نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و سوم، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۲

تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مراتع و پایش تغییرات آن در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی با استفاده از NDVI سنجنده MODIS (مطالعه موردی: مراتع جنوب استان یزد)

دریافت مقاله: ۹۷/۱۲/۲۹ **پذیرش نهایی**: ۹۹/۱/۶

صفحات: ۲۱۵-۱۹۳

هادی زارع خورمیزی: دانشجو دکتری علوم و مهندسی مرتع دانشگاه تهران، تهران، ایران
Email: hadi.zarekh@gmail.com
حمیدرضا غفاریان مالمیری: استادیار گروه جغرافیا دانشگاه یزد، یزد، ایران[1]
Email: hrghafarian@gmail.com

چکیده

آگاهی از خصوصیات پوشش گیاهی مراتع و همچنین عوامل مؤثر بر آن در برنامه‌ریزی‌های محیطی، آمایش سرزمین و توسعه پایدار بسیار حائز اهمیت است. بااین‌حال نقشه‌های منطقه‌ای و به‌روز شده درصد پوشش گیاهی مراتع همواره در دسترس و قابل تهیه نیست. در پژوهش حاضر به‌منظور تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مراتع و پایش تغییرات آن در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی از شاخص NDVI سنجنده MODIS طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه و همچنین شاخص خشک‌سالی SPI استفاده شد. منطقه موردمطالعه بخشی از مراتع واقع در جنوب استان یزد می‌باشد؛ که در سال ۱۳۹۴ به‌منظور تهیه داده‌های زمینی، نمونه‌گیری از میزان درصد پوشش گیاهی از سطح مراتع منطقه موردمطالعه صورت گرفت. بر اساس نتایج، شاخص NDVI دارای قابلیت مناسبی در تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی می‌باشد؛ به‌طوری‌که ضریب تبیین (R^2) بین این شاخص و نقاط نمونه‌برداری شده ۰/۷۱ به‌دست آمد. بر اساس نتایج، به‌طور میانگین طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶، پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه ۱۱/۳ درصد بوده است. بیشترین و کمترین میزان درصد پوشش گیاهی در سطح منطقه موردمطالعه به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۸۱ و ۱۳۷۹ و با میانگین ۱۴/۶ و ۹/۲ درصد بود که به ترتیب دارای وضعیت‌های ترسالی متوسط و خشک‌سالی بسیار شدید بودند. مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه، میزان بارندگی و دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی می‌باشند، به‌طوری‌که ضریب تبیین (R^2) بین شاخص خشک‌سالی SPI و میانگین درصد پوشش گیاهی، ۰/۸۵ به‌دست آمد. بر اساس نتایج سنجش‌ازدور و داده‌های ماهواره‌ای پتانسیل بالایی در ارزیابی و پایش تغییرات پوشش گیاهی مراتع دارند.

کلید واژگان: پوشش گیاهی، خشک‌سالی، شاخص استاندارد بارش، NDVI، یزد

---

۱. نویسنده مسئول: یزد، گروه جغرافیا دانشگاه یزد. شماره تلفن: ۰۹۱۳۳۵۱۴۶۵۶

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

مقدمه

مراتع یکی از منابع طبیعی تجدیدشونده با استفاده‌های متنوع می‌باشند که بیشترین سطح اراضی کشور را به خود اختصاص داده‌اند (مقدم، ۱۳۹۰: ۱۱). حفاظت خاک، حفاظت محیط‌زیست، ایجاد مناطق تفرجی، تولید گیاهان دارویی، تولید گیاهان صنعتی، تولید محصولات دامی، تولید آب و آبزیان و حیات‌وحش و شکار از منافع و فواید مهم مراتع هستند (مصداقی، ۱۳۸۹: ۱۶). مراتع همانند تولیدات و منافع حاصل از آن‌ها، از تنوع و پیچیدگی خاصی برخوردارند. وقوع خشک‌سالی‌های پی‌درپی، همچنین استفاده بیش از ظرفیت مراتع توسط دام موجب تخریب این منبع طبیعی باارزش شده است. یکی از مهم‌ترین پیامدهای خشک‌سالی، کاهش مقدار پوشش گیاهی مراتع است. با کاهش پوشش گیاهی، شرایط محیطی برای بروز مشکلات مختلف نظیر فرسایش خاک، گردوغبار، افزایش میزان رواناب سطحی و خطر بروز سیل و ... فراهم می‌شود. بر این اساس، شناخت و ارزیابی اثرات خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی مراتع از اهمیت زیادی برخوردار است.

بارندگی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی مراتع به‌حساب می‌آید (هادیان و همکاران، ۱۳۹۳: ۴۶). کاهش مقدار بارندگی و افزایش دما، هر یک به‌تنهایی یا با کمک هم می‌توانند منجر به بروز خشک‌سالی شوند (زارع خورمیزی و غفاریان مالمیری، ۱۳۹۶: ۶۹). در زمینه تبیین خشک‌سالی و شدت آن شاخص‌هایی مختلفی تعریف‌شده است؛ که می‌توان به شاخص خشک‌سالی پالمر (PDSI[1])، شاخص اکتشاف خشک‌سالی (RDI[2]) و شاخص بارندگی استاندارد (SPI[3]) اشاره نمود.

در سال‌های اخیر استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور انعکاسی و حرارتی در پایش تغییرات پوشش گیاهی و خشک‌سالی گسترش روزافزونی داشته است. سنجش‌ازدور به دلیل مزایایی از قبیل قابلیت پوشش وسیع منطقه موردمطالعه، امکان برداشت داده با توالی منظم و مکرر، فرمت رقومی مناسب برای پردازش کامپیوتری و ارزان‌تر بودن نسبت به روش‌های برداشت زمینی در طی سال‌های اخیر، همواره به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع جمع‌آوری داده‌های مکانی مطرح بوده است (Lu et al. 2004؛ زارع خورمیزی و غفاریان مالمیری، ۱۳۹۶). بااین‌حال دقت و صحت داده‌های سنجش از راه دور (به‌عنوان‌مثال سری زمانی NDVI) به دلیل عواملی از قبیل وجود گردوغبارهای جوی، ذرات معلق در هوا و گازها به‌ویژه حضور ابرها می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی دستخوش تغییر شود (زارع خورمیزی و همکاران، ۱۳۹۶). از طرفی شاخص‌های خشک‌سالی مبتنی بر داده‌های هواشناسی (مانند SPI) تنها برای یک محل معتبرند و به علت کمبود آمار اقلیمی (ایستگاه‌های هواشناسی) در اغلب مناطق، این‌گونه شاخص‌ها جهت ارزیابی خشک‌سالی چندان مناسب نمی‌باشند (پرویز و همکاران، ۱۳۹۰)؛ بنابراین در این زمینه پژوهش‌های بسیاری به بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی سنجش‌ازدور و شاخص‌های خشک‌سالی پرداخته‌اند.

