت آن در

ایران است، در بازه زمانی فوق با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای که اکثرا مربوط به شهرستان‌های نیمروز، زهک، زابل، هیرمند و هامون می‌باشد، روندی کاهشی به خود گرفته است. بر این اساس هم زمان با افتتاح سد کمال‌خان، پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه از تراکم نسبتاً مطلوبی برخوردار بوده است. این امر با توجه به وابستگی پوشش گیاهی این شهرستان‌ها به میزان آب ورودی رودخانه هیرمند از کشور افغانستان قابل توجیه است؛ به‌گونه‌ای که در فروردین ۱۴۰۰، مساحت پوشش گیاهی در محدوده ایران حدود ۳۴۰۰۰ هکتار برآورد شده است. همچنین، در همین بازه زمانی، در محدوده هامون پوزک و صابوری در کشور افغانستان نیز پوشش گیاهی متراکمی مشاهده می‌شود. با این حال، هم‌زمان با به قدرت رسیدن طالبان در مهرماه ۱۴۰۰، مساحت پوشش گیاهی در محدوده ایرانی منطقه مورد مطالعه با کاهش شدید مواجه شده و به حدود ۶۳۳۰ هکتار (نزدیک به یک‌پنجم مقدار اولیه) می‌رسد. این روند کاهشی در سال‌های بعد نیز ادامه یافته به‌طوری که مساحت پوشش گیاهی در سال ۲۰۲۲ به حدود ۴۵۶۱ هکتار و در سال ۲۰۲۳ به حدود ۴۵۱۳ هکتار کاهش یافته است. در سال ۲۰۲۴ اگرچه میزان پوشش گیاهی به حدود ۶۴۸۶ هکتار افزایش یافته، اما این افزایش جزئی تأثیر معناداری بر روند کلی نداشته است. به طورکلی، تغییرات پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد بررسی در بخش ایرانی منطقه نشان‌دهنده یک روند کاهشی آشکار است. دلایل این کاهش، علاوه بر تحولات سیاسی و مدیریتی در کشور افغانستان، شامل عواملی نظیر خشکسالی، عدم تأمین حقابه رودخانه هیرمند از سوی افغانستان می‌باشد (شکل۴ و جدول۴).



شکل۴: نقشه شاخص SAVI دلتای رودخانه هیرمند بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ (منبع: نویسندگان)

جدول ۴: جزییات محاسبات پوشش گیاهی دلتای دریاچه هامون (منبع: نویسندگان)

تاریخ	تعداد پیکسل خاک	تعداد پیکسل پوشش گیاهی	مساحت خاک (متر مربع)	مساحت پوشش گیاهی (متر مربع)	مساحت خاک (هکتار)	مساحت پوشش گیاهی (هکتار)
۲۰۲۱/۰۳/۲۶	۵۴۲۹۲۸۳	۳۷۷۱۵۷	۴۸۸۶۳۵۴۷۰۰	۳۳۹۴۴۱۳۰۰	۴۸۸۶۳۵/۴۷	۳۳۹۴۴/۱۳
۲۰۲۱/۰۸/۲۳	۵۷۳۶۱۱۴	۷۰۳۲۶	۵۱۶۲۵۰۲۶۰۰	۶۳۲۹۳۴۰۰	۵۱۶۲۵۰/۲۶	۶۳۲۹/۳۴
۲۰۲۲/۰۹/۰۹	۵۷۵۵۶۶۸	۵۰۷۷۲	۵۱۸۰۱۰۱۲۰۰	۴۵۶۹۴۸۰۰	۵۱۸۰۱۰/۱۲	۴۵۶۹/۴۸
۲۰۲۳/۰۷/۰۲	۵۷۵۶۲۸۵	۵۰۱۵۵	۵۱۸۰۶۵۶۵۰۰	۴۵۱۳۹۵۰۰	۵۱۸۰۶۵/۶۵	۴۵۱۳/۹۵
۲۰۲۴/۰۳/۲۷	۵۷۳۴۳۶۸	۷۲۰۷۲	۵۱۶۰۹۳۱۲۰۰	۶۴۸۶۴۸۰۰	۵۱۶۰۹۳/۱۲	۶۴۸۶/۴۸

