Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Sentinel-2 NDVI time-series assessment of vegetation response to floodwater spreading in the Soh Aquifer

Mehdi Hashemi[1]* Ali Dastranj[2]

[1] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan. Iran. m_hashemi@areeo.ac.ir
[2] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhhad. Iran. A.dastranj@ut.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 16 May 2026
Revised: 29 June 2026
Accepted: 29 June 2026

Published online: 27 July 2026

Keywords: Soh Aquifer, Long-term Time Series, Remote Sensing, Ecosystem Resilience, Trend Analysis.

ABSTRACT

Long-term quantitative assessment of the ecological impacts of floodwater spreading on vegetation in Iran has consistently been challenged by the lack of continuous in-situ field data. The primary objective of this study was to quantitatively evaluate the effect of floodwater spreading on the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Soh aquifer (Meymeh, Isfahan Province) over the period 2015–2024, using Sentinel-2 time-series data and comparing the treated area with a homogeneous adjacent control site. To this end, monthly (110 observations), seasonal, and annual NDVI time series were derived from Sentinel-2 L2A imagery (10 m spatial resolution, <5% cloud cover) by generating median composites within the Google Earth Engine platform. Trend analyses were performed using Ordinary Least Squares (OLS) linear regression and the robust Theil–Sen slope estimator. Moreover, due to the non-normal distribution of the data (confirmed by the Shapiro–Wilk test), the non-parametric Mann–Whitney U test was employed for statistical comparison of NDVI distributions between the two areas. The results indicated that the long-term mean NDVI in the floodwater spreading area (0.078) differed only negligibly from that of the control area (0.079), and the Mann–Whitney U test revealed no statistically significant difference between the two areas ($U = 7959.5$, $p = 0.057$). Nevertheless, the spreading area exhibited lower temporal variability (standard deviation: 0.011 vs. 0.012; coefficient of variation: 0.141 vs. 0.152) and a higher maximum NDVI (0.119 vs. 0.115) compared to the control site. Trend analysis at annual, seasonal, and monthly scales revealed no significant increasing or decreasing trends in either area (all p-values > 0.05). Overall, although floodwater spreading over the 9 years failed to significantly increase the mean greenness index, it effectively enhanced ecosystem resilience and stability against climatic stresses by reducing temporal fluctuations and increasing maximum greenness.

Citation: Hashemi, M., & Dastranj, A. (2026). Sentinel-2 NDVI time-series assessment of vegetation response to floodwater spreading in the Soh Aquifer. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 14(2), 67-82.

DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association
© Author(s)

***Corresponding author:** Mehdi Hashemi
Address: Assistant Professor, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.
Tel: +989133296234
Email: m_hashemi@areeo.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Sentinel-2 NDVI time-series assessment of vegetation response to floodwater spreading in the Soh Aquifer

Mehdi Hashemi[1]* Ali Dastranj[2]

[1] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan. Iran. m_hashemi@areeo.ac.ir
[2] Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Department, khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Mashhhad. Iran. A.dastranj@ut.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Vegetation is a cornerstone of hydrological regulation and soil conservation in arid and semi-arid ecosystems. In Iran's central plateau, the confluence of decreasing precipitation, rising evapotranspiration, and excessive groundwater abstraction has critically disturbed the water-soil-vegetation balance (Noori et al., 2021). Annual groundwater depletion averages 49 cm, with non-renewable extraction exceeding 5.4 km³/year. In response, floodwater spreading has been implemented as a Managed Aquifer Recharge (MAR) strategy to enhance deep percolation and soil moisture. Despite its application, quantitative evidence of its long-term ecological impacts on vegetation remains scarce. While some studies report significant NDVI increases, others find negligible effects, indicating a clear research gap. This gap is characterized by the lack of homogeneous control areas, short monitoring periods (<5 years), and insufficient multi-scale trend analyses. This study introduces a novel approach by integrating a 9-year Sentinel-2 time series (2015–2024) with a homogeneous control site, robust Theil–Sen trend analysis, and non-parametric statistics to assess vegetation response in the Soh aquifer (Meymeh, Isfahan). The objectives were: (1) comparing mean NDVI between treated and control areas; (2) analyzing monthly, seasonal, and annual NDVI trends; and (3) statistically testing distribution differences.

Methodology: The study was conducted in the Soh aquifer basin (51°20'–51°22'E, 33°17'–33°20'N), encompassing an 800-hectare floodwater spreading site and an adjacent control area (<1 km apart). The control was selected based on rigorous homogeneity in topography, soil properties (loamy-sand), geology (Quaternary alluvium), climate, and vegetation (predominantly shallow-rooted rangeland and planted Prunus dulcis). Due to the absence of continuous field data, Sentinel-2 L2A imagery (10 m spatial resolution, <5% cloud cover) from 2015–2024 was acquired via Google Earth Engine. Monthly median composites were generated to minimize optical noise, producing 110 monthly observations per area, alongside seasonal and annual NDVI time series. NDVI was calculated using the standard formula (NIR – Red)/(NIR + Red). Trends were evaluated using Ordinary Least Squares (OLS) regression and the robust Theil–Sen slope estimator to mitigate outlier effects. Given the non-normal distribution of the data (confirmed by Shapiro–Wilk, $p < 0.05$), the non-parametric Mann–Whitney U test was applied to statistically compare NDVI distributions between the two areas. All statistical computations were performed using Python (SciPy, NumPy) in the Visual Studio Code environment.

Results and Discussion: Descriptive statistics revealed that the long-term mean NDVI in the floodwater spreading area (0.078) was nearly identical to the control (0.079). Critically, the Mann–Whitney U test confirmed no statistically significant difference ($U = 7959.5$, $p = 0.057$). However, the spreading area demonstrated notably lower temporal variability (SD: 0.011 vs. 0.012; CV: 0.141 vs. 0.152) and a higher maximum NDVI (0.119 vs. 0.115). Annual means peaked in 2020 for both areas (0.091 vs. 0.090) and hit their lowest in 2017 (0.068). Trend analyses at all scales revealed no significant directional changes. Annual OLS slopes were nearly zero (spreading: -0.000333, p=0.755; control: -0.000350, p=0.750). Seasonal trends were non-significant (all p>0.05), with the control's winter slope being the largest negative at -0.001433 (p=0.346). Monthly analyses showed highest positive slopes in June/July and the most negative in April, yet all p-values remained above 0.05 (smallest being April in control, p=0.115). Collectively, no significant upward or downward trends were detected in either area. The absence of a significant mean NDVI increase is scientifically attributed to several interacting factors: **Hydro-**

***Corresponding author:** Mehdi Hashemi
Address: Assistant Professor, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Isfahan, Iran.
Tel: +989133296234
Email: m_hashemi@areeo.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

Ecological Mismatch: The shallow root systems (<30–50 cm) of the dominant rangeland species cannot access the deep-stored water (>1 m) recharged by spreading operations. **Initial Site Disturbance:** Mechanical operations (excavation, leveling) during project establishment disturbed soil structure and depleted the native seed bank, requiring a multi-year recovery period. Fine Sediment Accumulation: Repeated flood events deposit silt and clay, forming a denser surface layer that, while preserving permeability, physically impedes seed germination of annual and perennial herbaceous species. **Immature Tree Growth:** Many planted almond trees are still in their vegetative phase, requiring up to 10 years to reach full canopy cover and significantly contribute to the mean NDVI.
Ecological Time Lag: Systematic evidence confirms that MAR's positive effects on vegetation often manifest after a multi-year lag, frequently exceeding a decade. The marginal p-value (0.057) supports this, suggesting the effect is on the threshold of emergence. Despite the unchanged mean, the reduced variability and higher maximum NDVI indicate a significant ecological achievement: enhanced ecosystem resilience. The spreading area shows a "buffering effect," preventing severe NDVI declines in dry years while allowing greater greenness peaks in wet years (e.g., 2020).

Conclusion: This study concludes that over the 9-years, floodwater spreading in the Soh aquifer did not significantly increase mean NDVI compared to a homogeneous control area ($p = 0.057$). However, it significantly reduced temporal fluctuations and increased maximum greenness, enhancing ecosystem stability and resilience. No significant trends were observed, confirming long-term stability. The lack of mean increase is explainable by root-depth mismatch, initial disturbances, sedimentation, and ecological inertia. Critically, this study demonstrates that evaluating such projects solely on mean index changes is insufficient. Management Recommendations: (1) Gradually replace shallow-rooted rangelands with deep-rooted species like Amygdalus scoparia and Nitraria schoberi; (2) Extend monitoring to at least 15 years; (3) Integrate soil moisture sensors and piezometers for direct hydrological assessment; (4) Manage surface sediment accumulation. Limitations: Lack of field validation data, absence of detailed operational records (water volume/frequency), and reliance on a single spectral index (NDVI). Future studies should incorporate complementary indices (EVI, SAVI, NDMI). This study provides a replicable, scientifically robust framework for assessing floodwater spreading impacts across Iran's arid aquifers, emphasizing that resilience improvement is a primary and measurable success indicator.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon reasonable request to the corresponding author.

Funding: No funding was received.

Authors' contributions: **Hashemi, M.:** Writing - original draft preparation; **Dastranj, A.:** Resources, Software, Manuscript editing.