دستورانی و همکاران (۱۳۹۴) با بررسی اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده MODIS در خراسان رضوی نشان دادند که ارتباط معنی‌داری بین شاخص خشک‌سالی SPI و شاخص NDVI وجود دارد. بر اساس نتایج، با توجه به معادله رگرسیون خطی بین دو متغیر به ازای یک واحد تغییر در شاخص بارش

1 Palmer Drought Severity Index
2 Reclamation Drought Index
3 Standardized Precipitation Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

استانداردشده، NDVI به میزان ۰/۰۲۴ تغییر می‌کند. میرموسوی و کریمی (۱۳۹۲) در بررسی اثرات خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS نشان دادند که بین میانگین شاخص‌های NDVI و SPI همبستگی بالایی در سطح معنی‌دار یک درصد وجود دارد و با کاهش تقریباً ۰/۲- از میزان شاخص SPI، به‌طور متوسط ۱/۲ درصد سطح پوشش گیاهی ضعیف افزایش می‌یابد. در پژوهشی دوتا[1] و همکاران (۲۰۱۵) با بررسی خشک‌سالی کشاورزی در راجستان هند با استفاده شاخص VCI[2] تصاویر NOAA-AVHRR و SPI نشان دادند که شاخص VCI با شاخص SPI همبستگی قابل قبولی دارد به‌طوری‌که استفاده از این شاخص سنجش از راه دور برای ارزیابی خشک‌سالی کشاورزی مناسب می‌باشد. در پژوهشی دیگر موکرجی[3] و همکاران (۲۰۱۴) با پایش خشک‌سالی چتیسگر[4] هند با استفاده از شاخص‌های مختلف سنجش راه دور در طول سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۲ نشان دادند، شرایط خشک‌سالی شدید در چتیسگر در سال ۲۰۰۹، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ به‌طور عمده وجود دارد. در این مطالعه از شاخص VHI[5] و GVI[6] تصاویر NOAA-AVHRR و شاخص NDVI تصاویر سنجنده MODIS استفاده شد. نتایج نشان داد بین SPI و VHI همبستگی بالا وجود دارد به‌طوری‌که این شاخص مناسب پایش خشک‌سالی می‌باشد.

نقشه درصد پوشش گیاهی مراتع یکی مهم‌ترین نقشه‌های پایه‌ای برای بسیاری از مطالعات نظیر آبخیزداری، هیدرولوژی، آمایش سرزمین، محیط‌زیست و ... می‌باشد. وسعت زیاد مراتع و عدم امکان دسترسی به کلیه اراضی مرتعی ازیک‌طرف و هزینه زیاد و زمان‌بر بودن تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی و ارزیابی پوشش با استفاده از پیمایش‌های میدانی یکی از مشکلاتی است که مرتع‌داران، کارشناسان و مسئولین امر همواره با آن روبه‌رو بوده‌اند. از طرفی تغییرات زمانی و مکانی مراتع چالش‌هایی را برای نقشه‌برداری دقیق شرایط پوشش گیاهی ایجاد می‌کند (هاگن[7] و همکاران، ۲۰۱۲: ۴۵۶). به‌عنوان‌مثال پویایی پوشش گیاهی و تأثیرپذیری از بارندگی و دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی یکی دیگر از مشکلات تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی می‌باشد که منجر به افزایش هزینه به‌روز کردن نقشه‌ها می‌شود. به‌طوری‌که نقشه‌های منطقه‌ای و به‌روز شده پوشش گیاهی مراتع در حال حاضر در دسترس نیست. برای رفع این محدودیت‌ها در سال‌های اخیر از ارتباط شاخص-های گیاهی سنجش‌ازدور با نسبت پوشش گیاهی زنده، پوشش گیاهی غیرزنده و اجزای فیزیکی (سنگ، سنگریزه و خاک) که سه جزء مهم تعیین‌کننده بازتابش پوشش گیاهی هستند استفاده‌شده است.

جباری و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات درصد پوشش گیاهی مراتع را با استفاده از تصاویر سنجنده‌های WiFS و AWiFS در منطقه سمیرم اصفهان در دو سال خشک و تر موردبررسی قراردادند. در این پژوهش با تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی نشان دادند که طبقه ۳۰-۴۰ و ۲۰-۳۰ درصد پوشش گیاهی بیشترین تغییرات را به خود اختصاص می‌دهد. مهدیاری و همکاران (۱۳۹۳) با تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از

1 Dutta
2 Vegetation Condition Index
3 Mukherjee
4 Chhattisgarh
5 Vegetation Health Index
6 Global Vegetation Index
7 Hagen