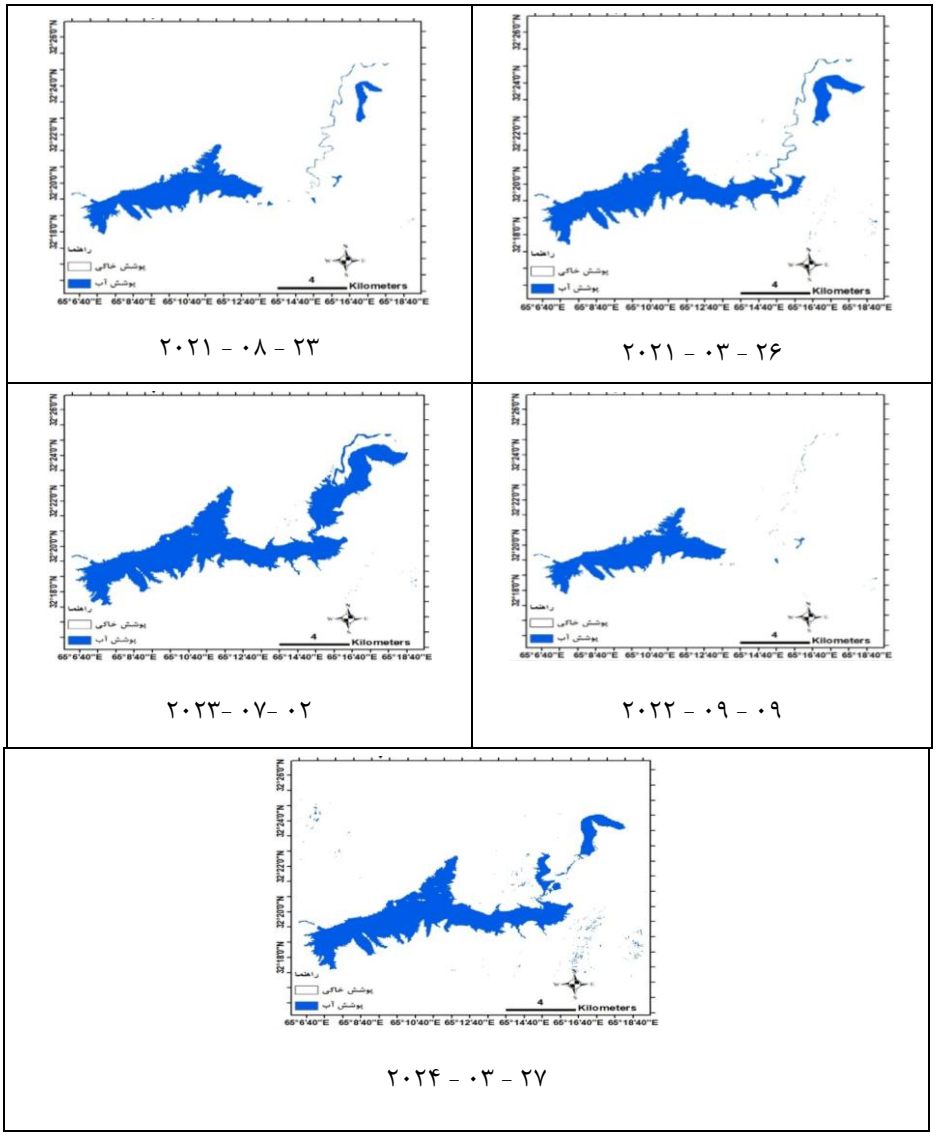
۳. ۲. تغییرات منابع آب سطحی

در این بخش ۵ محدوده از مناطق دارای پوشش آب سطحی از سد کجکی تا چاه نیمه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است تا وضعیت منطقه مورد پایش قرار گیرد و با وضعیت منابع آب سطحی ایران در پایین دست رودخانه هیرمند مقایسه گردد. این چهار محدوده شامل (سد کجکی، سد کمال خان، گود زره، کانال ارتباطی سد کمال‌خان به گود زره و چاه نیمه‌ها) می‌باشد که در زیر به بررسی و تحلیل وضعیت آن پرداخته خواهد شد.

۳. ۲. ۱. بررسی تغییرات پهنه آب سطحی در سد کجکی

به طور کلی نوسانات سطحی آب در پشت سد کجکی از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ نیز همانند روند تغییرات پوشش گیاهی در افغانستان در دو سال اول یعنی هم زمان با تغییرات سیاسی، یک روند کاهشی شدید را نشان می‌دهد و مجددا در سال‌های ۲۰۲۳ و ۲۰۲۴ میزان آب پشت سد کجکی روند افزایشی به خود می‌گیرد بطوری که در سال ۲۰۲۱ میزان سطح پوشش آب پشت سد کجکی حدودا ۳۶۲۴ هکتار و این

میزان در سال ۲۰۲۴ به ۴۲۴۲ هکتار افزایش می‌یابد. بنابراین رابطه تقریبا مستقیمی بین افزایش و کاهش حجم آب در سد کجکی و سطح کشاورزی و باغی تا سد کمال خان وجود دارد (شکل۵ و جدول۵).



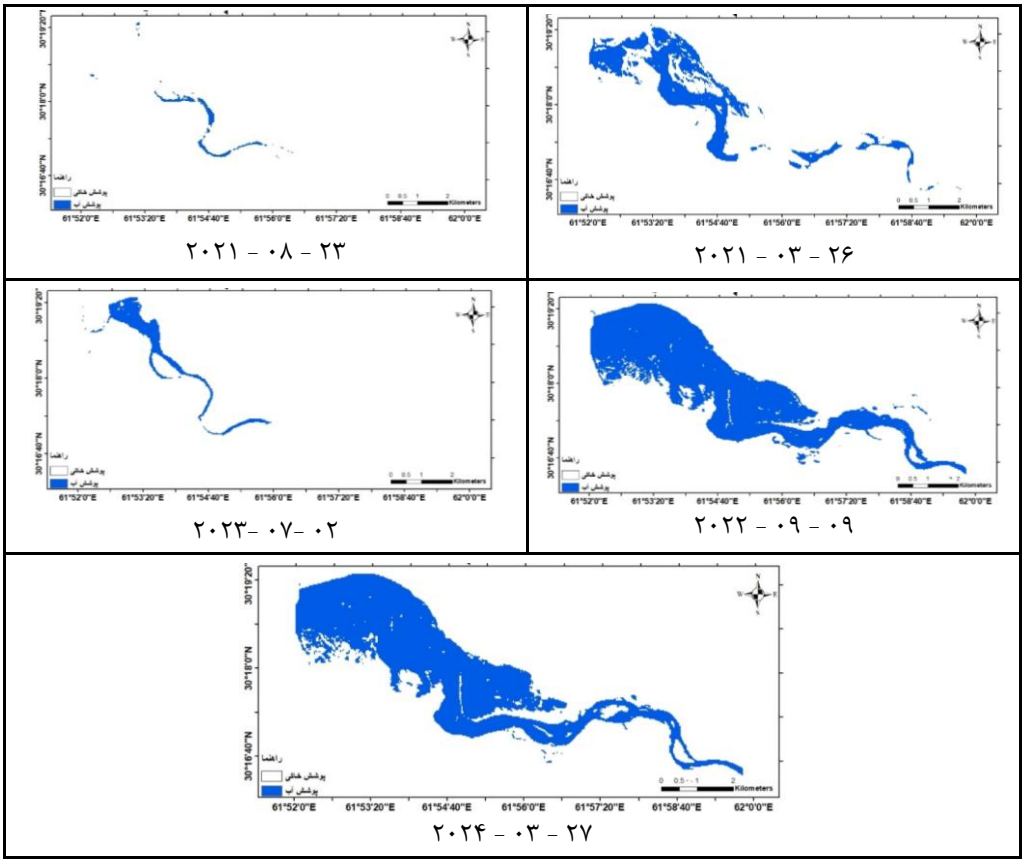
شکل۵: نقشه شاخص NDWI سد کجکی بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ (منبع: نویسندگان)