Conflicts of interest: The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: The authors gratefully acknowledge the reviewers for their constructive comments.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

ارزیابی سری‌زمانی NDVI سنجنده Sentinel-2 در پاسخ به پخش سیلاب آبخوان سُه

مهدی هاشمی[۱*]، علی دسترنج[۲]

[۱] استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران. m_hashemi@areeo.ac.ir

[۲] استادیار، بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مشهد. ایران. A.dastranj@ut.ac.ir

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۲۶ اردیبهشت ۱۴۰۵
بازنگری: ۸ تیر ۱۴۰۵
پذیرش: ۸ تیر ۱۴۰۵
انتشار برخط: ۰۵ مرداد ۱۴۰۵

واژه‌های کلیدی:
آبخوان سُه، شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی، سری‌زمانی بلندمدت، سنجش از دور، تاب‌آوری بوم‌سازگان، تحلیل روند

چکیده

ارزیابی کمی و بلندمدت اثرات بوم‌شناختی عملیات پخش سیلاب بر پوشش گیاهی در ایران به‌دلیل نبود داده‌های میدانی پیوسته، همواره با چالش مواجه بوده است. هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کمی اثر عملیات پخش سیلاب بر شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) در آبخوان سُه (میمه، استان اصفهان) طی بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴، با استفاده از سری‌های زمانی سنجنده سنتینل-۲ و مقایسه با یک منطقه شاهد همگن و مجاور است. برای این منظور؛ سری‌های زمانی ماهانه (۱۱۰ مشاهده)، فصلی و سالانه NDVI از تصاویر سطح L2A سنتینل-۲ با تفکیک مکانی ۱۰ متر و پوشش ابری کم‌تر از ۵ درصد، از طریق ساخت ترکیب‌های میانه در سامانه Google Earth Engine استخراج شدند. برای تحلیل روندها از رگرسیون خطی حداقل مربعات معمولی (OLS) و شیب مقاوم تایل – سن استفاده شد. هم‌چنین به‌دلیل عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها (تأیید شده با آزمون شاپیرو – ویلک)، آزمون ناپارامتریک من – ویتنی برای مقایسه آماری توزیع NDVI بین دو منطقه به‌کار گرفته شد. یافته‌ها نشان داد که میانگین بلندمدت NDVI در عرصه پخش سیلاب (۰/۰۷۸) در مقایسه با منطقه شاهد (۰/۰۷۹) اختلافی ناچیز داشت و آزمون من– ویتنی، تفاوت آماری معناداری را بین دو منطقه نشان نداد. با وجود این، عرصه پخش سیلاب نوسانات زمانی کم‌تری (انحراف معیار ۰/۰۱۱ در برابر ۰/۰۱۲ و ضریب تغییرات ۰/۱۴۱ در برابر ۰/۱۵۲) و حداکثر NDVI بالاتری (۰/۱۱۹ در برابر ۰/۱۱۵) نسبت به منطقه شاهد داشت. تحلیل روند در مقیاس‌های سالانه، فصلی و ماهانه، هیچ روند افزایشی یا کاهشی معناداری را در هیچ‌یک از مناطق آشکار نکرد. به‌طور کلی، اگرچه پخش سیلاب در بازه ۹ ساله نتوانسته است میانگین شاخص سبزینگی را به‌طور معنادار افزایش دهد اما با کاهش نوسانات زمانی و افزایش حداکثر سبزینگی، موجب بهبود تاب‌آوری و پایداری بوم‌سازگان در برابر تنش‌های اقلیمی شده است.

استناد: هاشمی، مهدی، و دسترنج، علی (۱۴۰۵). ارزیابی سری‌زمانی NDVI سنجنده Sentinel-2 در پاسخ به پخش سیلاب آبخوان سُه. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۴(۲)، ۶۷-۸۲

DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4

CC BY NC
© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

مقدمه

* **نویسنده مسئول:** مهدی هاشمی
نشانی: بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران.
تلفن: ۰۹۱۳۳۲۹۶۲۳۴
پست الکترونیکی: m_hashemi@areeo.ac.ir

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

پوشش گیاهی در بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک، نقشی حیاتی در تنظیم چرخه‌های هیدرولوژیک، حفاظت خاک و پایداری محیط ایفا می‌کند (Sanz et al., 2021). با این حال، فلات مرکزی ایران در دهه‌های اخیر با ترکیبی از بحران‌های اقلیمی و انسانی روبه‌رو بوده است: کاهش بارندگی، افزایش تبخیر و تعرق و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی، تعادل آب–خاک–پوشش گیاهی را به‌شدت برهم زده است (Noori et al., 2021; Behling et al., 2022). بر اساس مطالعات، سطح آب‌های زیرزمینی ایران سالانه به‌طور میانگین ۴۹ سانتی متر افت داشته و برداشت بیش از ۴/۵ کیلومتر مکعب آب غیرقابل‌تجدید، پایداری آبخوان‌ها را با تهدیدی جدی مواجه کرده است (Noori et al., 2021). هم‌زمان، نرخ کاهش تغذیه طبیعی آبخوان‌ها با رقمی نگران‌کننده معادل ۳/۸ میلی‌متر در سال گزارش شده که تداوم منابع آبی را در بلندمدت به مخاطره انداخته است (Noori et al., 2023). در چنین شرایطی، راهکارهای مدیریتی نظیر پخش سیلاب به‌عنوان روشی برای تغذیه مصنوعی آبخوان‌ها (Managed Aquifer Recharge - MAR) مطرح شده‌اند. این رویکرد با هدایت رواناب‌های فصلی به سطوح نفوذپذیر، موجب افزایش نفوذ عمقی، بهبود رطوبت خاک و افزایش دسترسی آب برای پوشش گیاهی می‌شود (Sufyan et al., 2024). با وجود این، شواهد علمی درباره پیامدهای بوم‌شناختی این مداخلات بر تراکم و سلامت پوشش گیاهی در مقیاس عرصه‌ای هم چنان محدود است و نیاز به پژوهش‌های کمی در این حوزه احساس می‌شود (Kazemi Garajeh et al., 2022).

تاکنون پژوهش‌های متعددی در ایران و جهان به بررسی ابعاد مختلف پخش سیلاب پرداخته‌اند که در سه دسته اصلی قابل‌طبقه‌بندی هستند: دسته اول، مطالعات هیدرولوژیکی هستند که بر افزایش سطح آب زیرزمینی و بهبود کیفیت آب متمرکز بوده‌اند. Noori et al., 2023 در مرور سیستماتیک خود نشان دادند که پروژه‌های پخش سیلاب در ایران عموماً تأثیر مثبتی بر رطوبت خاک و سطح آب زیرزمینی دارند، اما این اثرات در بازه‌های زمانی کوتاه‌مدت قابل‌تشخیص نیستند. دسته دوم، پژوهش‌هایی هستند که به تغییرات ویژگی‌های خاک مانند رسوب‌گذاری، افزایش مواد آلی و کاهش شوری پرداخته‌اند که می‌تواند بستر را برای استقرار گیاهان فراهم کند (Sufyan et al., 2024). دسته سوم، به‌ویژه با گسترش فناوری‌های سنجش از دور، مطالعاتی هستند که از شاخص‌های طیفی نظیر NDVI برای پایش پاسخ پوشش گیاهی استفاده کرده‌اند (Sanz et al., 2021; Mehmood et al., 2024). Kazemi Garajeh et al. (2022) در استان فارس مشاهده کردند که پخش سیلاب می‌تواند NDVI را تا ۱۵ درصد افزایش دهد، هرچند این مطالعه فاقد منطقه شاهد معادل و دوره پایش کافی بود. در سوی دیگر، پژوهش‌هایی نظیر Ghorbanian et al. (2022) در آبخوان فردوس، تأثیر معناداری بر میانگین NDVI نیافتند که نشان‌دهنده تناقض در یافته‌ها و ضرورت انجام پژوهش‌های کنترل‌شده و بلندمدت است.

به‌طورکلی؛ در سال‌های اخیر، شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI) که از اختلاف باند مادون‌قرمز (NIR) و قرمز ماهواره‌ها محاسبه می‌شود، به‌طور گسترده‌ای در مطالعات زیست‌محیطی به‌کار رفته است. این شاخص که مقادیر مثبت بالاتر آن نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم‌تر و مقادیر منفی متعلق به آب است، بر روی تصاویر سنجنده‌های چندطیفی با وضوح مکانی بالا مانند Sentinel-2 اعمال شده است. به‌عنوان مثال، Sentinel-2 دارای دو ماهواره با وضوح مکانی ۱۰ و ۶۰ متر و بازدید زمانی ۵ روزه در حالت گردآوری اطلاعات است. پژوهش‌ها نشان داده‌اند که سری‌های زمانی NDVI امکان شناسایی سریع تغییرات پس از سیلاب را فراهم می‌کنند؛ برای نمونه Atefi et al. (2022) به کمک تفاوت NDVI پس و پیش از سیل ناگهانی در افغانستان دریافتند که NDVI به‌طور چشمگیری پس از سیل کاهش می‌یابد و نواحی سیلاب‌زده را در تفکیک ۱۰ متری شناسایی کرد. هم‌چنین Zhou et al. (2026) گزارش کردند تغییرات NDVI به خوبی با رخدادهای سیلاب در مناطق پایین دست رودخانه مطابقت دارد و الگوهای فصلی مشخصی در پوشش گیاهی بر حسب ارتفاع مشاهده شد. مجموعه این مطالعات بین‌المللی گویای اهمیت داده‌های Sentinel-2 در پایش واکنش‌های پوشش گیاهی به سیلاب‌ها و فراهم آوردن مبنایی برای برنامه‌ریزی منابع آب است. در ایران نیز پژوهش‌های متعددی به تحلیل اثرات سیلاب و پخش سیلاب بر پوشش گیاهی پرداخته‌اند. به‌عنوان نمونه، Jahan Tigh et al. (2020) با ترکیب مشاهدات میدانی و تصاویر لندست دریافتند که پس از اجرای طرح پخش سیلاب در یک منطقه نیمه‌خشک سیستان، میزان پوشش گیاهی به‌طور معناداری افزایش یافته (از حدود ۵/۹ به ۳۱/۴ درصد) و در نتیجه تولید علوفه به‌شدت رشد کرد. Ziaiian et al. (2022) نیز با بهره‌گیری از سنجش از دور و GIS نواحی مستعد پخش سیلاب را در حوضه بیرجند شناسایی کردند که به تغذیه مصنوعی آبخوان و بهبود پوشش گیاهی منطقه کمک می‌کند. نتایج این مطالعات میدانی و سنجشی تأیید می‌کند که پخش سیلاب مدیریت شده می‌تواند منابع آب زیرزمینی و پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک را تقویت کند. علاوه براین، Dastigerdi et al. (2022) روند ۱۶ ساله تغییرات پوشش گیاهی در شمال شرق ایران را با NDVI ماهواره MODIS بررسی کردند و نشان دادند که ۵۲ درصد مساحت مطالعه کاهش پوشش و ۳۱ درصد افزایش معنادار پوشش گیاهی را تجربه کرده است. چنین شواهدی اهمیت به‌کارگیری سری‌های زمانی NDVI را در مطالعات منابع آب و تغذیه مصنوعی آبخوان در ایران نشان می‌دهد.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