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

تکنیک‌های سنجش‌ازدور در شهرستان بهبهان نشان دادند بیشترین افزایش مساحت در اراضی با پوشش گیاهی عالی صورت گرفته، به‌طوری‌که از ۵۰۶۹ هکتار در سال ۱۳۷۸ به ۷۷۳۵ هکتار در سال ۱۳۹۲ افزایش‌یافته است. در پژوهشی دیگر راهداری و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک نشان دادند بیشتر قسمت‌های منطقه توسط پوشش کمتر از ۲۰ درصد پوشیده شده است و همچنین ضریب همبستگی شاخص‌های پوشش گیاهی SAVI[1]، NDVI[2]، TSAVI[3] و RVI[4] با درصد پوشش گیاهی ۰/۷۸، ۰/۷۸، ۰/۷۷ و ۰/۷۶ به‌دست آمد. هاگن و همکاران (۲۰۱۲) نقشه درصد پوشش گیاهی در سراسر مراتع غرب آمریکا را تهیه نمودند. در این مطالعه با مقایسه تصاویر لندست با قدرت تفکیک ۳۰ متر با تصاویر MODIS با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر نشان دادند، استفاده از تصاویر MODIS منجر به از دست رفتن جزئیات اطلاعات مکانی می‌شود بااین‌حال مشاهدات ارزان، مکرر و پیگیری روند تغییرات پوشش گیاهی در سطح وسیع را از محاسن استفاده از تصاویر سنجنده MODIS می‌دانند. همچنین در این پژوهش نشان داده شد شاخص SATVI[5]، ۵۵ درصد از تغییرات پوشش گیاهی را در سایت‌های مختلف در نیومکزیکو، آریزونا، وایومینگ و نوادا نشان می‌دهد. ژانگ[6] و همکاران (۲۰۱۲) در پژوهشی قابلیت تخمین میزان پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک را با استفاده از داده-های ماهواره ابر طیفی HJ-1 موردبررسی قراردادند. بر اساس نتایج میزان پوشش گیاهی تخمین‌زده‌شده با داده‌های HJ-1 با اندازه‌گیری‌های زمینی همبستگی بالایی داشت (R^2=۰/۸۶). در پژوهشی دیگر ویزمر[7] و همکاران (۲۰۱۶) به برآورد پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای WorldView-2 برای ارزیابی میزان تخریب علفزارهای قفقاز گرجستان پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد سنجش‌ازدور پتانسیل بالایی برای ارزیابی علفزارهای منطقه موردبررسی داشت، به‌طوری‌که میزان همبستگی بین مقادیر مشاهده‌شده و شاخص‌های NDVI و $MSAVI_2$[8]، ۰/۷۹ به‌دست آمد.

نتایج مطالعات گذشته نشان می‌دهد سنجش‌ازدور قابلیت بسیار بالایی در تهیه نقشه‌های درصد پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی دارد. بااین‌حال روابط بین درصد پوشش گیاهی و شاخص‌های پوشش گیاهی و همچنین روابط بین شاخص‌های خشک‌سالی و شاخص‌های گیاهی سنجش‌ازدور برای مناطق مختلف متفاوت می‌باشد که نیازمند بررسی و مطالعه در این زمینه می‌باشد.

به‌طورکلی هدف از پژوهش حاضر تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی بخشی از مراتع جنوب استان یزد و پایش تغییرات آن طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ با استفاده از روابط بین شاخص NDVI و شاخص خشک‌سالی SPI می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در شناخت روابط بین وقوع خشک‌سالی و تغییرات درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه مؤثر باشد.

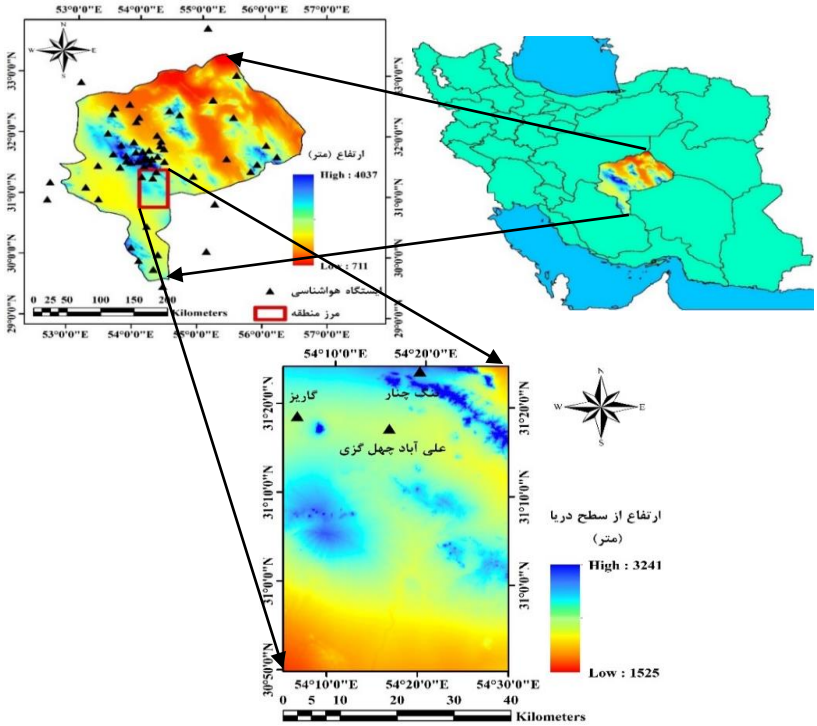
1 Soil Adjusted Vegetation Index
2 Normalized Difference Vegetation Index
3 Transformed Soil Adjuste Vegetation Index
4 Ratio Vegetation Index
5 Soil-adjusted total vegetation index
6 Zhang
7 Wiesmair
8 Second Modified Soil Adjusted Vegetation Index

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

روش تحقیق

معرفی محدوده موردمطالعه

منطقه مطالعاتی در پژوهش حاضر در استان یزد، بین عرض‌های جغرافیایی ″۳۵′۴۸°۳۰ و ″۲۸′۲۵°۳۱ و طول جغرافیایی ″۱۹′۰۳°۵۴ و ″۰۴′۳۰°۵۴ از نصف‌النهار مبدأ قرارگرفته است. وسعت منطقه موردمطالعه ۲۸۹۱/۸ کیلومترمربع می‌باشد. ۷۶/۹ کیلومترمربع آن شامل اراضی زراعی و باغات می‌باشد که با توجه به این‌که هدف بررسی تغییرات پوشش گیاهی در مراتع بود؛ در محاسبات در نظر گرفته نشد. شکل (۱) موقعیت منطقه موردمطالعه را به همراه لایه ارتفاع از سطح دریا و همچنین موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی در استان یزد را نشان می‌دهد که به‌منظور محاسبه شاخص خشک‌سالی SPI مورداستفاده قرار گرفت. حداقل و حداکثر ارتفاع از سطح دریا در منطقه موردمطالعه به ترتیب ۱۵۲۵ و ۳۲۴۰ متر می‌باشد. بر اساس پژوهش‌های صورت گرفته، اقلیم منطقه موردمطالعه نسبتاً خشک و سرد است (شیرانی و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۵۵)، به‌طوری‌که متوسط بارش و دمای سالانه به ترتیب ۱۳۰ میلی‌متر و ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. پوشش گیاهی در این ناحیه با توجه به تغییرات توپوگرافی متغیر می‌باشد، به‌طوری‌که این ناحیه اراضی با پوشش گیاهان مرتعی از پنج درصد تا تراکم تاج پوشش ۳۰ درصد را شامل می‌شود. فرم رویشی غالب در این ناحیه بوته‌ای و درختچه‌ای می‌باشد شکل (۱).