جدول۵: جزییات محاسبات پهنه آبی سد کجکی (منبع: نویسندگان)

تاریخ	تعداد پیکسل خاک	تعداد پیکسل پوشش آبی	مساحت خاک (متر مربع)	مساحت پوشش آبی (متر مربع)	مساحت خاک (هکتار)	مساحت پوشش آبی (هکتار)
۲۰۲۱/۰۳/۲۶	۲۷۷۳۱۰	۴۰۲۶۷	۲۴۹۵۷۹۰۰۰	۳۶۲۴۰۳۰۰	۲۴۹۵۷/۹	۳۶۲۴/۰۳
۲۰۲۱/۰۸/۲۳	۲۹۲۴۶۵	۲۵۱۱۲	۲۶۳۲۱۸۵۰۰	۲۲۶۰۰۸۰۰	۲۶۳۲۱/۸۵	۲۲۶۰/۰۸
۲۰۲۲/۰۹/۰۹	۲۹۴۴۴۶	۲۳۱۳۱	۲۶۵۰۰۱۴۰۰	۲۰۸۱۷۹۰۰	۲۶۵۰۰/۱۴	۲۰۸۱/۷۹
۲۰۲۳/۰۷/۰۲	۲۵۹۳۶۸	۵۸۲۰۹	۲۳۳۴۳۱۲۰۰	۵۲۳۸۸۱۰۰	۲۳۳۴۳/۱۲	۵۲۳۸/۸۱
۲۰۲۴/۰۳/۲۷	۲۷۰۴۳۵	۴۷۱۴۲	۲۴۳۳۹۱۵۰۰	۴۲۴۲۷۸۰۰	۲۴۳۳۹/۱۵	۴۲۴۲/۷۸

۳. ۲. ۲. بررسی تغییرات پهنه آب سطحی در سد یا بند کمال خان

سد یا بند کمال خان دومین سد رودخانه هیرمند در افغانستان است که تقریبا در انتهای این رودخانه و در نزدیکی با مرز ایران احداث شده است. نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای نشان می‌دهد سطح پهنه آبی در این سد در بازه مورد مطالعه روندی کاهشی و افزایشی به صورت متوالی داشته که با میزان حجم آب سد کجکی رابطه‌ای تقریبا مستقیم اما به طور کلی روند آبگیری این سد روندی افزایشی بوده و به به باز و بسته کردن دریچه‌های سد کجکی بستگی داشته است (شکل۶ و جدول۶).



شکل ۶: نقشه شاخص NDWI سد کمال خان بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ (منبع: نویسندگان)

جدول ۶: جزییات محاسبات پهنه آبی سد کمال خان (منبع: نویسندگان)

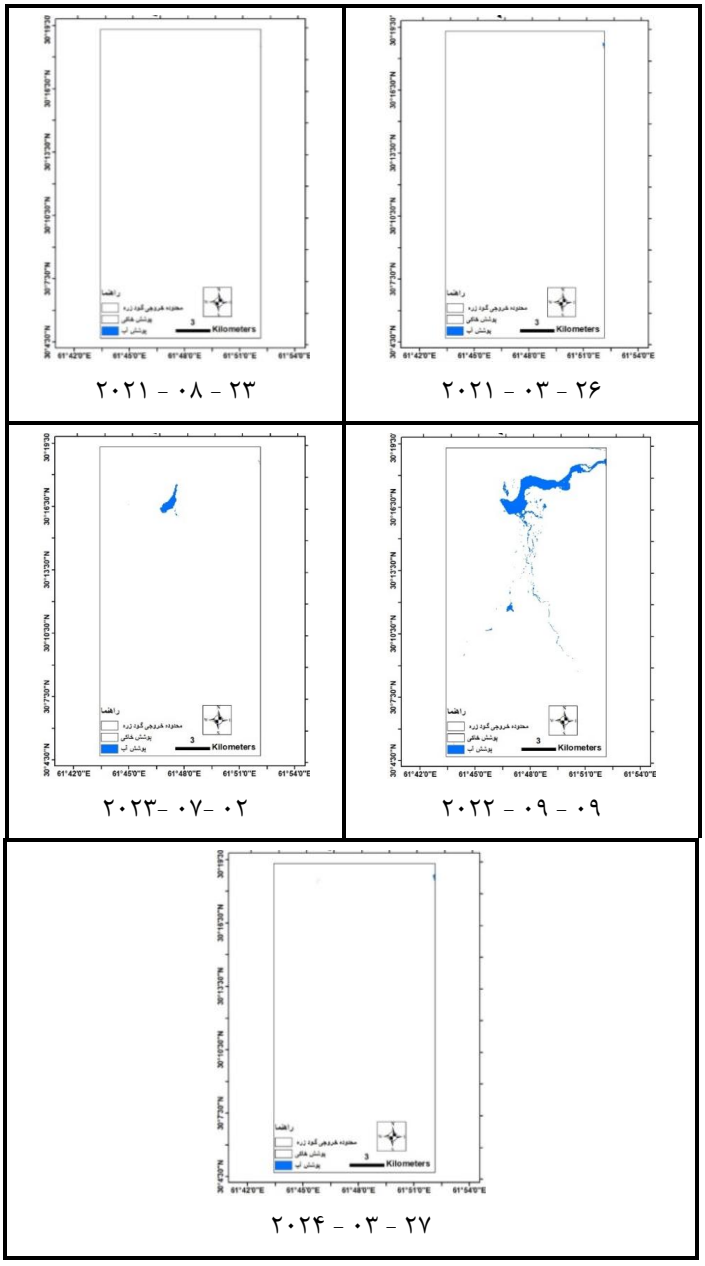
تاریخ	تعداد پیکسل خاک	تعداد پیکسل پوشش آبی	مساحت خاک (متر مربع)	مساحت پوشش آبی (متر مربع)	مساحت خاک (هکتار)	مساحت پوشش آبی (هکتار)
۲۰۲۱/۰۳/۲۶	۷۶۷۷۷	۷۲۵۵	۶۹۰۹۹۳۰۰	۶۵۲۹۵۰۰	۶۹۰۹/۹۳	۶۵۲/۹۵
۲۰۲۱/۰۸/۲۳	۸۳۴۴۸	۵۸۴	۷۵۱۰۳۲۰۰	۵۲۵۶۰۰	۷۵۱۰/۳۲	۵۲/۵۶
۲۰۲۲/۰۹/۰۹	۶۳۸۲۸	۲۰۲۰۴	۵۷۴۴۵۲۰۰	۱۸۱۸۳۶۰۰	۵۷۴۴/۵۲	۱۸۱۸/۳۶
۲۰۲۳/۰۷/۰۲	۸۱۸۹۴	۲۱۳۸	۷۳۷۰۴۶۰۰	۱۹۲۴۲۰۰	۷۳۷۰/۴۶	۱۹۲/۴۲
۲۰۲۴/۰۳/۲۷	۶۶۲۴۴	۱۷۷۸۸	۵۹۶۱۹۶۰۰	۱۶۰۰۹۲۰۰	۵۹۶۱/۹۶	۱۶۰۰/۹۲