با وجود تلاش‌های یادشده، هم‌چنان یک شکاف علمی مهم در ارزیابی پاسخ پوشش گیاهی به پخش سیلاب در شرایط اقلیمی خشک فلات مرکزی ایران وجود دارد که عبارت است از: (۱) نبود منطقه شاهد با شرایط محیطی کاملاً همگن برای جداسازی اثر پخش سیلاب از نوسانات اقلیمی، (۲) کوتاه‌بودن دوره‌های پایش (معمولاً کم‌تر از ۵ سال) که امکان آشکارسازی پاسخ‌های تأخیری گیاهان را نمی‌دهد، و (۳) فقدان تحلیل‌های چندمقیاسی (ماهانه، فصلی و سالانه) برای درک دقیق‌تر الگوهای زمانی. بنابراین، نوآوری پژوهش حاضر در استفاده هم‌زمان از سری زمانی ۹ ساله (۲۰۲۴– ۲۰۱۵) تصاویر Sentinel-2 با تفکیک مکانی ۱۰ متر، منطقه شاهد همگن، تحلیل روند با شیب مقاوم تایل– سن و آزمون ناپارامتریک من – ویتنی برای ارزیابی کمی تغییرات NDVI و هم‌چنین پایداری و تاب‌آوری بوم‌سازگان در پاسخ به پخش سیلاب در آبخوان سُه (میمه، اصفهان) است که تاکنون در این منطقه انجام نشده است. اهداف اصلی این تحقیق عبارت‌اند از: (۱) ارزیابی تفاوت میانگین NDVI بین عرصه پخش سیلاب و منطقه شاهد، (۲) تحلیل روندهای زمانی NDVI در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه، و (۳) مقایسه آماری توزیع NDVI دو منطقه برای تعیین اثر معنادار مدیریتی.

مواد و روش

مناطق مورد مطالعه

پژوهش حاضر در دو زیرمنطقه واقع در حوضه آبخوان سُه، در غرب شهرستان میمه (استان اصفهان) انجام شده است. این منطقه در مختصات جغرافیایی تقریبی '۵۱°۲۰ تا '۵۱°۲۲ طول شرقی و '۳۳°۱۷ تا '۳۳°۲۰ عرض شمالی قرار دارد و دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک و تبخیر و تعرق پتانسیل بالا است. پوشش غالب منطقه را مراتع طبیعی و درختان دست‌کاشت بادام تشکیل می‌دهند که عمدتاً از رطوبت سطحی خاک تغذیه می‌کنند. زیرمنطقه اول (عرصه پخش سیلاب): محدوده‌ای به وسعت تقریبی ۸۰۰ هکتار است که از سال ۱۳۸۵ تحت عملیات پخش سیلاب قرار گرفته و رواناب‌های فصلی ناشی از بارش‌های بالادست، با استفاده از شبکه‌های کانال و پخش‌کننده، بر روی سطوح نفوذپذیر آن پخش می‌شود. هرچند آمار دقیقی از حجم آب تزریق‌شده در دسترس نیست، اما این عرصه به‌عنوان یکی از پروژه‌های فعال تغذیه مصنوعی در فلات مرکزی ایران شناخته می‌شود. زیرمنطقه دوم (منطقه شاهد): در مجاورت مستقیم عرصه پخش سیلاب و با فاصله کمتر از ۱ کیلومتر انتخاب شده است. منطق انتخاب این منطقه شاهد بر اساس همگنی کامل در پنج مؤلفه محیطی استوار است تا بتوان اثر پخش سیلاب را از اثر عوامل محیطی جدا کرد (جدول ۱).

جدول ۱- مولفه‌های محیطی مشرک بین منطقه شاهد و عرصه پخش سیلاب

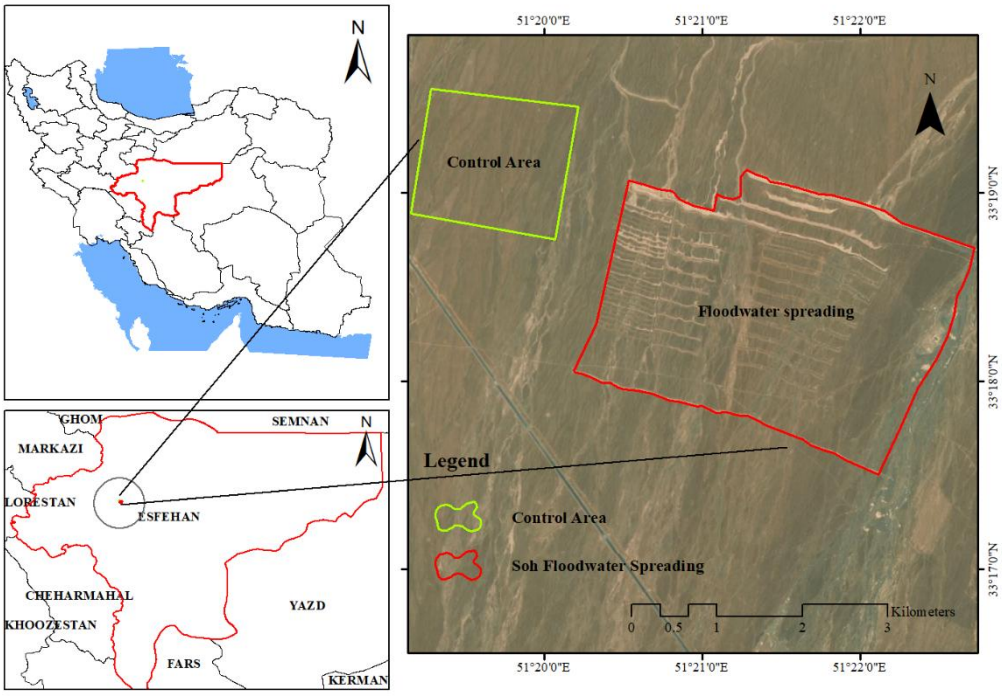
Table 1– Comparative environmental parameters between the floodwater spreading area and the adjacent control area

Environmental Component	Matching Criteria / Similarity Description
Topography	Identical elevation (approximately 1,800 m a.s.l.), consistent gentle slope (< 2%), and uniform aspect (orientation).
Soil Properties (Pedology)	Comparable loamy-sand texture, similar effective soil depth, and equivalent drainage conditions.
Geology / Lithology	Both areas are underlain by identical Quaternary alluvial formations with analogous permeability and infiltration capacity.
Climate	Completely homogeneous macro- and microclimate owing to the short geographical distance (< 1 km) and absence of independent microclimatic niches.
Vegetation / Land Cover	Highly similar composition of native rangeland species (predominantly shallow-rooted herbaceous plants) and planted almond trees (Prunus dulcis) with comparable density, age distribution, and phenological stage.

این همگنی‌سنجی بر اساس بازدیدهای میدانی اولیه و تطبیق نقشه‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی و زمین‌شناسی منطقه انجام شده است و تضمین می‌کند که تنها متغیر مستقل مؤثر، عملیات پخش سیلاب باشد. نقشه موقعیت هر دو منطقه (شکل ۱) ارائه شده است که محدوده دقیق آن‌ها را با استفاده از تصاویر Google Earth و برداشت‌های میدانی مشخص می‌کند.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]



شکل ۱- موقعیت ایستگاه پخش سیلاب سه

Figure 1- Location of the Soh floodwater spreading station

روش پژوهش

مطالعه حاضر به‌دلیل اینکه داده‌های میدانی پوشش‌گیاهی در طول زمان برای منطقه پخش سیلاب سُه در دسترس نبوده است با رویکرد سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای به‌منظور ارزیابی اثربخشی اثرات پخش سیلاب بر عرصه سُه در شهرستان میمه در استان اصفهان، طراحی شده است. ابتدا محدوده‌ی دقیق منطقه پخش سیلاب و منطقه شاهد در مجاورت عرصه پخش سیلاب با ویژگی‌های مشابه انتخاب شد تا بتوان تأثیر سیستم پخش سیلاب را به‌درستی ارزیابی کرد. سپس داده‌های ماهواره‌ای مربوط به پوشش گیاهی (NDVI) تهیه و پردازش شد. تمامی پردازش‌های مکانی در محیط Google Earth Engine با استفاده از برنامه نویسی پایتون انجام گرفت. عملیات آماری شامل ترسیم نمودارها نیز با نرم‌افزارهای آماری اکسل و آزمون‌های آماری با استفاده از برنامه نویسی پایتون در محیط نرم افزار Visual Studio Code انجام شد. در ادامه مراحل اصلی به‌صورت گام به گام آمده است.

دریافت و پیش‌پردازش تصاویر Sentinel-2:

به‌دلیل نبود داده‌های میدانی پیوسته از وضعیت پوشش گیاهی، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ (Sentinel-2) سطح L2A (تصحیح‌شده اتمسفری) استفاده شد. این ماهواره با تفکیک مکانی ۱۰ متر در باندهای مرئی و مادون‌قرمز نزدیک و زمان بازدید ۵ روزه، یکی از مناسب‌ترین داده‌ها برای پایش تغییرات پوشش گیاهی در مقیاس محلی است (Atefi & Miura, 2022).