شکل (۱). موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه در ایران به همراه لایه ارتفاع از سطح دریا و موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

داده و روش کار

تصاویر NDVI سنجنده MODIS

یکی از شاخص‌هایی که در زمینه پایش تغییرات پوشش گیاهی کاربردهای فراوانی دارد، شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) می‌باشد. این شاخص با توجه به رابطه (۱) محاسبه می‌شود (روز[1] و همکاران، ۱۹۷۳).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$ رابطه (۱)

که در آن NIR و RED به ترتیب بازتاب طیفی باند مادون‌قرمز نزدیک و باند قرمز هستند. این باندها در سنجنده MODIS به ترتیب شامل باند ۲ در محدوده ۸۴۱ تا ۸۷۶ نانومتر و باند ۱ در محدوده ۶۲۰ تا ۶۷۰ نانومتر می‌باشند. دامنه تغییرات این شاخص از ۱- تا ۱+ است. در این مطالعه از تصاویر NDVI ۱۶ روزه سنجنده MODIS بین سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ (۲۰۰۰- ۲۰۱۷) تحت نام MOD13Q1 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده شد. در مطالعات سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای همواره پوشش ابر می‌تواند یک مانع اساسی در پایش تغییرات باشد. در مطالعه حاضر برای رفع این محدودیت از مجموعه تصاویر NDVI از الگوریتم HANTS[2] استفاده شد و اثرات داده‌های ابری، داده‌های دورافتاده (پرت) و نویز از این مجموعه تصاویر حذف شد. درنهایت پس از بازسازی مجموعه تصاویر از تصاویر روز ژولیوسی ۱۴۵ از هرسال (تقریباً سوم خردادماه) در این مجموعه تصاویر که مقارن با زمان نمونه‌برداری بود به‌منظور بررسی تغییرات درصد پوشش گیاهی استفاده شد. در ادامه به معرفی و توضیح الگوریتم HANTS پرداخته می‌شود.

الگوریتم HANTS

الگوریتم HANTS بر اساس مفهوم تبدیل فوریه گسسته است که برای مدل‌سازی سری‌های زمانی داده‌های ماهواره‌ای به کار می‌رود (ورهوف، ۱۹۹۶). در ابتدا این الگوریتم توضیح داده می‌شود و سپس پارامترهای مورد نیاز به‌منظور به‌دست آوردن یک مدل قابل‌اعتماد توسط الگوریتم شرح داده می‌شود (زارع خورمیزی و همکاران، ۱۳۹۶، غفاریان و زارع خورمیزی، ۱۳۹۶).

اگر y_i یک سری زمانی با N مشاهده باشد، (i از ۱ تا N) این سری زمانی را می‌توان با یک سری فوریه توصیف کرد رابطه (۲).

$$y_i = a_0 + \sum_{j=1}^{M} a_j cos(w_j t_i - \varphi_j)$$ رابطه (۲)

که در آن w_j فرکانس j ام دوره هارمونیک در سری فوریه و t_i زمانی است که نمونه i ام گرفته‌شده است. M تعداد فرکانس سری فوریه (M <= N)، a_j و φ_j دامنه و فاز j ام دوره هارمونیک هستند. ازآنجاکه فرکانس

[1] Rouse

[2] Harmonic ANalysis of Time Series

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]

[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

صفر فاز ندارد، دامنه مربوط به فرکانس صفر (a_0)، با میانگین همه N مشاهده از متغیر y برابر است. فرکانس-های هارمونیک (w_j) از حاصل‌ضرب یک فرکانس پایه (به‌عنوان‌مثال $w_1 = 2\pi / N$) در اعداد صحیح i (i = 1, 2, …, N) به‌دست می‌آیند رابطه (۳).

$$w_j = (\frac{2\pi}{N}) \times i \quad , \qquad i = 1, 2, 3, ..., N$$ رابطه (۳)

در الگوریتم HANTS پس از انتخاب تعداد فرکانس (M) و فرکانس (w_j)، پارامترهای ناشناخته از سری فوریه دامنه (a_j) و ارزش فازها (φ_j) هستند که توسط برازش سری زمانی از مشاهدات توسط روش کمترین مربعات[1] تعیین می‌شود. به‌منظور ایجاد یک مدل قابل‌اعتماد از یک سری زمانی با الگوریتم HANTS پارامترهایی وجود دارد که باید توسط کاربر تعریف شود:

۱- محدوده داده‌های معتبر[2]: محدوده قابل‌قبول از مقادیر مشاهده‌شده است. مشاهدات خارج از این محدوده در مرحله اول با اختصاص وزن صفر به آن‌ها حذف می‌شوند.

۲- دوره[3]: تعداد نمونه‌های زمانی در هر مؤلفه دوره‌ای در سری فوریه می‌باشد.

۳- تعداد فرکانس (NOF)[4]: NOF میزان جزئیاتی که می‌تواند در سیگنال بازسازی استفاده شود تعیین می-کند. تعداد فرکانس پایین، یک سیگنال با جزییات کمتر از یک تعداد فرکانس بالا ایجاد می‌کند.