۳. ۲. ۳. بررسی تغییرات پهنه آب سطحی در گود زره و کانال انتقال آب از سد کمال خان به آن

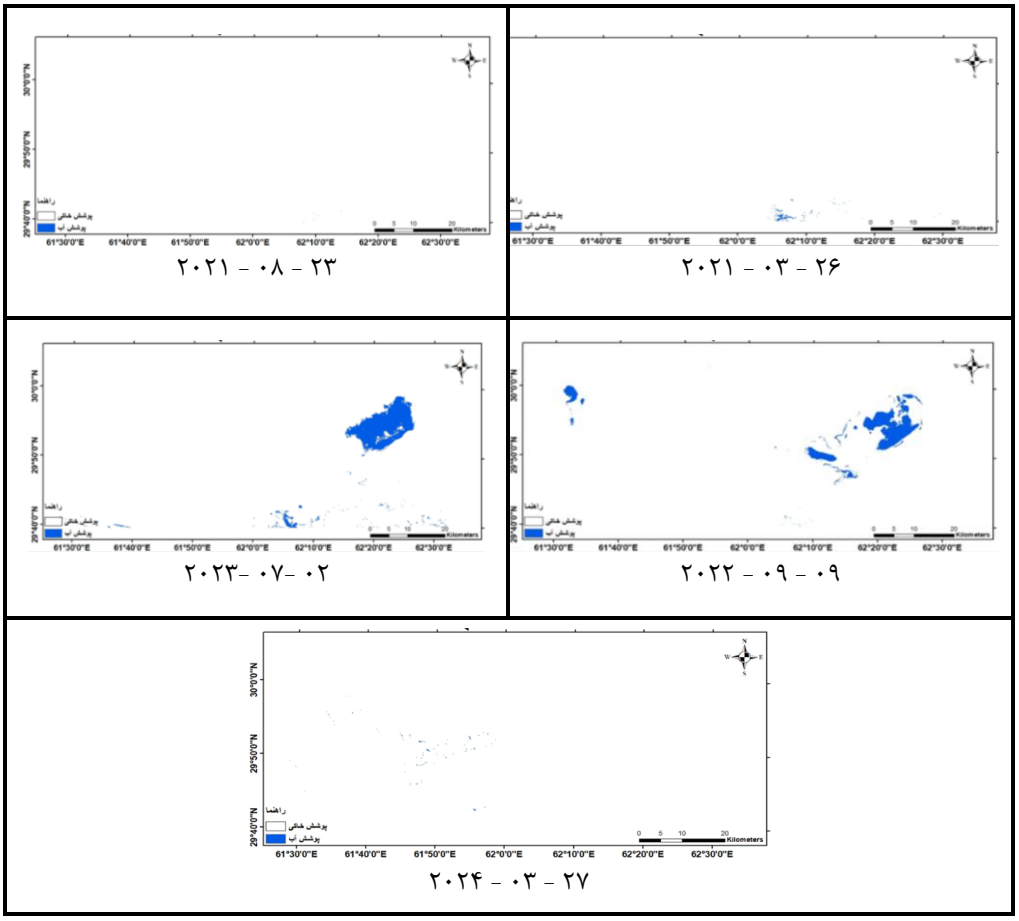
پس از به قدرت رسیدن هیات حاکمه طالبان، سیاست افغانستان تغییری نکرده و حقابه ایران تامین نشده و متاسفانه سر ریز سد کمال خان به صورت عمدی از طریق دریچه جنوبی آن به گود زره منتقل شده است. آب این چاله شوره‌زار هیچگونه استفاده‌ای نداشته و منابع آب در آن تنها تبخیر می‌گردد. پس بنابراین ادعای خشکسالی از سوی افغانستان مورد تردید قرا می‌گیرد چرا که با بررسی پوشش آبی در کانال انتقالی آب از سد کمال‌خان به گود زره و همچنین افزایش وسعت آب در گود زره ادعای افغانستان در این زمینه مردود می‌گردد. در (شکل۷ و جدول۷) سطح آب موجود در کانال انتقالی از سد کمال‌خان به گود زره و در (شکل۸ و جدول۸) سطح آب موجود در گود زره در سال‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

جدول۷: جزییات محاسبات پهنه آبی خروجی سد کمال خان به گود زره (منبع: نویسندگان)