بازه زمانی و انتخاب تصاویر: تمام تصاویر موجود در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ (مطابق ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۳ خورشیدی) از آرشیو سامانه Google Earth Engine (GEE) استخراج شدند. برای کاهش اثر ابر و نویز اتمسفری، تنها تصاویری با پوشش ابری کم‌تر از ۵ درصد انتخاب شدند. با توجه به پراکنش زمانی تصاویر در طول سال، برای هر ماه یک ترکیب میانه (Median Composite) از تمام پیکسل‌های موجود در آن ماه ساخته شد تا یک تصویر ماهانه عاری از نقاط پرت و ابری حاصل شود. استفاده از ترکیب میانه به‌جای میانگین، مقاوم‌ترین روش در برابر نویزهای اپتیکی محسوب می‌شود (Atefi & Miura, 2022). در نهایت، سری‌های زمانی ماهانه (۱۲ تصویر در سال)، فصلی (میانگین ماه‌های هر فصل) و سالانه (میانگین ۱۲ ماه) برای هر دو منطقه استخراج شد. تعداد کل مشاهدات ماهانه برای هر منطقه، ۱۱۰ تصویر (۱۰ سال کامل منهای ماه‌های فاقد داده معتبر) بود.

محاسبه NDVI: در هر تصویر پس از پیش‌پردازش، NDVI با استفاده از رابطه استاندارد زیر محاسبه شد:

$$NDVI=(B8NIR-B4Red)/(B8NIR+B4Red) \quad (۱)$$

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

در این‌جا B8 باند مادون‌قرمز نزدیک و B4 باند قرمز سنتینل-۲ (هر دو با وضوح ۱۰ متر) هستند. طبق تعاریف مرجع، NDVI نمایانگر سبزینگی و تراکم پوشش گیاهی است (Rouse et al., 1974; Sanz et al., 2021). مقدار NDVI در بازه [۱- تا ۱+] قرار می‌گیرد و مقادیر بالاتر نشان‌دهنده پوشش گیاهی سالم‌تر و متراکم‌تر هستند(Sanz et al., 2021). با همین روش، سری‌زمانی NDVI ماهانه، فصلی و سالانه برای هر دو منطقه مورد مطالعه و شاهد استخراج شد.

تحلیل روندهای زمانی (ماهانه، فصلی و سالانه)

برای ارزیابی تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی، روند NDVI در سه مقیاس سالانه، فصلی و ماهانه با استفاده از دو روش مکمل تحلیل شد:

روش اول: رگرسیون خطی به روش حداقل مربعات معمولی (OLS)

در این روش، شیب خط رگرسیون (نشان‌دهنده نرخ تغییر سالانه)، ضریب همبستگی پیرسون (R) (نشان‌دهنده جهت و شدت همبستگی خطی) و سطح معناداری (p-value) محاسبه شد. سطح معناداری ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. این روش گرچه رایج است، اما به وجود داده‌های پرت (نقاط اوج و فرود شدید NDVI) حساس است.

روش دوم: شیب مقاوم تایل-سن (Theil-Sen)

برای کاهش تأثیر داده‌های پرت و حصول اطمینان از پایایی روند، شیب تایل - سن به‌عنوان یک برآوردگر مقاوم (Robust Estimator) محاسبه شد. این روش، میانه شیب‌های بین تمام زوج‌های ممکن از نقاط داده را محاسبه می‌کند و در صورت وجود داده‌های پرت، شیبی پایدارتر از رگرسیون معمولی ارائه می‌دهد. تمام تحلیل‌های روند با استفاده از کتابخانه‌های SciPy و NumPy در محیط برنامه‌نویسی پایتون انجام شد.

مقایسه عرصه پخش سیلاب و شاهد

برای مقایسه توزیع NDVI بین عرصه پخش سیلاب و منطقه شاهد، ابتدا آزمون شاپیرو-ویلک (Shapiro-Wilk) برای بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها اجرا شد که نتیجه آن ($p < 0.05$) نشان‌دهنده عدم نرمال بودن توزیع هر دو مجموعه داده بود. بنابراین، استفاده از آزمون‌های پارامتریک مانند t-test مستقل مجاز نبود. در نتیجه، آزمون ناپارامتریک من-ویتنی (Mann-Whitney U) که معادل ناپارامتریک آزمون t-test است، برای مقایسه توزیع رتبه‌ای NDVI بین دو گروه مستقل (۱۰۰ مشاهده ماهانه برای هر منطقه) انتخاب شد. این آزمون فرض صفر (H0) مبنی بر برابری توزیع دو جامعه را بررسی می‌کند و در صورت معناداری ($p < 0.05$)، رد می‌شود. آماره U و سطح p-value محاسبه شده، مبنای قضاوت آماری درباره تفاوت یا عدم تفاوت معنادار بین دو منطقه قرار گرفت (Kazemi Garajeh et al., 2022; Mehmood et al., 2024). کلیه محاسبات آماری با زبان پایتون و کتابخانه SciPy در محیط توسعه Visual Studio Code انجام شد. هم‌چنین از نرم‌افزار Excel برای ترسیم نمودارهای تکمیلی استفاده شد.

تحلیل نتایج و نمایش داده‌ها

نتایج با نمودارهای زمانی و نمودار پراکندگی گزارش شدند. منحنی‌های زمانی NDVI و بارش تجمعی برای دو منطقه رسم شد تا روندها قابل مقایسه باشند. علاوه‌برآن، مقایسه بصری نقشه‌های میانگین NDVI در طول دوره ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴ برای درک تغییرات نیز انجام گرفت. ابزارها و نرم‌افزارهای که در این مقاله استفاده شده در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ابزارها و نرم‌افزارهای مورد استفاده

Table 2– Used software tools and computational platforms

Stage	Tool / Software	Application / Purpose
Image acquisition and pre-processing	Google Earth Engine (GEE) and Python	Cloud masking, generating median temporal composites, and calculating NDVI time series
Trend analysis (Linear and Theil–Sen)	Python (NumPy and SciPy libraries)	Computing regression slopes, Pearson correlation coefficients (R), and significance levels (p-values)
Comparative statistical analysis (Mann–Whitney U test)	Python (Visual Studio Code)	Performing the non-parametric Mann–Whitney U test and calculating the U-statistic and corresponding p-value
Graph plotting and visualization	Microsoft Excel and Python (Visual Studio Code)	Generating time-series plots and scatter diagrams for data interpretation
Mapping and spatial visualization	ArcGIS	Producing the location map of the study areas, including the floodwater spreading site and the adjacent control area

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

نتایج

آمار توصیفی و نمای کلی سری‌های زمانی

به‌منظور درک پایه‌ای تفاوت‌های احتمالی بین دو منطقه، ابتدا شاخص‌های مرکزی و پراکندگی سری‌های زمانی ماهانه NDVI (متشکل از ۱۱۰ مشاهده برای هر منطقه) محاسبه شد (جدول ۳). بر اساس نتایج، میانگین بلندمدت NDVI در عرصه پخش سیلاب (۰/۰۷۸) و منطقه شاهد (۰/۰۷۹) اختلافی ناچیز در حدود ۰/۰۰۱ واحد داشت که نشان‌دهنده همسانی پایه پوشش گیاهی در آغاز دوره است. با این حال، عرصه پخش سیلاب دارای انحراف معیار کمتر (۰/۰۱۱ در مقابل ۰/۰۱۲) و ضریب تغییرات کوچک‌تری (۰/۱۴۱ در مقابل ۰/۱۵۲) بود که حاکی از نوسان‌پذیری زمانی کمتر در منطقه تحت مدیریت است. هم‌چنین حداکثر NDVI ثبت‌شده در عرصه پخش سیلاب (۰/۱۱۹) بالاتر از شاهد (۰/۱۱۵) بود و دامنه تغییرات در آن وسیع‌تر گزارش شد (۰/۰۷۲ در مقابل ۰/۰۶۹). بررسی میانگین سالانه (جدول ۵) نشان داد که بیشینه میانگین سالانه در هر دو منطقه مربوط به سال ۲۰۲۰ (پخش سیلاب: ۰/۰۹۱، شاهد: ۰/۰۹۰) و کمینه آن مربوط به سال ۲۰۱۷ با مقدار ۰/۰۶۸ برای هر دو منطقه است. از مجموع ۹ سال، در ۵ سال منطقه شاهد میانگین بالاتری داشته و تنها در سال ۲۰۲۰ عرصه پخش سیلاب با اختلاف ۰/۰۰۱ واحد از شاهد پیشی گرفته است. در مقیاس فصلی (جدول ۴)، میانگین NDVI در تمام فصول در منطقه شاهد اندکی بیشتر از عرصه پخش سیلاب بود (اختلاف بین ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۲ واحد). بالاترین میانگین فصلی در هر دو منطقه متعلق به بهار (شاهد: ۰/۰۸۲، پخش سیلاب: ۰/۰۸۰) و پایین‌ترین آن مربوط به تابستان (شاهد: ۰/۰۶۵، پخش سیلاب: ۰/۰۶۴) بود که نشان‌دهنده الگوی فنولوژیک مشابه در هر دو منطقه است.