۴- جهت نقاط دورافتاده[5]: جهت نقاط دورافتاده (پرت) با اشاره به مدل فعلی منحنی را نشان می‌دهد. به‌عنوان‌مثال پوشش ابر منجر به کاهش مقادیر NDVI می‌شود بنابراین جهت نقاط دورافتاده در الگوریتم را به‌صورت کاهشی (Low) انتخاب می‌کنیم.

۵- آستانه میزان خطای قابل‌قبول (FET)[6]: انحراف مطلق از رقم کنونی منحنی در جهت انتخاب‌شده را که هنوز هم قابل‌قبول است، مشخص می‌کند. پس از هر تکرار، مشاهداتی که انحراف آن‌ها بزرگ‌تر از FET می-باشد به‌عنوان نقاط دورافتاده تنظیم‌شده و از محاسبات با اختصاص وزن صفر به آن‌ها حذف می‌شوند.

۶- درجه فرا معین بودن (DOD)[7]: حداقل تعداد نقاط داده‌های اضافی که باید در برازش منحنی استفاده شود را نشان می‌دهد. تعداد مشاهدات معتبر باید همیشه بیشتر از تعداد پارامترهای موردنیاز برای توصیف سیگنال باشد (2×NOF-1). جدول (۱) مقادیر هرکدام از پارامترهای نام‌برده را به‌منظور بازسازی تصاویر NDVI را نشان می‌دهد.

1 Least square method
2 Valid data range
3 Period
4 Number of Frequency
5 Direction of outliers
6 Fit Error Tolerance
7 Degree of OverDeterminedness

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

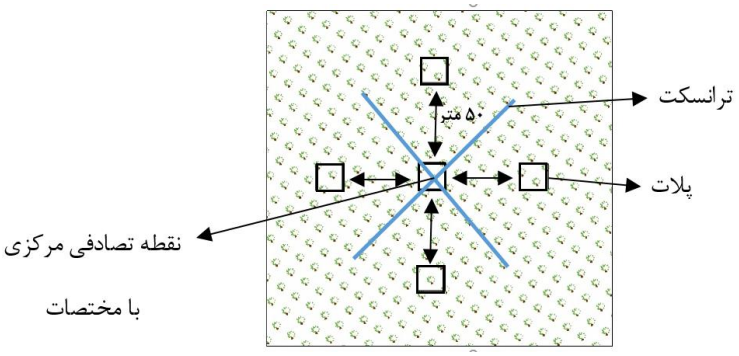
جدول (۱). پارامترهای مورداستفاده به‌منظور بازسازی تصاویر سری زمانی NDVI توسط الگوریتم HANTS

پارامتر	میزان
محدوده داده معتبر	۰-۱
دوره پایه	۲۳ تصویر NDVI
تعداد فرکانس (NOF)	۳
آستانه میزان خطای قابل‌قبول (FET)	۰/۰۲
جهت نقاط دورافتاده	LOW
DOD	۵

روش نمونه‌گیری زمینی

به‌منظور بررسی ارتباط بین درصد پوشش گیاهی و شاخص NDVI، از هفته آخر اردیبهشت تا هفته اول خرداد سال ۱۳۹۴، از پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه نمونه‌برداری شد. به‌منظور نمونه‌برداری از روش‌های نمونه‌برداری تصادفی، انتخابی و تصادفی- سیستماتیک استفاده شد. بدین منظور، ابتدا ۶۲ نقطه یا سایت به‌صورت تصادفی در تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی به‌منظور نمونه‌گیری در منطقه مشخص شد. با توجه به قدرت تفکیک مکانی تصاویر مورداستفاده (پیکسل سایز ۲۵۰ ×۲۵۰ متر) سعی شد تا در نقاط اندازه‌گیری، پوشش همگن و یکنواخت باشند و به‌اندازه کافی از عوارضی نظیر جاده، مسیل و اراضی زراعی و سایر پدیده‌ها دور باشند. سپس در این نواحی یک ماکروپلات همگن ۵۰۰×۵۰۰ متر فرضی انتخاب شد. سپس در هر ماکروپلات یک نقطه تصادفی در نظر گرفته شد. مختصات این نقطه با GPS تعیین شد و سپس در این نقطه با پلات اقدام به نمونه‌برداری شد (پلات مرکزی). سپس در چهار جهت این نقطه یا همان پلات مرکزی، چهار پلات دیگر با فاصله ۵۰ متر از نقطه مرکزی در نظر گرفته شد؛ به‌عبارت‌دیگر در هر یک از ۶۲ ناحیه، در ۵ پلات درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شد. در مجموع ۳۱۰ پلات در منطقه موردمطالعه موردبررسی قرار گرفت. اندازه پلات‌ها با توجه به‌اندازه گیاهان، تنوع جامعه گیاهی و الگوی پراکنش آن به‌صورت ۲×۲، ۳×۳ و ۴×۴ متر انتخاب شد، به‌طوری‌که پلات‌ها با اندازه کوچک برای پوشش گیاهان بوته‌ای و پلات‌ها با اندازه بزرگ برای پوشش درختچه‌ای انتخاب شد. درصد پوشش گیاهی در هرکدام از پلات‌ها با توجه به سطح تاج پوشش گیاهان نسبت به سطح کل پلات به‌دست آمد (ارزانی و عابدی، ۱۳۹۴: ۱۰۶). همچنین در هر نقطه تصادفی دو ترانسکت با اندازه‌های ۱۰۰ یا ۲۰۰ متر به‌صورت عمود بر هم در نقطه تصادفی انتخاب شد. به‌طوری‌که ترانسکت با اندازه ۱۰۰ متر برای تیپ‌های پوشش گیاهی با اندازه کوچک (بوته‌ای‌ها) و ترانسکت ۲۰۰ متری برای گیاهان با اندازه بزرگ (پوشش‌های درختچه‌ای) استفاده شد. درصد پوشش گیاهی در هر ترانسکت برحسب مجموع سطح برخورد گیاهان به ترانسکت بر طول کل ترانسکت به‌دست آمد (ارزانی و عابدی، ۱۳۹۴: ۱۰۱). در مجموع در هر یک از ۶۲ نقطه تصادفی میانگین درصد پوشش گیاهی با توجه به داده‌های اندازه گیری ۵ پلات و ۲ ترانسکت به‌دست آمد. شکل (۲) به‌صورت نمایشی روش اندازه‌گیری درصد پوشش گیاهی در هر یک از ۶۲ نقطه تصادفی را نشان می‌دهد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]