تاریخ	تعداد پیکسل خاک	تعداد پیکسل پوشش آبی	مساحت خاک (متر مربع)	مساحت پوشش آبی (متر مربع)	مساحت خاک (هکتار)	مساحت پوشش آبی (هکتار)
۲۰۲۱/۰۳/۲۶	۴۲۰۷۲۶	۴۱	۳۷۸۶۵۳۴۰۰	۳۶۹۰۰	۳۷۸۶۵/۳۴	۳/۶۹
۲۰۲۱/۰۸/۲۳	۴۲۰۷۶۵	۲	۳۷۸۶۸۸۵۰۰	۱۸۰۰	۳۷۸۶۸/۸۵	۰/۱۸
۲۰۲۲/۰۹/۰۹	۴۰۹۵۲۴	۱۱۲۴۳	۳۶۸۵۷۱۶۰۰	۱۰۱۱۸۷۰۰	۳۶۸۵۷/۱۶	۱۰۱۱/۸۷
۲۰۲۳/۰۷/۰۲	۴۱۹۳۱۷	۱۴۵۰	۳۷۷۳۸۵۳۰۰	۱۳۰۵۰۰۰	۳۷۷۳۸/۵۳	۱۳۰/۵
۲۰۲۴/۰۳/۲۷	۴۲۰۷۰۲	۶۵	۳۷۸۶۳۱۸۰۰	۵۸۵۰۰	۳۷۸۶۳/۱۸	۵/۸۵



شکل۷: نقشه شاخص NDWI از خروجی سد کمال خان به گود زره بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ (منبع: نویسندگان)



شکل۸: نقشه شاخص NDWI گود زره بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ (منبع: نویسندگان)

جدول۸: جزییات محاسبات پوشش آبی گودزره (منبع: نویسندگان)

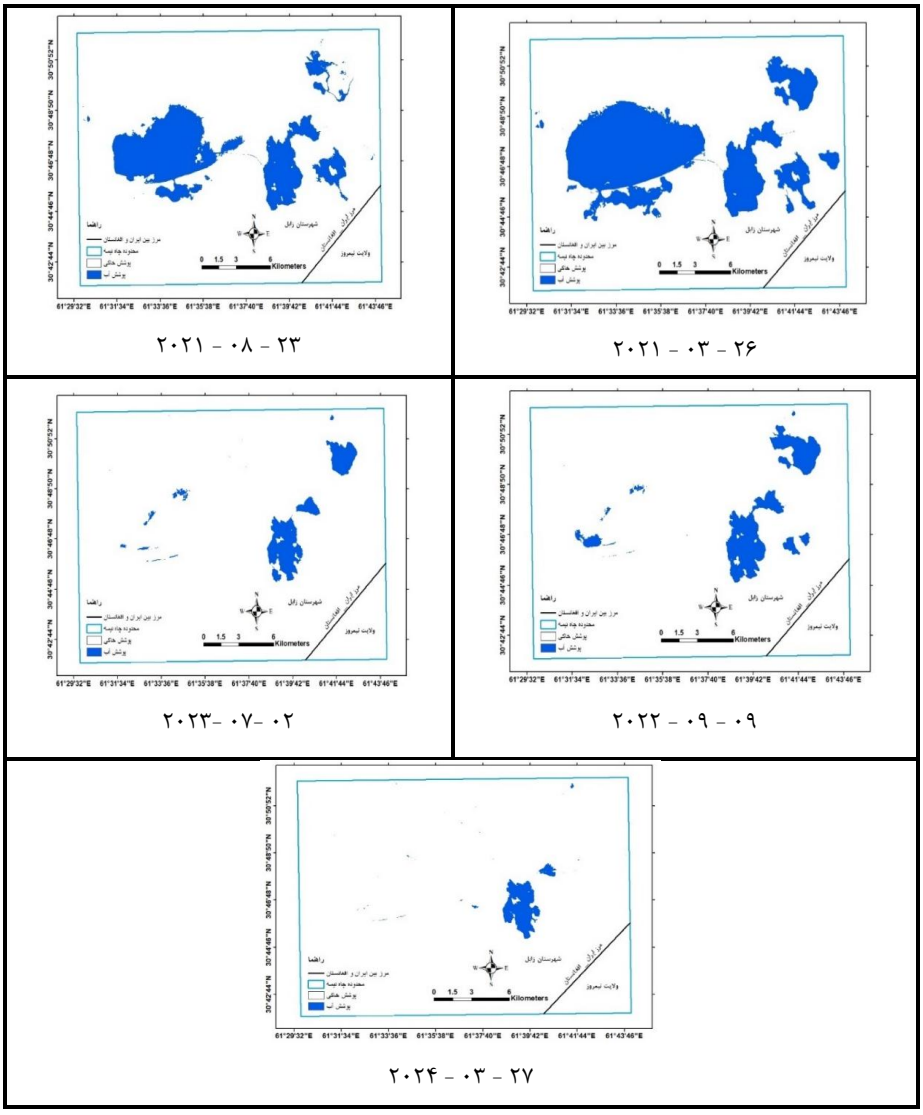
تاریخ	تعداد پیکسل خاک	تعداد پیکسل پوشش آبی	مساحت خاک (متر مربع)	مساحت پوشش آبی (متر مربع)	مساحت خاک (هکتار)	مساحت پوشش آبی (هکتار)
۲۰۲۱/۰۳/۲۶	۴۲۰۷۲۶	۴۱	۳۷۸۶۵۳۴۰۰	۳۶۹۰۰	۳۷۸۶۵/۳۴	۳/۶۹
۲۰۲۱/۰۸/۲۳	۴۲۰۷۶۵	۲	۳۷۸۶۸۸۵۰۰	۱۸۰۰	۳۷۸۶۸/۸۵	۰/۱۸
۲۰۲۲/۰۹/۰۹	۴۰۹۵۲۴	۱۱۲۴۳	۳۶۸۵۷۱۶۰۰	۱۰۱۱۸۷۰۰	۳۶۸۵۷/۱۶	۱۰۱۱/۸۷
۲۰۲۳/۰۷/۰۲	۴۱۹۳۱۷	۱۴۵۰	۳۷۷۳۸۵۳۰۰	۱۳۰۵۰۰۰	۳۷۷۳۸/۵۳	۱۳۰/۵
۲۰۲۴/۰۳/۲۷	۴۲۰۷۰۲	۶۵	۳۷۸۶۳۱۸۰۰	۵۸۵۰۰	۳۷۸۶۳/۱۸	۵/۸۵