جدول ۳- شاخص‌های مرکزی و پراکندگی NDVI در کل دوره (برای هر دو منطقه)

Table 3– Central tendency and dispersion indices of NDVI over the entire period (for both areas)

Area	Mean	Standard Deviation	Minimum	Maximum	Range
Control area	0.079	0.012	0.046	0.115	0.069
Flood spreading area	0.078	0.011	0.047	0.119	0.072

جدول ۴- میانگین فصلی NDVI در هر دو منطقه (بهار، تابستان، پاییز، زمستان)

Table 4– Seasonal mean NDVI in both areas (spring, summer, autumn, winter)

Season	Mean NDVI – Flood spreading area	Mean NDVI – Control area	Difference
Spring	0.080	0.082	+0.002 (in favor of control)
Summer	0.064	0.065	+0.001 (in favor of control)
Autumn	0.073	0.074	+0.001 (in favor of control)
Winter	0.079	0.080	+0.001 (in favor of control)

جدول ۵- میانگین NDVI سالانه به تفکیک منطقه (۲۰۱۵ تا ۲۰۲۴) به همراه اختلاف بین دو منطقه

Table 5– Annual mean NDVI by area (2015–2024) and the difference between the two areas

Year	Mean NDVI – Flood spreading area	Mean NDVI – Control area	Difference (Control − Flood spreading)
2016	0.083	0.085	+0.002
2017	0.068	0.068	0.000
2018	0.075	0.077	+0.002
2019	0.084	0.087	+0.003
2020	0.091	0.090	−0.001
2021	0.071	0.071	0.000
2022	0.070	0.071	+0.001
2023	0.077	0.077	0.000
2024	0.077	0.080	+0.003

تحلیل روند سالانه NDVI

به‌منظور بررسی تغییرات بلندمدت، روند سالانه NDVI با استفاده از دو روش رگرسیون خطی معمولی (OLS) و شیب مقاوم تایل – سن تحلیل شد (جدول ۶ و شکل ۲). نتایج نشان داد که شیب رگرسیون خطی سالانه برای هر دو منطقه منفی و بسیار نزدیک به صفر بود (عرصه پخش سیلاب: ۰/۰۰۰۳۳۳–، شاهد: ۰/۰۰۰۳۵۰–). ضرایب همبستگی پیرسون (R) نیز به ترتیب ۰/۱۲۱۷– و ۰/۱۲۴۲– محاسبه شد و مقادیر p-value به ترتیب برابر با ۰/۷۵۵ و ۰/۷۵۰ به دست آمد که هر دو به طور قابل‌توجهی از آستانه ۰/۰۵ بزرگ‌تر بودند. بنابراین، هیچ روند افزایشی یا کاهشی معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد برای هیچ یک از دو منطقه وجود ندارد. شیب تایل – سن نیز برای هر دو منطقه مثبت (عرصه پخش سیلاب: ۰/۰۰۰۱۶۷، شاهد: ۰/۰۰۰۲۵۰) محاسبه شد که نشان‌دهنده تأیید مقاوم بودن عدم وجود روند منفی در داده‌هاست.

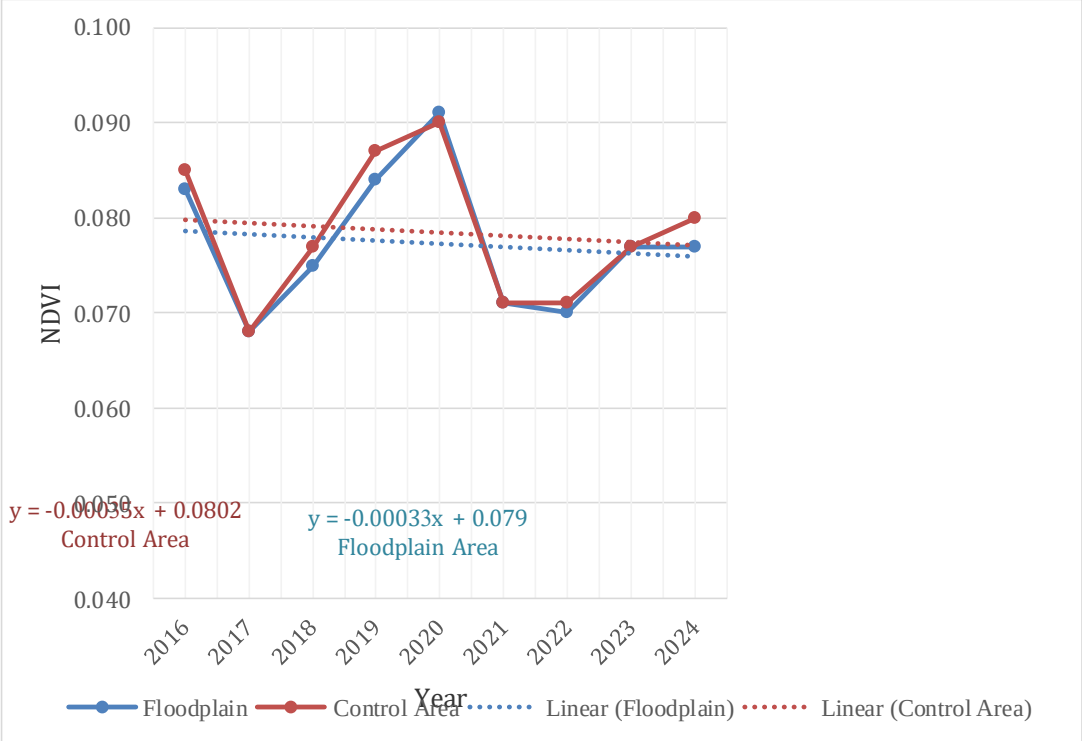
[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

جدول ۶- روند سالانه NDVI برای هر دو منطقه (۲۰۲۴-۲۰۱۵)

Table 6– Annual NDVI trend for both areas (2015–2024)

Area	Linear regression slope	Correlation coefficient (R)	p-value	Theil–Sen slope
Flood spreading area	−0.000333	−0.1217	0.755	0.000167
Control area	−0.000350	−0.1242	0.750	0.000250



شکل ۲- روند خطی سالانه NDVI در منطقه شاهد و عرصه پخش سیلاب

Figure 2– Annual linear trend of NDVI in the control area and the flood spreading area

تحلیل روند فصلی NDVI

به‌منظور بررسی تغییرات درون‌سالانه، روند NDVI برای هر یک از چهار فصل به‌صورت جداگانه تحلیل شد (جدول ۷ و شکل ۳). در عرصه پخش سیلاب، تنها فصل بهار دارای شیب مثبت (۰/۰۰۰۳۸۳) بود، اما سطح معناداری آن بسیار بالا بود (p-value=۰/۸۴۳). تابستان، پاییز و زمستان دارای شیب منفی بودند (به‌ترتیب: ۰/۰۰۰۴۸۳-، ۰/۰۰۱۰۱۷- و ۰/۰۰۰۹۳۳-) اما هیچ‌یک از آن‌ها از نظر آماری معنادار نبودند. در منطقه شاهد، بهار و تابستان دارای شیب مثبت (به‌ترتیب ۰/۰۰۰۲۳۳ و ۰/۰۰۰۲۵۰) و پاییز و زمستان دارای شیب منفی (به‌ترتیب ۰/۰۰۰۷۸۳- و ۰/۰۰۱۴۳۳-) بودند. قابل ذکر است که شیب منفی زمستان در منطقه شاهد (۰/۰۰۱۴۳۳-) نسبتاً بزرگ‌تر از عرصه پخش سیلاب است، اما همچنان غیرمعنادار است (p-value= ۰/۳۴۶). در مجموع، در هیچ یک از فصول و در هیچ یک از مناطق، روند معناداری مشاهده نشد.

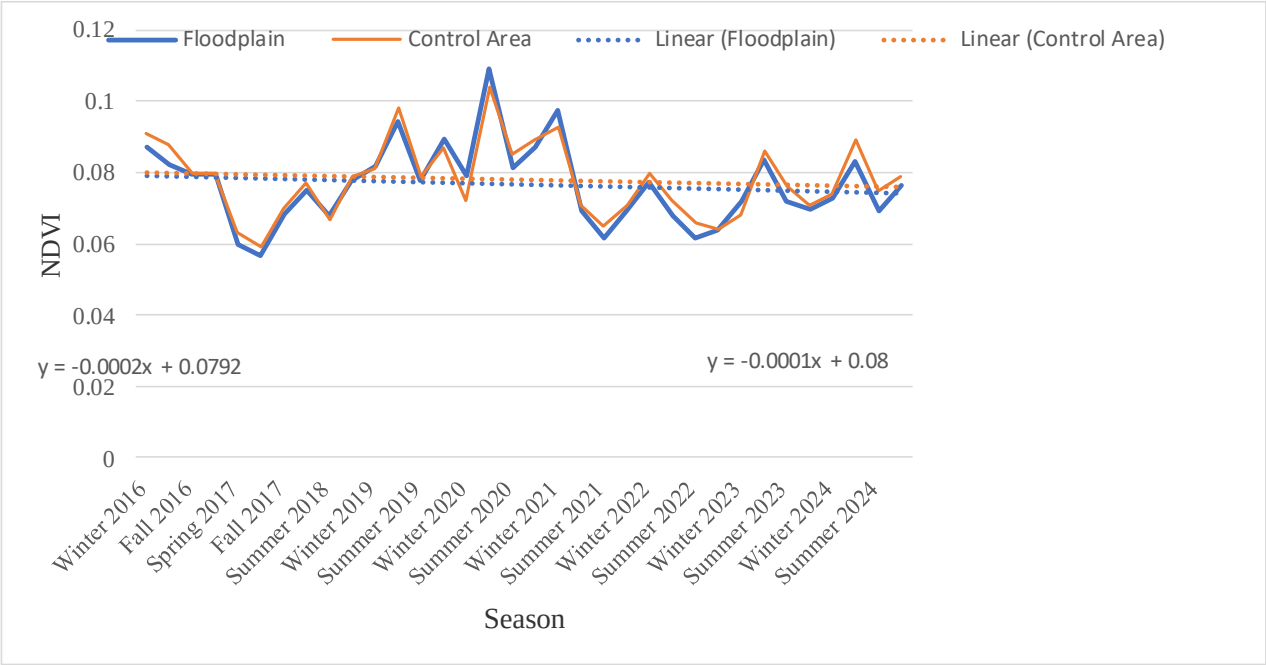
جدول ۷- روند فصلی NDVI برای هر دو منطقه

Table 7– Seasonal NDVI trend for both areas

Area	Season	Linear regression slope	Correlation coefficient (R)	p-value	Theil–Sen slope
Flood spreading area	Spring	0.000383	0.0776	0.843	0.000226
	Summer	−0.000483	−0.1519	0.696	−0.000833
	Autumn	−0.001017	−0.3249	0.394	−0.001000
	Winter	−0.000933	−0.2068	0.593	−0.001267
Control area	Spring	0.000233	0.0558	0.887	0.000146
	Summer	0.000250	0.0801	0.838	0.000375
	Autumn	−0.000783	−0.2587	0.501	−0.000313
	Winter	−0.001433	−0.3567	0.346	−0.001817

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]