شکل (۲). روش نمونه‌گیری در نقاط تصادفی

شاخص بارندگی استاندارد SPI

شاخص SPI، به‌منظور کمی کردن کمبود بارش یا میزان خشک‌سالی در بازه‌های زمانی چندگانه توسط مک-کی و همکاران در سال ۱۹۹۳ طراحی شده است (مک کی[1] و همکاران، ۱۹۹۳). برای محاسبه این شاخص ابتدا یک توزیع آماری مناسب بر داده‌های بلندمدت بارندگی برازش داده می‌شود؛ سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از روابط احتمالاتی به متغیر تصادفی توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک تبدیل می‌گردد (موذن زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۲). این شاخص بر اساس رابطه (۴) محاسبه شد.

$$SPI = \frac{P_i - \overline{P}}{SD}$$ رابطه (۴)

در این رابطه؛ SPI شاخص استاندارد بارش، P_i معادل بارش سال مفروض به میلی‌متر $\overline{p}$ میانگین بارش درازمدت ایستگاه و SD انحراف معیار بارش است. مقادیر مثبت و منفی SPI به ترتیب نشان‌دهنده بارندگی بیشتر و کمتر از میزان بارش متوسط هستند. با محاسبه شاخص SPI در هر بازه زمانی وضعیت رطوبتی به کلاس‌های مختلف تقسیم می‌شود. این کلاس‌ها در جدول (۲) ارائه‌شده است (شکوهی، ۱۳۹۱: ۱۱۴).

جدول (۲). طبقه‌بندی خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI

مقدار SPI	طبقه خشک‌سالی
۲≤SPI	ترسالی بسیار شدید
۱/۵ ≤ SPI ≤ ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱/۴۹ ≤ SPI ≤۱	ترسالی متوسط
۰/۹۹ ≤ SPI ≤ ۰/۰۰	ترسالی خفیف (نرمال)
۰/۰۰ ≤ SPI ≤ -۰/۹۹	خشک‌سالی خفیف (نرمال)
-۱/۰۰ ≤ SPI ≤-۱/۴۹	خشک‌سالی متوسط
-۱/۵ ≤ SPI ≤ -۱/۹۹	خشک‌سالی شدید
SPI≤-۲/۰۰	خشک‌سالی بسیار شدید

[1] McKee

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

به‌منظور محاسبه شاخص خشک‌سالی SPI در بازه زمانی ۱۲ ماهه (سالانه) از نرم‌افزار DrinC[1] استفاده شد (تیگاس[2] و همکاران، ۲۰۱۵). همچنین توزیع گاما برای برازش بر داده‌های بارش به‌کاربرده شد.

روش کار

به‌منظور بررسی تغییرات درصد پوشش گیاهی مراتع در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی ابتدا لازم است شاخص خشک‌سالی SPI محاسبه شود. در پژوهش حاضر به‌منظور محاسبه شاخص خشک‌سالی SPI از آمار ایستگاه-های سینوپتیک سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های سنجش باران وزارت نیرو در استان یزد استفاده شد شکل (۱). پس از حذف ایستگاه‌های با دوره آماری کوتاه و بازسازی داده در ایستگاه‌های با داده‌های ازدست‌رفته، درمجموع تعداد ۵۹ ایستگاه در سطح استان یزد به‌منظور محاسبه شاخص‌های خشک‌سالی SPI و سپس پهنه-بندی خشک‌سالی مورداستفاده قرار گرفت شکل (۱). به‌منظور افزایش دقت، ابتدا وضعیت خشک‌سالی در سال‌های مختلف با توجه به مجموع تعداد ۵۹ ایستگاه هواشناسی در سطح کل استان یزد تعیین و پهنه‌بندی شد و سپس از نتایج در منطقه موردمطالعه استفاده شد. شاخص خشک‌سالی SPI با توجه به سال آبی ایران از ابتدای مهر تا پایان شهریور طی دوره ۲۰ ساله از سال‌های ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۳ محاسبه شد.

پس از بررسی نرمال بودن داده‌های شاخص‌های SPI به‌وسیله آزمون کلموگراف و اسمیرنوف در محیط نرم‌افزار SPSS، این داده‌ها به‌منظور پهنه‌بندی خشک‌سالی استفاده گردید. به‌منظور پهنه‌بندی خشک‌سالی از پنج روش درون‌یابی کریجینگ[3] ساده و معمولی، کوکریجینگ[4] ساده و معمولی با استفاده از متغیر کمکی ارتفاع و معکوس فاصله وزنی[5] (IDW) با توان ۲ در محیط نرم‌افزار GS^{+} V10 و ARC GIS 10.1 استفاده شد (زارع خورمیزی و غفاریان مالمیری، ۱۳۹۶). به‌منظور انتخاب تابع سمی‌واریوگرام بهینه شاخص‌های خشک‌سالی SPI چهار نوع سمی‌واریوگرام کروی، خطی، نمایی و گوسین در محیط نرم‌افزار GS^{+} V10 بررسی شد و سپس بهینه‌ترین تابع بر اساس کمترین میزان انحراف از تابع اصلی در میان چهار نوع مدل انتخاب شد. درنهایت پس از پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های استان یزد، میانگین وضعیت خشک‌سالی در منطقه موردمطالعه به‌دست آمد. جهت به‌دست آوردن اطلاعات کامل‌تر در مورد وضعیت خشک‌سالی منطقه موردمطالعه و استان یزد و همچنین روش کامل محاسبه و پهنه‌بندی خشک‌سالی‌های استان یزد به پژوهش زارع خورمیزی و غفاریان مالمیری (۱۳۹۶) مراجعه شود.