۳. ۲. ۴. بررسی تغییرات پهنه آب سطحی در چاه نیمه‌ها

نتایج وضعیت پوشش آبی در چاه نیمه‌های ایران طی دوره مورد بررسی روندی کاهشی و نگران کننده را نشان می‌دهد. طبق این نتایج در فروردین ۱۴۰۰ همزمان با افتتاح سد کمال خان چاه نیمه‌های شماره (یک، دو، سه و چهار) دارای پوشش آبی تقریبا قابل قبولی بودند که این میزان حدود ۸۴۹۵ هکتار محاسبه شده است. اما با شروع قدرت هیات حاکمه طالبان میزان آب چاه نیمه‌ها سیر نزولی به خود گرفته و تا سال ۲۰۲۴ ادامه پیدا می‌کند و در نهایت میزان سطح زیر پوشش آب چاه نیمه ها به $\frac{1}{8}$ خود یعنی حدود ۷۸۶ هکتار نسبت به سال ۲۰۲۱ تقلیل یافته و فقط چاه نیمه شماره دو دارای مقداری آب بوده و بقیه چاه نیمه ها به طور کامل خشک شده است. علت این کاهش شدید آب را می توان به عواملی همچون افزایش کشاورزی در افغانستان، افتتاح سد کمال خان، عدم پایبندی حکومت فعلی افغانستان به تخصیص حقابه و انتقال عمدی و غیر اصولی آب به سمت گود زره مرتبط دانست (جدول ۹ و شکل ۹).

جدول۹: جزییات محاسبات پوشش آبی چاه نیمه‌های ایران (منبع: نویسندگان)

ردیف	تعداد پیکسل خاک	تعداد پیکسل پوشش آبی	مساحت خاک (متر مربع)	مساحت پوشش آبی (متر مربع)	مساحت خاک (هکتار)	مساحت پوشش آبی (هکتار)
۲۰۲۱/۰۳/۲۶	۳۷۸۷۴۵	۹۴۳۸۰	۳۴۰۸۷۰۵۰۰	۸۴۹۴۲۰۰۰	۳۴۰۸۷/۰۵	۸۴۹۴/۲
۲۰۲۱/۰۸/۲۳	۴۱۳۱۴۰	۵۹۹۸۵	۳۷۱۸۲۶۰۰۰	۵۳۹۸۶۵۰۰	۳۷۱۸۲/۶	۵۳۹۸/۶۵
۲۰۲۲/۰۹/۰۹	۴۴۹۰۷۹	۲۴۰۴۶	۴۰۴۱۷۱۱۰۰	۲۱۶۴۱۴۰۰	۴۰۴۱۷/۱۱	۲۱۶۴/۱۴
۲۰۲۳/۰۷/۰۲	۴۵۷۵۶۸	۱۵۵۵۷	۴۱۱۸۱۱۲۰۰	۱۴۰۰۱۳۰۰	۴۱۱۸۱/۱۲	۱۴۰۰/۱۳
۲۰۲۴/۰۳/۲۷	۴۶۴۳۸۳	۸۷۴۲	۴۱۷۹۴۴۷۰۰	۷۸۶۷۸۰۰	۴۱۷۹۴/۴۷	۷۸۶/۷۸

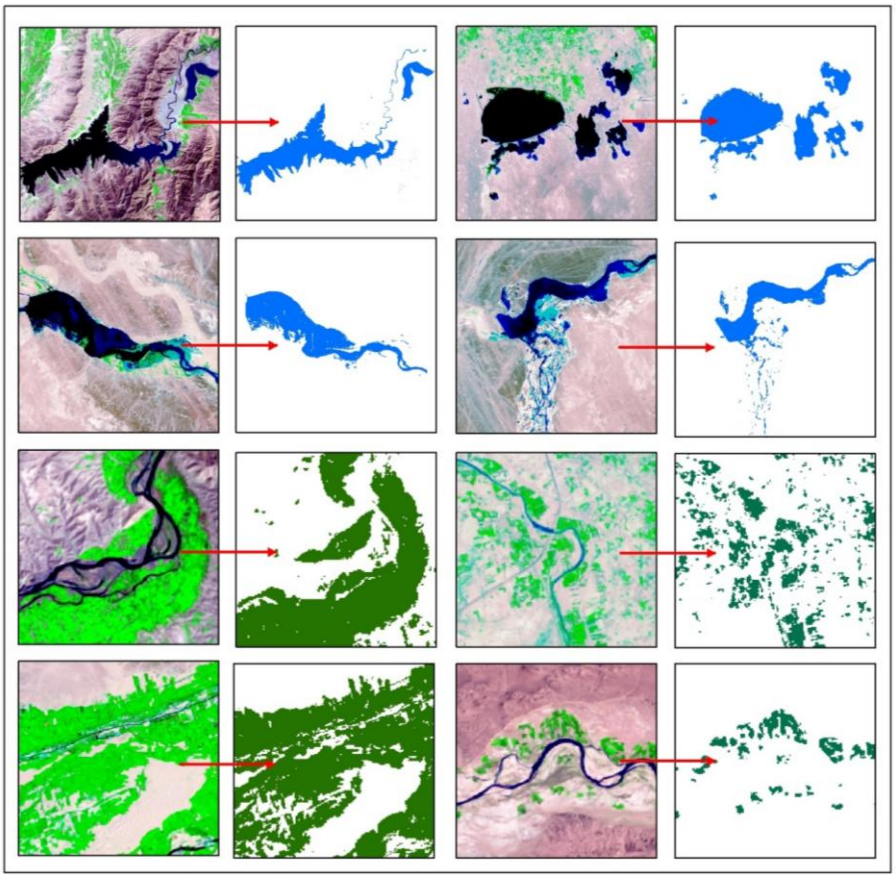


شکل۹: نقشه شاخص NDWI از سطح آب چاه نیمه‌ها بین سال‌های ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۰ (منبع: نویسندگان)