شکل ۳- روند خطی فصلی NDVI در منطقه شاهد و عرصه پخش سیلاب

Figure 3– Seasonal linear trend of NDVI in the control area and the flood spreading area

تحلیل روند ماهانه NDVI

برای دقیق‌ترین سطح تحلیل، روند NDVI برای هر ماه شمسی به‌طور مجزا محاسبه شد (جدول ۸ و شکل ۴). در عرصه پخش سیلاب، ماه‌های خرداد (شیب ۰/۰۰۰۹۸۸)، تیر (۰/۰۰۱۴۵۱) و شهریور (۰/۰۰۰۷۸۹) دارای شیب مثبت بودند، درحالی‌که فروردین (۰/۰۰۳۳۱۴-) و آبان (۰/۰۰۲۰۰۰-) بیش‌ترین شیب منفی را نشان دادند. در منطقه شاهد، خرداد (۰/۰۰۱۸۸۵) و تیر (۰/۰۰۲۳۳۶) شیب مثبت قابل‌توجه‌تری داشتند و فروردین با شیب ۰/۰۰۵۸۲۹- بزرگ‌ترین کاهش را نشان داد. با این حال، تمامی مقادیر p-value برای همه ماه‌ها در هر دو منطقه بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بودند (کم‌ترین مقدار مربوط به فروردین در منطقه شاهد با ۰/۱۱۵ بود که هم‌چنان از سطح ۰/۰۵ بالاتر است). شیب تایل- سن نیز در اکثر موارد نزدیک به شیب رگرسیون خطی بوده و مقاومت نتایج را تأیید می‌کند؛ بنابراین هیچ روند ماهانه معناداری در سطح ۰/۰۵ وجود ندارد.

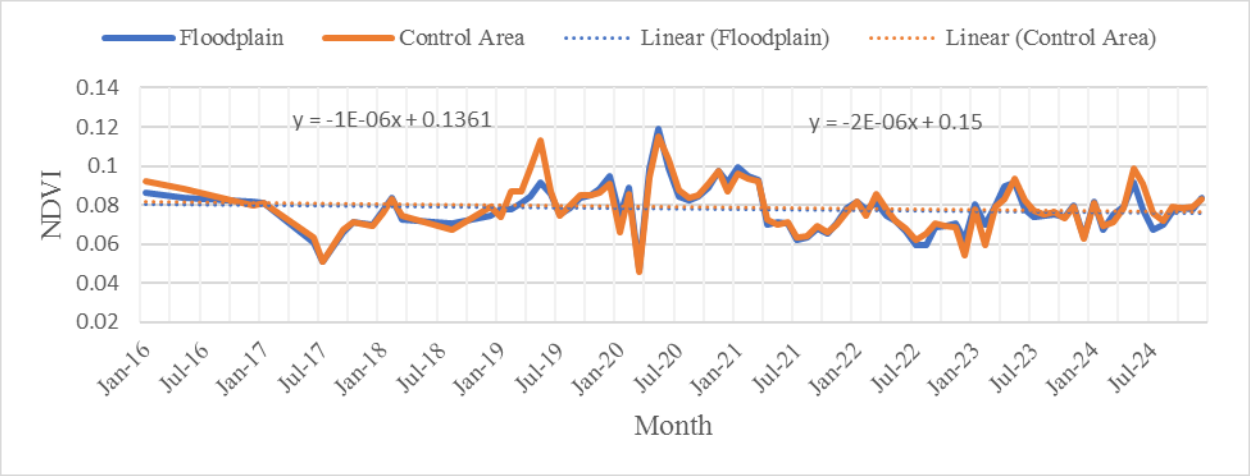
جدول ۸- روند ماهانه NDVI برای هر دو منطقه

Table 8– Monthly NDVI trend for both areas

Area	Month	Linear regression slope	Correlation coefficient (R)	p-value	Theil–Sen slope
Flood spreading area	January (Dey)	−0.000283	−0.1079	0.782	−0.000741
	February (Bahman)	−0.000964	−0.1645	0.724	−0.002000
	March (Esfand)	−0.000571	−0.1391	0.766	0.000333
	April (Farvardin)	−0.003314	−0.4010	0.431	−0.001000
	May (Ordibehesht)	≈0	≈0	1.000	0
	June (Khordad)	0.000988	0.2768	0.548	0.002000
	July (Tir)	0.001451	0.3627	0.424	−0.000500
	August (Mordad)	−0.000929	−0.3567	0.432	−0.000500
	September (Shahrivar)	0.000789	0.2445	0.641	0.001500
	October (Mehr)	−0.000130	−0.0297	0.955	0.000500
	November (Aban)	−0.002000	−0.3553	0.557	−0.002500
	December (Azar)	−0.000605	−0.1412	0.739	−0.000983
Control area	January (Dey)	−0.000633	−0.2002	0.605	−0.000500
	February (Bahman)	−0.002357	−0.3500	0.441	−0.003000
	March (Esfand)	−0.001321	−0.3648	0.421	−0.002000
	April (Farvardin)	−0.005829	−0.7082	0.115	−0.004000
	May (Ordibehesht)	−0.000668	−0.1301	0.781	−0.001250
	June (Khordad)	0.001885	0.4185	0.350	0.001000
	July (Tir)	0.002336	0.5329	0.218	0.001667
	August (Mordad)	−0.000321	−0.1077	0.818	0.000500
	September (Shahrivar)	0.000800	0.2229	0.671	0.001500
	October (Mehr)	−0.000438	−0.0985	0.853	0.000167
	November (Aban)	−0.000700	−0.1490	0.811	−0.000500
	December (Azar)	−0.000887	−0.2026	0.630	−0.000633

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]



شکل ۴- روند خطی ماهانه NDVI در منطقه شاهد و عرصه پخش سیلاب

Figure 4– Monthly linear trend of NDVI in the control area and the flood spreading area

مقایسه آماری توزیع NDVI بین دو منطقه

به‌منظور ارزیابی معناداری آماری تفاوت احتمالی پوشش گیاهی بین عرصه پخش سیلاب و منطقه شاهد، به‌دلیل عدم نرمال بودن توزیع داده‌ها (تأییدشده با آزمون شاپیرو – ویلک، $p < 0.05$)، از آزمون ناپارامتریک من–ویتنی (Mann-Whitney U) استفاده شد (جدول ۹). نتایج حاصل از اجرای این آزمون بر روی ۱۱۰ مشاهده ماهانه برای هر منطقه نشان داد که آماره U برابر با ۷۹۵۹/۵ و سطح معناداری (p-value) برابر با ۰/۰۵۷۰ محاسبه می‌شود. با توجه به آستانه معناداری مرسوم (۰/۰۵)، مقدار p-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ بوده و در نتیجه هیچ تفاوت آماری معناداری بین توزیع NDVI عرصه پخش سیلاب و منطقه شاهد در سطح اطمینان ۹۵ درصد وجود ندارد. گرچه مقدار p-value (۰/۰۵۷) بسیار نزدیک به آستانه معناداری است و می‌تواند حاکی از وجود یک اختلاف حاشیه‌ای (Marginally Significant) باشد، اما بر اساس معیارهای استاندارد آماری، نمی‌توان ادعای تفاوت معنادار داشت.

جدول ۹- نتایج آزمون Mann-Whitney U برای مقایسه NDVI دو منطقه

Table 9– Results of the Mann–Whitney U test for comparing NDVI between the two areas

First area	Second area	U statistic	p-value	Number of observations (per area)	Conclusion at 0.05 level
Control area	Flood spreading area	7959.5	0.057	110	No significant difference

بحث

نتایج این پژوهش نشان داد که اگرچه میانگین بلندمدت NDVI در عرصه پخش سیلاب (۰/۰۷۸) در مقایسه با منطقه شاهد (۰/۰۷۹) اختلافی ناچیز و از نظر آماری غیرمعنادار داشت ($p = 0.057$)، اما دو یافته بسیار مهم دیگر حاصل شد: (۱) کاهش محسوس نوسانات زمانی (انحراف معیار ۰/۰۱۱ در برابر ۰/۰۱۲ و ضریب تغییرات ۰/۱۴۱ در برابر ۰/۱۵۲) و (۲) افزایش حداکثر سبزینگی (۰/۱۱۹ در برابر ۰/۱۱۵) در عرصه تحت مدیریت. این یافته‌ها نشان می‌دهد که اثر پخش سیلاب بر پوشش گیاهی، به‌جای افزایش خطی و یکنواخت میانگین، به‌صورت بهبود پایداری و افزایش ظرفیت جهش در شرایط مساعد ظهور یافته است. از جمله علل علمی عدم افزایش معنادار میانگین NDVI در عرصه پخش سیلاب سُه میتوان با توجه به شرایط منطقه به موارد زیر اشاره کرد:

مهم‌ترین دلیل علمی برای عدم افزایش میانگین NDVI، تطابق نداشتن عمق ذخیره‌سازی آب با عمق توسعه ریشه گیاهان غالب منطقه است. پوشش غالب عرصه را مراتع طبیعی با گونه‌های علفی یک‌ساله و چندساله تشکیل می‌دهد که سیستم ریشه‌ای سطحی و کم‌عمق (معمولاً کم‌تر از ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر) دارند. در مقابل، آب ناشی از پخش سیلاب با نفوذ عمقی، عمدتاً در لایه‌های زیرسطحی (بیش از ۱ متر) و در منطقه غیراشباع یا سفره آب زیرزمینی ذخیره می‌شود (Sufyan et al., 2024). بنابراین، این ذخیره‌گاه عمقی آب برای گیاهان کم‌ریشه قابل‌دسترس نیست. Sanz et al. (2021) نیز در مراتع خشک اسپانیا نشان دادند که پاسخ NDVI به رطوبت خاک عمدتاً به لایه‌های بالایی خاک (۰–۳۰ سانتی‌متر) محدود است و ذخیره آب عمقی تأثیر مستقیمی بر شاخص سبزینگی ندارد.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

یکی از واقعیت‌های میدانی که در تفسیر نتایج بسیار حائز اهمیت است، عملیات اجرایی اولیه در عرصه پخش سیلاب است. احداث کانال‌ها، پخش‌کننده‌ها و اصلاح شیب‌بندی عرصه، معمولاً با خاکبرداری، خاکریزی و تسطیح همراه است. این عملیات مکانیکی منجر به تخریب ساختار طبیعی خاک، به‌هم‌ریختگی لایه‌های سطحی و نابودی بانک بذر بومی می‌شود. بازگشت پوشش گیاهی به وضعیت پایدار اولیه، نیازمند چندین سال فرصت برای استقرار مجدد گونه‌ها و تکامل بانک بذر است (Behling et al., 2022). بنابراین، دوره ۹ ساله مطالعه ممکن است صرفاً دوره نقاهت عرصه باشد و هنوز به نقطه تعادل اکولوژیک پیشین خود نرسیده باشد.