در مرحله بعد، به‌منظور بررسی میزان همبستگی درصد تاج پوشش در هرکدام از نقاط نمونه‌برداری شده با شاخص گیاهی NDVI، تحلیل رگرسیون خطی ساده بین درصد تاج پوشش نقاط نمونه‌برداری شده به‌عنوان متغیر وابسته و مقادیر متناظر نقطه نمونه‌برداری در شاخص گیاهی NDVI به‌عنوان متغیر مستقل انجام و ضریب تبیین (R^2) آن محاسبه و میزان همبستگی مدل درصد تاج پوشش تهیه شد.

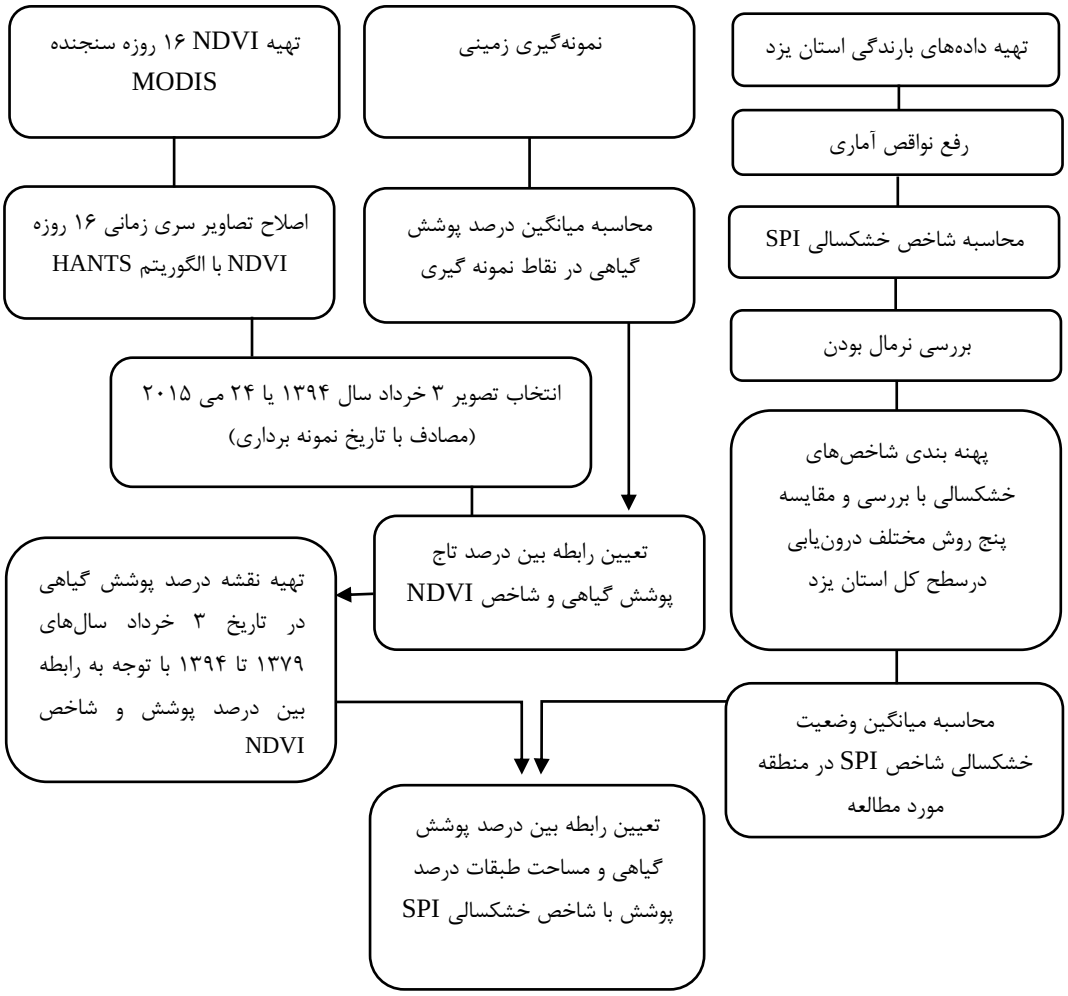
1 Drought Indices Calculator
2 Tigkas
3 Kriging
4 Co-kriging
5 Inverse Distance Weighted

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

با توجه به مدل تهیه‌شده بین درصد تاج پوشش گیاهی و شاخص NDVI، نقشه درصد تاج پوشش گیاهی در تاریخ ۳ خرداد سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ محاسبه شد و سپس پوشش گیاهی منطقه در پنج کلاس (٪۵-۰، ۵-۱۰٪، ۱۰-۱۵٪، ۱۵-۲۰٪ و ۲۰-۳۰٪) طبقه‌بندی شد. در مرحله آخر رابطه بین شاخص خشک‌سالی SPI با میانگین درصد پوشش گیاهی و همچنین رابطه این شاخص با تغییرات مساحت طبقات پوشش گیاهی به‌دست آمد. برای تعیین و تخمین بهترین منحنی و معادله بین SPI با میانگین پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه و مساحت طبقات پوشش گیاهی از نرم‌افزار SPSS استفاده شد. شکل (۳) مراحل کلی انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

با توجه به عدم موجود بودن تصاویر سنجنده MODIS قبل از سال ۱۳۷۹، دوره زمانی موردمطالعه به‌منظور بررسی پایش تغییرات درصد پوشش گیاهی مراتع طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ در نظر گرفته شد. همچنین لازم به ذکر است ازآنجایی‌که داده‌های به‌روز شده از ایستگاه‌های سینوپتیک زیر نظر سازمان هواشناسی و ایستگاه‌های سنجش باران زیر نظر وزارت نیرو در سال‌های بعد از ۱۳۹۳ در تمام ایستگاه‌ها دسترس نبود، خشک‌سالی‌ها و اثر خشک‌سالی بر روی تغییرات مساحت درصد پوشش گیاهی طی سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۳ بررسی شد و از سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ به‌منظور ارزیابی دقت معادلات و روابط بین وقوع خشک‌سالی و مساحت طبقات پوشش گیاهی استفاده شد. به‌طوری‌که وضعیت خشک‌سالی با استفاده از شاخص SPI با استفاده از یک ایستگاه سینوپتیک (ایستگاه گاریز، شکل (۱)) در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در منطقه موردمطالعه تعیین شد. سپس درصد مساحت تخمین زده شده با استفاده از معادلات و درصد مساحت هرکدام از طبقات پوشش گیاهی با استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی موردبررسی قرار گرفت.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]