به منظور صحت سنجی نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای و بررسی دقت عمل در خروجی شاخص‌های پوشش گیاهی و آبی، به ذکر چند نمونه مقایسه‌ای اکتفا می‌گردد. لازم به ذکر است پردازش تمامی داده‌ها بر مبنای طبقه‌بندی نظارت نشده و برای تمامی تصاویر با یک دستورالعمل خاص انجام گرفته است. همچنین خروجی این نقشه‌ها با توجه به ترکیب باند (RGB) تصاویر Landsat و به طور نمونه با تصویر ماهواره Sentinel2 و تاریخچه تصاویر Google Earth در زمان مشابه کنترل و بررسی شده است (شکل ۱۰)

با توجه به تحقیقات سایر پژوهشگران و تأکید در حل موضوع تنش آبی بین ایران و افغانستان، چند مورد مهم لازم به ذکر است. طبق یافته‌های Shafiei (2023) که بر روابط بین ایران و طالبان متمرکز بود، ارتباط غیر مستقیم طرفین در دوره گذشته، به دلیل وجود دشمن مشترکی به نام آمریکا بوده اما اکنون با از بین رفتن تهدید مشترک و بازگشت ناسازگاری‌ها و تفرقه افکنی‌های استعمار که در دوره اول روابط ایران و طالبان وجود داشت، روابط دو طرف در وضعیت منازعه قرار گرفته و هیأت حاکمه طالبان عدم وجود آب کافی در پشت سدهای ساخته شده را بهانه می‌نمود. در صورتی که در سال‌های مختلف در پشت سدهای افغانستان آب کافی وجود داشت. و تحقیق فوق برای اولین بار به صورت تخصصی و دقیق گفته‌های عینی را با یافته‌های بالا تایید می‌نماید. همچنین نتایج Dorj (2023) نشان می‌دهد به دلایل موقعیت جغرافیایی افغانستان به عنوان کشوری بالادست، توسعه پروژه‌های آبی در خاک این کشور و همچنین نیاز طالبان به دولتی قانونی و کسب مشروعیت بین المللی سبب شده تا مقامات کابل در کنار همکاری با مقامات تهران، از اهرم هیرمند

به منظور دست یابی به اهداف و ارتقا قدرت خود استفاده نمایند و از این طریق برای مناطق شرقی ایران تهدیدات زیست محیطی و امنیتی ایجاد نمایند که لازم است در این خصوص توسط ایران تصمیمات متناسب اتخاذ گردد.



شکل۱۰: کنترل و صحت سنجی خروجی شاخص‌های SAVI و NDWI در فرآیند پردازش اطلاعات (منبع: نویسندگان)

۴. نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از RS و GIS به بررسی ادعای هیات حاکمه طالبان در افغانستان در خصوص کمبود منابع و مدیریت آب و همچنین مقایسه این منابع با میزان ورود آب از رودخانه هیرمند به

ایران شده است. این مطالعه بین ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۴ و در بازه‌های زمانی اتفاقات مهم (افتتاح سد یا بند کمال‌خان، به قدرت رسیدن هیات حاکمه طالبان و بررسی عملکرد سه سال متوالی پس از آن) صورت گرفته که با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای Landsat 8 با تمرکز بر دو بخش پوشش گیاهی و پوشش آبی سطحی صورت گرفته است. در استخراج پوشش گیاهی از روش SAVI استفاده شده که دو محدوده (اراضی کشاورزی افغانستان از خروجی سد کجکی تا مرز ایران و اراضی کشاورزی دلتای رودخانه هیرمند در ایران) مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. در استخراج پوشش آبی سطحی نیز از روش NDWI استفاده شده که تمرکز کار بر روی پنج محدوده (سد کجکی، سد کمال‌خان، گود زره و کانال ورودی آب از سد کمال‌خان به گود زره در افغانستان و همچنین چاه نیمه‌ها در ایران) بوده است. نتایج نشان می‌دهد علاوه بر خشکسالی و نوسانات اقلیمی محدود، تغییرات سیاسی در افغانستان در منابع آبی و کشاورزی این کشور تاثیر گذاشته است اما مجددا مدیریت شده و روند منفی منابع آبی و کشاورزی در این کشور به روند مثبت و رو به رشد و پایدار رسیده است. اما در مقابل آن وضعیت منابع آبی و کشاورزی در پایین دست رودخانه هیرمند به صورت مداوم هم از لحاظ منابع آب و هم از لحاظ پوشش گیاهی با روندی منفی روبرو بوده است. بنابراین ادعای هیات حاکمه افغانستان مبنی بر کمبود آب در پشت سدها مردود می‌گردد چرا که وضعیت آبی و کشاورزی در افغانستان روند افزایشی داشته است. از سوی دیگر حق آبه ایران با مشکل تحویل مواجه شده است چرا که با توجه به این پژوهش در دوره آماری، مشخص شد که در زمان سرریز شدن سد کجکی و کمال‌خان، آب مازاد وارد ایران نمی‌شود و از طریق

بازکردن دریچه‌های جنوبی سد کمال‌خان وارد چاله‌ای به نام گود زره در افغانستان می‌شود که شوره زار بوده و هیچ استفاده‌ای از آب آن نمی‌شود.