با گذشت زمان و تکرار رویدادهای سیلاب، مقادیر قابل‌توجهی رسوبات ریزدانه (سیلت و رس) بر روی سطح عرصه پخش سیلاب ته‌نشین می‌شود. این لایه رسوبی که ضخامت آن در طول سال‌ها افزایش می‌یابد، اگرچه ممکن است نفوذپذیری کلی را حفظ کند، اما تشکیل یک لایه سطحی با بافت ریزتر و تراکم بیش‌تر می‌دهد که می‌تواند مانعی فیزیکی برای جوانه‌زنی بذر گیاهان یک‌ساله و چندساله مرتعی ایجاد کند. رشد گیاهان مرتعی وابسته به تماس بذر با ذرات خاک و نفوذ ریشه‌چه‌ها در لایه سطحی است. پوشش شدن این لایه توسط رسوبات ریزدانه، می‌تواند استقرار اولیه و تراکم پوشش علفی را محدود کند و در نتیجه مانع از افزایش چشمگیر میانگین NDVI شود (Noori et al., 2023). این پدیده نشان‌دهنده یک تأثیر دوگانه پخش سیلاب است: از یک‌سو رطوبت عمقی را افزایش می‌دهد و از سوی دیگر با تغییر بافت سطحی، شرایط رویش گیاهان علفی را با چالش مواجه می‌کند.

بخش قابل‌توجهی از پوشش عرصه را درختان بادام دست‌کاشت تشکیل می‌دهند. درختان بادام معمولاً به دوره رشد ۵ تا ۱۰ ساله برای دستیابی به تاج پوشش کامل و تولید حداکثری زیست‌توده نیاز دارند. از آن‌جایی‌که خیلی از این درختان بادام هنوز در مرحله رشد رویشی هستند و تأثیر قابل‌توجهی بر میانگین NDVI منطقه‌ای ندارند. بنابراین، انتظار افزایش شدید NDVI ناشی از درختان، نیازمند پایش طولانی تری است. مطالعات مرور سیستماتیک Noori et al., 2023 به‌صراحت نشان داده است که اثرات مثبت تغذیه مصنوعی بر پوشش گیاهی، معمولاً با یک تأخیر زمانی چندین ساله (Time Lag) ظاهر می‌شود و در بازه‌های کمتر از ۱۰ سال، قابل‌تشخیص نیست. این تأخیر به‌دلیل زمان موردنیاز برای انتقال آب از سطح به لایه‌های ریشه‌ای یا سفره، تغییر رژیم رطوبتی خاک و سپس پاسخ فیزیولوژیک گیاهان است. یافته این پژوهش باPvalue نزدیک به ۰/۰۵ (۰/۰۵۷) دقیقاً نشان‌دهنده قرارگیری در آستانه ظهور این اثر است و احتمالاً با تداوم پایش، این اختلاف در بلندمدت به سطح معناداری خواهد رسید. نکته کلیدی دیگر، عدم وجود هرگونه روند افزایشی یا کاهشی در منطقه شاهد در طول دوره ۹ ساله است. این امر ممکن است به‌دلیل تغییرات متغیرهای اقلیمی (بارش و دما) باشد. که در این مطالعه مورد بررسی قرار نگرفت. بنابراین، می‌توان گفت که عدم افزایش NDVI در عرصه پخش سیلاب نتیجه ترکیبی از عوامل محلی (عمق ریشه، رسوب‌گذاری، سن درختان و اختلالات اولیه) و عوامل اقلیمی است.

اگرچه میانگین NDVI تغییر نکرده است، اما کاهش انحراف معیار و ضریب تغییرات در عرصه پخش سیلاب یک دستاورد اکولوژیک بسیار ارزشمند محسوب می‌شود که نباید نادیده گرفته شود. کاهش انحراف معیار در عرصه پخش سیلاب نشان می‌دهد که پوشش گیاهی این منطقه، در طول سال‌های خشک، با افت شدید NDVI مواجه نشده است (یعنی مقدار حداقل آن در دو منطقه تقریباً برابر است)؛ درحالی‌که در سال‌های مساعد (مانند سال ۲۰۲۰)، توانسته است به حداکثر بالاتری (۰/۱۱۹) نسبت به شاهد (۰/۱۱۵) دست یابد. به عبارت دیگر، پخش سیلاب با تأمین یک ذخیره رطوبتی مکمل در لایه‌های عمیق‌تر، از ریزش شدید پوشش گیاهی در تنش‌های خشکی جلوگیری کرده و در سال‌های مرطوب، پتانسیل رشد را افزایش داده است. این رفتار را می‌توان اثر بافرینگ[1] پخش سیلاب نامید. در شرایط عادی، پوشش گیاهی مرتعی وابسته به بارش‌های سطحی است و در سال‌های کم‌بارش به‌شدت دچار استرس می‌شود. اما حضور ذخیره آب زیرسطحی ناشی از پخش سیلاب، یک سکوی پایداری[2] ایجاد می‌کند که انعطاف‌پذیری بیشتری به گیاهان می‌دهد. Noori et al. (2023) نیز در مرور خود بر پروژه‌های پخش سیلاب ایران، به این نکته اشاره کرده‌اند که اگرچه افزایش تراکم پوشش گیاهی ممکن است با تأخیر مواجه شود، اما بهبود پایداری ساختاری بوم‌سازگان از اولین پیامدهای قابل‌اندازه‌گیری است.

یافته این پژوهش با نتایج Ghorbanian et al. (2022) در آبخوان فردوس که تأثیر معناداری بر میانگین NDVI نیافت، هم‌سو است. این هم‌سویی نشان می‌دهد که در بسیاری از عرصه‌های پخش سیلاب با پوشش غالب مرتعی، پاسخ افزایشی NDVI سریع نیست. با این حال، این

[1] Buffering effect
[2] Stability platform

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

یافته با مطالعه Kazemi Garajeh et al. (2022) در استان فارس که افزایش ۱۵ درصدی NDVI گزارش کردند، در تناقض ظاهری است. اما با نگاه دقیق‌تر، این تناقض قابل‌حل است: مطالعه Kazemi Garajeh et al. (2022)، دوره پایش کوتاه‌تر (۵ سال) و فاقد منطقه شاهد معادل بوده است و افزایش گزارش‌شده ممکن است ناشی از نوسانات اقلیمی یا تغییرات طبیعی پوشش باشد. مقاله حاضر با بهره‌گیری از یک شاهد همگن، توانسته است اثر واقعی مدیریت را از اثر اقلیم تفکیک کند که خود یک برتری روش‌شناختی محسوب می‌شود. در سطح بین‌المللی، پژوهش‌های مشابه در حوضه‌های خشک اسپانیا (Sanz et al., 2021) و چین (Mehmood et al., 2024) نیز نشان داده‌اند که پاسخ NDVI به تغذیه مصنوعی آبخوان، شدیداً تحت تأثیر بافت خاک، عمق ریشه و نوع گونه گیاهی است. در مناطقی که پوشش غالب مراتع با ریشه سطحی است، افزایش NDVI محدودتر و با تأخیر بیشتر همراه است.

مقدار p-value برابر با ۰/۰۵۷ یک نشانه آماری مهم است. هرچند از آستانه ۰/۰۵ عبور کرده، اما فاصله بسیار ناچیز آن با آستانه معناداری، نشان‌دهنده وجود یک اختلاف واقعی اما با شدت کم است که به‌دلیل حجم نمونه (۱۱۰ مشاهده) و نوسانات طبیعی داده‌ها، هنوز به سطح معناداری نرسیده است. به‌عبارت علمی‌تر، این مقدار نشان می‌دهد که اگر دوره پایش به ۱۲ یا ۱۵ سال افزایش یابد، احتمال رد فرض صفر (برابری توزیع NDVI) بسیار زیاد است. این موضوع، ضرورت تداوم پایش بلندمدت را در پروژه‌های پخش سیلاب به‌عنوان یک پیشنهاد پژوهشی قوی مطرح می‌کند.

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کمی اثر عملیات پخش سیلاب بر NDVI در آبخوان سُه (میمه، استان اصفهان) با استفاده از سری‌های زمانی ۹ ساله (۲۰۱۵–۲۰۲۴) تصاویر سنتینل-۲ و مقایسه با یک منطقه شاهد کاملاً همگن انجام شد. یافته‌های این مطالعه از منظر مدیریتی و علمی حاوی پیامدهای مهمی است که فراتر از اعداد و ارقام آماری، می‌تواند به بهبود طراحی و ارزیابی پروژه‌های تغذیه مصنوعی آبخوان در مناطق خشک کشور کمک کند. ضرورت بازنگری در شاخص‌های موفقیت پروژه‌های پخش سیلاب: اگرچه آزمون من- ویتنی تفاوت معناداری در میانگین NDVI بین عرصه پخش سیلاب و شاهد نشان نداد، کاهش محسوس نوسانات زمانی (ضریب تغییرات ۰/۱۴۱ در برابر ۰/۱۵۲) و افزایش حداکثر NDVI (۰/۱۱۹ در برابر ۰/۱۱۵) در عرصه مدیریت‌شده، بیانگر دستاوردی کیفی و ارزشمند است. این الگو، که می‌توان آن را «اثر بافرینگ» یا «سکوی پایداری» نامید، نشان می‌دهد که پخش سیلاب علی‌رغم عدم افزایش میانگین، توانسته است تاب‌آوری بوم‌سازگان را در برابر تنش‌های اقلیمی (به‌ویژه خشکسالی‌های متوالی) بهبود بخشد. بنابراین، ارزیابی این پروژه‌ها صرفاً بر اساس تغییرات میانگین شاخص‌های گیاهی، ناقص است و بایستی شاخص‌های پایداری و انعطاف‌پذیری بوم‌سازگان نیز به‌عنوان معیارهای موفقیت مدنظر قرار گیرند.