بنابراین زنگ خطر مدت‌هاست که به صدا در آمده و به منظور جلوگیری از وقوع مخاطرات اولیه و مخاطرات طبیعی و انسانی ثانویه ناشی از کمبود و یا نبود آب در شمال استان سیستان و بلوچستان (منطقه سیستان) لازم است تا تدابیر ویژه‌ای هم از سوی دیپلماسی ملی و بین المللی و هم از طریق ارتباط و تعامل مردم در مرز ایران و افغانستان صورت گیرد. تفرقه افکنی شیوه قدیمی استعمار برای به تنش کشاندن منطقه و بهره برداری سیاسی بوده که لازم است تا هم مردم افغانستان و هم مردم ایران از این موضوع آگاه باشند و با حفظ مشترکات بسیار زیاد، منطقه را به سمت توسعه و تعاملات پایدار جهت پیشرفت دو کشور سوق دهند که لازمه این کار امنیت و بخصوص امنیت آبی پایدار می‌باشد.

ملاحظات اخلاقی

حامی مالی: این پژوهش هیچ کمک مالی از سازمان های تأمین مالی دریافت نکرده است.
تعارض منافع: طبق اظهار نویسندگان، این مقاله تعارض منافع ندارد.
برگرفته از پایان نامه/رساله: این مقاله برگرفته از پایان نامه/رساله نبوده است.

References

-Afshar, I. (1988). Helmand: The largest central river of the Iranian Plateau. Roshd Journal, 15(1), 10–14.

-Akbari, N., Mashhadi, A., & Kazemi Foroushani, H (2021). Legal dimensions of the exploitation of the Helmand River. Public Law Research Quarterly, 54(68), 291–325.

-Araghchi, A. (2014). Water diplomacy: From conflict to cooperation. Global Politics Journal, 3(4), 91–119.

-Dorj, H. (2023). The Helmand water crisis and the return of the Taliban to power in Afghanistan. Journal of Crisis Research in the Islamic World, 2(8), 135–161.

- Depew, J. J. (2004). Habitat Selection and Movement Patterns of Cattle and White-Tailed Deer in a Temperate Savanna. Master's Thesis, Texas A&M University.

- Fallahnejad, A., & Amiri, A. (2015). Iran–Afghanistan relations: Convergence or divergence. Political Studies Quarterly, 8(29), 125–150.

-Firoozi, F. (2018). Analysis of temporal changes in environmental variables (NDVI, LST, albedo, and soil moisture) in the Sistan Plain, eastern Iran (Doctoral dissertation, Faculty of Geography and Environmental

Planning, University of Sistan and Baluchestan).

- Franklin, P. R., Gardner, B., & Mitchell, R. L. (2010). Physiology of Crop Plants. Scientific Press, Iowa State.

- Goward, S. N., Cruickshanks, G. D., & Hope, A. S. (1985). Observed Relation Between Thermal Emission and Reflected Spectral Radiance of a Complex Vegetated Landscape. Remote Sensing of Environment, 18, 137-146. https://doi.org/10.1016/0034-4257(85)90044-6

-Khosravian, M., Entezari, A., Rahmani, A., & baaghideh, M. (2018). Monitoring changes in the water level of Parishan Lake using remote sensing indices. Hydrogeomorphology Journal, 4(34), 99–120.)https://journals.tabrizu.ac.ir/article_7125.html(

- Lantiri, D. (1988). Introduction to Remote Sensing, Remote Sensing Office to Remote Sensing Center Food and Agriculture. Organization of United Nation, Rome, 20-30.

- Magee, T. K., Ringold, P. L., & Bollman, M. A. (2008). Alien Species Importance in Native Vegetation along Wadeable Streams, John Day River Basin, Oregon, USA. Plant Ecology, 195, 287-307. DOI: 10.1007/s11258-007-9330-9

-Miralizadeh Fard, S. R., & Mansouri, S. (2019). Evaluation of remote sensing indices in quantitative and qualitative studies of surface waters using Landsat 8 satellite imagery (Case study: Southern Khuzestan Province). Journal of Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources, 2(4), 63–84.

-Matouri, H., Zamani, S. Q., & Mohebbi, M. (2022).

Construction and operation of the Kamal Khan Dam by the Afghan government from the perspective of international law. Public Law Studies Quarterly, 1(4), 1–24.

-Water Resources of the Sistan-Plain. (2004). Infrastructure studies and legal studies. Scientific supervisor: A. Tahmasbi; compiled and prepared by J. Mohammadvalli Samani. Based on various reports of the Ministry of Energy, pp. 1–30.

- Pettorelli, N., Vik, O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the Satellite-derived NDVI to Assess Ecological Responses to Environmental Change. Trends in Ecology and Evolution, 20 (9), 1-13. https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.05.011

- Ranjbar, G. H., & Pirasteh Anousheh, H. (2015). A Glance to the Salinity Research in Iran with Emphasis on Improvement of Field Crops Production. Iranian Journal of Crop Sciences, 2, 165-178. 20.1001.1.15625540.1394.17.2.7.11

-Shafiei, N. (2023). From cooperation to conflict: An analysis of Iran–Taliban relations. Political and International Approaches Quarterly, 14(77), 35–56.

-Shakeryari, M. (2015). Evaluation of the trend of changes in the Hamoun International Wetland and its environmental impacts on dust storm occurrence (Master's thesis, Faculty of Environment, University of Tehran).

- Wagrowski, D. M., & Hites, R. A. (1997). Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Accumulation in Urban, Suburban, and Rural Vegetation. Environmental

Science & Technology, 31 (1), 279-282.

-Zakerinejad, R., & Moavi, M. (2024). Investigating the effects of land-use changes on vegetation cover (Case study: the Mianab Shooshtar Basin during 2000–2020). Geographical Studies of Arid Regions, 15(55), 132–147. - Sistani Badooei, M., Fotouhi, S., Negaresh, H., Ramesht, M. H., & Roustaei, M. (2021). Investigating the differences in geodiversity and geomorphodiversity of the Oman Sea coastal region and the Makran zone from Jask Headland to Gwadar Bay. Geography and Development Quarterly, 20(63), 45–63. https://doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6169

- Zeaian Firoozabadi, P., & Parvin, N. (2012). Principles of remote sensing science (Aerial photographs and satellite imagery). Payame Noor University Press.