تأخیر زمانی پاسخ گیاهان و لزوم پایش بلندمدت: مقدار p-value برابر با ۰/۰۵۷ که بسیار نزدیک به آستانه‌ی معناداری ۰/۰۵ است، نشان‌دهنده ظهور تدریجی اثرات مدیریتی و قرارگیری سیستم در آستانه تغییر معنادار است. این یافته با مرور نظام‌مند Noori et al. (2023) هم‌خوانی دارد که نشان داد اثرات مثبت تغذیه مصنوعی بر پوشش گیاهی در اکثر پروژه‌های ایران، پس از حداقل یک دهه قابل‌تشخیص می‌شود. بنابراین، تداوم پایش این عرصه تا حداقل ۱۵ سال، یک ضرورت علمی- مدیریتی است.

محدودیت‌ها و عدم‌قطعیت‌های پژوهش: این مطالعه با محدودیت‌هایی مواجه است: (الف) نبود داده‌های میدانی (زیست‌توده و رطوبت خاک) برای راستی‌آزمایی (validation) نتایج؛ (ب) عدم دسترسی به آمار دقیق حجم آب تزریق‌شده و تعداد رویدادهای سیلاب، که امکان تحلیل همبستگی کمی را فراهم نمی‌سازد؛ (پ) استفاده از تنها یک شاخص طیفی (NDVI) که تغییرات ظریف‌تر مانند ترکیب گونه‌ها را منعکس نمی‌کند؛ (ت) دوره ۹ ساله که برای آشکارسازی کامل پاسخ گونه‌های چوبی با دوره رشد طولانی (مانند بادام) ممکن است کافی نباشد.

پیشنهادهای اجرایی-مدیریتی برای مطالعات آینده: استقرار شبکه پایش میدانی: نصب سنسورهای رطوبت‌سنج در اعماق مختلف خاک و پیزومترهای مشاهده‌ای جهت اندازه‌گیری مستقیم تغییرات رطوبت و سطح آب زیرزمینی.

استفاده از شاخص‌های طیفی مکمل: در پژوهش‌های آتی، استفاده همزمان از شاخص‌های SAVI و NDMI برای درک کامل‌تر از پاسخ پوشش گیاهی توصیه می‌شود در نهایت؛ افزایش دوره‌های پایش به ۱۵ سال و بیش‌تر به منظور بررسی دقیقتر اثرات پخش سیلاب. در مجموع، این پژوهش با ارائه‌ی چارچوبی تکرارپذیر و مبتنی بر داده‌های رایگان ماهواره‌ای، نشان می‌دهد که ارزیابی بلندمدت و چندمعیاره با تأکید بر شاخص‌های پایداری، می‌تواند تصویر واقع‌بینانه‌تری از عملکرد پروژه‌های پخش سیلاب ارائه دهد.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: هیچ‌گونه حمایت مالی دریافت نشده است.

مشارکت نویسندگان: **هاشمی، م.:** جمع‌آوری اطلاعات، انجام تحلیل‌های آماری، نگارش نسخه اولیه مقاله. **دسترنج، ع.:** بازبینی مقاله، تحلیل نتایج

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: نویسندگان از داوران به خاطر ارائه نظرات سازنده صمیمانه تشکر می‌کنند.

منابع

جهان‌تیغ، منصور، و جهان‌تیغ، معین (۱۳۹۸). بررسی تأثیر بهره‌وری سیلاب برروند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های میدانی و تصاویر لندست (مطالعه موردی: منطقه شندک سیستان). سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، ۱۰(۴)، ۵۷–۷۳. https://sid.ir/paper/189577/fa

ضیائیان فیروزآبادی، پرویز، بدراق‌نژاد، ایوب، سارلی، رضا و بابایی، محبوب (۱۳۹۹). سنجش و شناسایی مناطق مستعد پخش سیلاب از منظر سازندهای زمین‌شناسی در حوزه آبخیز بیرجند با استفاده از RS/GIS. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰(۵۷)، ۱–۲۴. **dor:** 20.1001.1.22287736.1399.20.57.1.4

دستی‌گردی، مرتضی، نادی، مهدی، رائینی، محمود، و کیاپاشا، خدیجه (۱۴۰۱). تحلیل روند پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی NDVI ماهواره مودیس در شمال شرق ایران. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۹(۱)، ۱۳۵–۱۵۰. **doi:** 10.22069/jwsc.2022.20208.3554

References

Noori, R., et al. (2021). Anthropogenic depletion of Iran's aquifers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(25), e2024221118. **doi:** 10.1073/pnas.2024221118.

Atefi, M. R., & Miura, H. (2022). Detection of flash flood inundated areas using relative difference in NDVI from Sentinel-2 images: A case study of the August 2020 event in Charikar, Afghanistan. *Remote Sensing*, *14*(15), 3647. **doi:** 10.3390/rs14153647

Behling, R., Roessner, S., Foerster, S., Saemian, P., Tourian, M. J., Portele, T. C., & Lorenz, C. (2022). Interrelations of vegetation growth and water scarcity in Iran revealed by satellite time series. *Scientific Reports*, *12*, 20724. **doi:** 10.1038/s41598-022-24712-6

Kazemi Garajeh, M., Weng, Q., Hossein Haghi, V., Li, Z., Kazemi Garajeh, A., & Salmani, B. (2022). Learning-based methods for detection and monitoring of shallow flood-affected areas: Impact of shallow-flood spreading on vegetation density. *Canadian Journal of Remote Sensing*, *48*(4), 481–503. **doi:** 10.1080/07038992.2022.2072277

Mehmood, K., Anees, S. A., Muhammad, S., Hussain, K., Shahzad, F., Liu, Q., Ansari, M. J., Alharbi, S. A., & Khan, W. R. (2024). Analyzing vegetation health dynamics across seasons and regions through NDVI and climatic variables. *Scientific Reports*, *14*, 11533. **doi:** 10.1038/s41598-024-62464-7

Noori, R., Maghrebi, M., Jessen, S., Bateni, S. M., Heggy, E., Javadi, S., Noury, M., Pistre, S., Abolfathi, S., & AghaKouchak, A. (2023). Decline in Iran's groundwater recharge. *Nature Communications*, *14*, 6180. **doi:** 10.1038/s41467-023-42411-2

Noori, R., Maghrebi, M., Mirchi, A., Li, F., Madani, K., Bidokhti, A. A., & AghaKouchak, A. (2021). Anthropogenic depletion of Iran's aquifers. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *118*(25), e2024221118. **doi:** 10.1073/pnas.2024221118

Sanz, E., Saa-Requejo, A., Díaz-Ambrona, C. H., Ruiz-Ramos, M., Rodríguez, A., Iglesias, E., Esteve, P., Soriano, B., & Tarquis, A. M. (2021). Normalized difference vegetation index temporal responses to temperature and precipitation in arid rangelands. *Remote Sensing*, *13*(5), 840. **doi:** 10.3390/rs13050840

Sufyan, M., Martelli, G., Teatini, P., Cherubini, C., & Goi, D. (2024). Managed aquifer recharge for sustainable groundwater management: New developments, challenges, and future prospects. *Water*, *16*(22), 3216. **doi:** 10.3390/w16223216

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]

Sutomo, Iryadi, R., & Harini Muntasib, E. K. S. (2024). Detecting groundwater dependence and woody vegetation restoration with NDVI and moisture trend analyses in an Indonesian karst savanna. *Frontiers in Remote Sensing*, *5*, 1280712. **doi:** 10.3389/frsen.2024.1280712

Xu, H., Shi, T., & Zhu, X. (2022). Monitoring and mapping vegetation cover changes in arid and semi-arid areas using remote sensing technology: A review. *Remote Sensing*, *14*(20), 5143. https://doi.org/10.3390/rs14205143

Jahantigh, M., & Jahantigh, M. (2020). Study effect of flood productivity on vegetation changes using field work and Landsat satellite images (Case study: Shandak of Sistan region). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 10(4 (37)), 57-73. SID. https://sid.ir/paper/189577/en. [In Persian]

Ziaiian Firouz Abadi, P., Badragh Nejad, A., Sarli, R., & Babaie, M. (2020). Measurement and identification of areas susceptible to flood spreading from the viewpoint of geological formations in Birjand watershed using RS / GIS. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, *20*(57), 1-24. **doi:** 10.29252/jgs.20.57.1. [In Persian]

Dastigerdi, M., Nadi, M., Raeini-sarjaz, M., & Kiapasha, K. (2022). Vegetation trend analysis using NDVI time series of Modis satellite in the northeast of Iran. *Journal of Water and Soil Conservation*, *29*(1), 135-150. **doi:** 10.22069/jwsc.2022.20208.3554. [In Persian]

Zhou, Y., Toda, Y., & Zhu, R. (2026). Spatiotemporal dynamics of Sentinel-2 NDVI as indicators of bio-hydromorphological interactions: implications for river management. *Earth Surface Dynamics*, *14*(2), 233-246. https://esurf.copernicus.org/articles/14/233/2026/.

Atefi, M. R., & Miura, H. (2022). Detection of flash flood inundated areas using relative difference in NDVI from sentinel-2 images: a case study of the August 2020 event in Charikar, Afghanistan. *Remote Sensing*, *14*(15), 3647. **doi:** 10.3390/rs14153647.

[Downloaded from mail.jircsa.ir on 2026-09-28]

[DOR: 20.1001.1.24235970.1405.14.2.5.4]