شکل (۳). روند نمای مراحل انجام پژوهش

نتایج

پایش تغییرات پوشش گیاهی

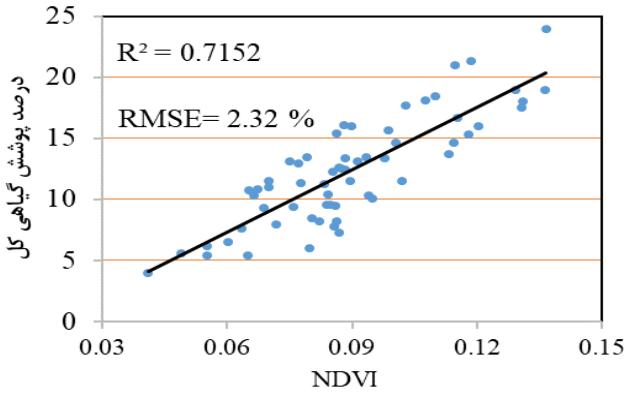
با توجه به شکل (۴)، بین درصد پوشش گیاهی کل و شاخص NDVI رابطه خطی معنی‌دار در سطح یک درصد ($p<۰/۰۱$) وجود دارد. میزان ضریب تبیین ۰/۷ بیانگر ارتباط مثبت بین شاخص NDVI و درصد پوشش گیاهی می‌باشد. همچنین میزان خطای جذر میانگین مربعات[1] (RMSE) در این شکل، ۲/۳۲ درصد پوشش گیاهی می‌باشد. در رابطه (۵)، نحوه ارتباط بین شاخص NDVI و درصد تاج پوشش کل در منطقه موردمطالعه نشان داده شده است؛ که در این رابطه x، میزان شاخص NDVI و y، درصد تاج پوشش گیاهی می‌باشد.

[1] Root Mean Square Error

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

$$y = 170.63x - 2.9221$$ رابطه (۵)

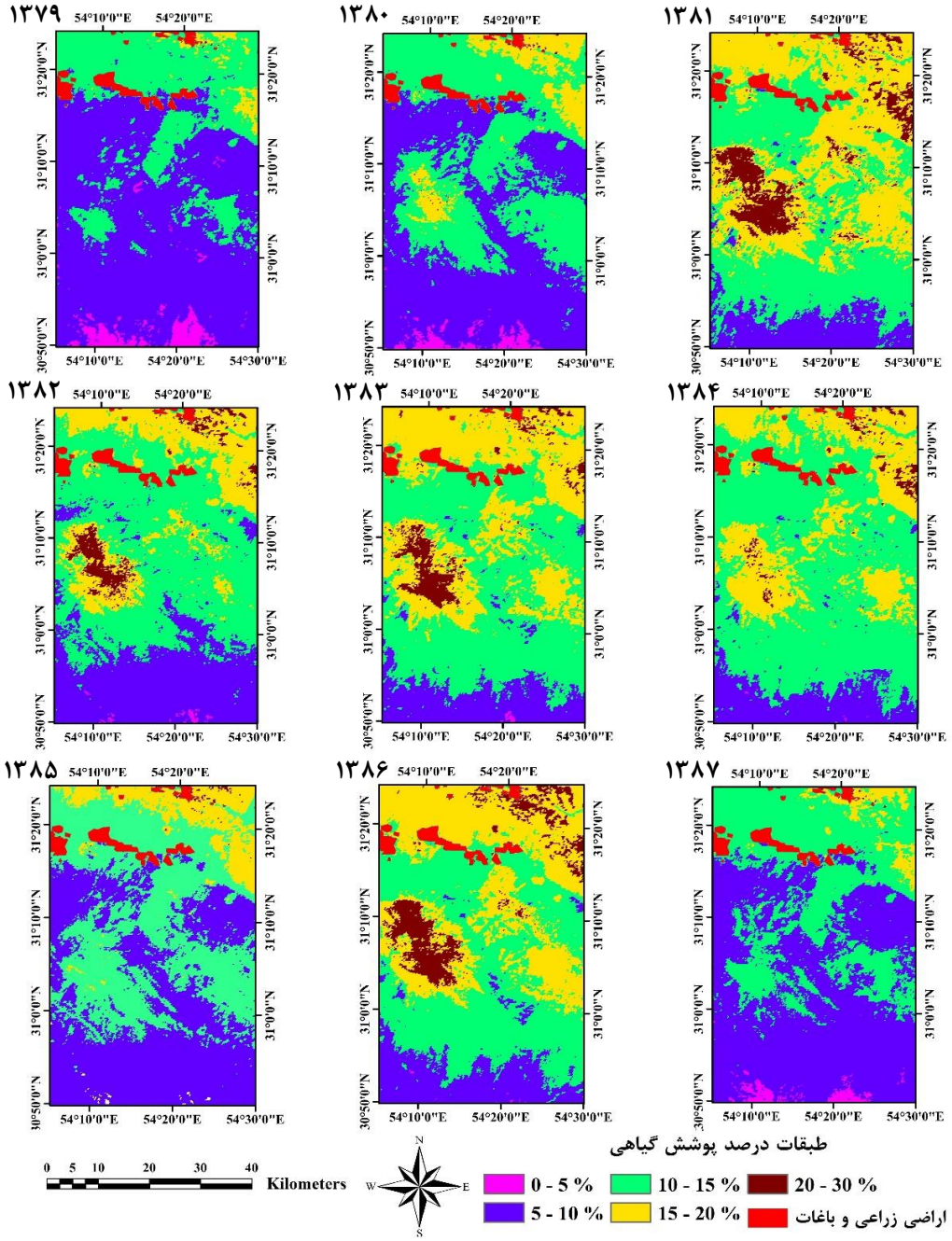
با توجه به رابطه (۵)، نقشه درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه با استفاده از شاخص NDVI، تقریباً در تاریخ ۳ خرداد سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ مصادف با تاریخ نمونه‌برداری تهیه شد.



شکل (۴). رابطه بین NDVI و درصد پوشش گیاهی

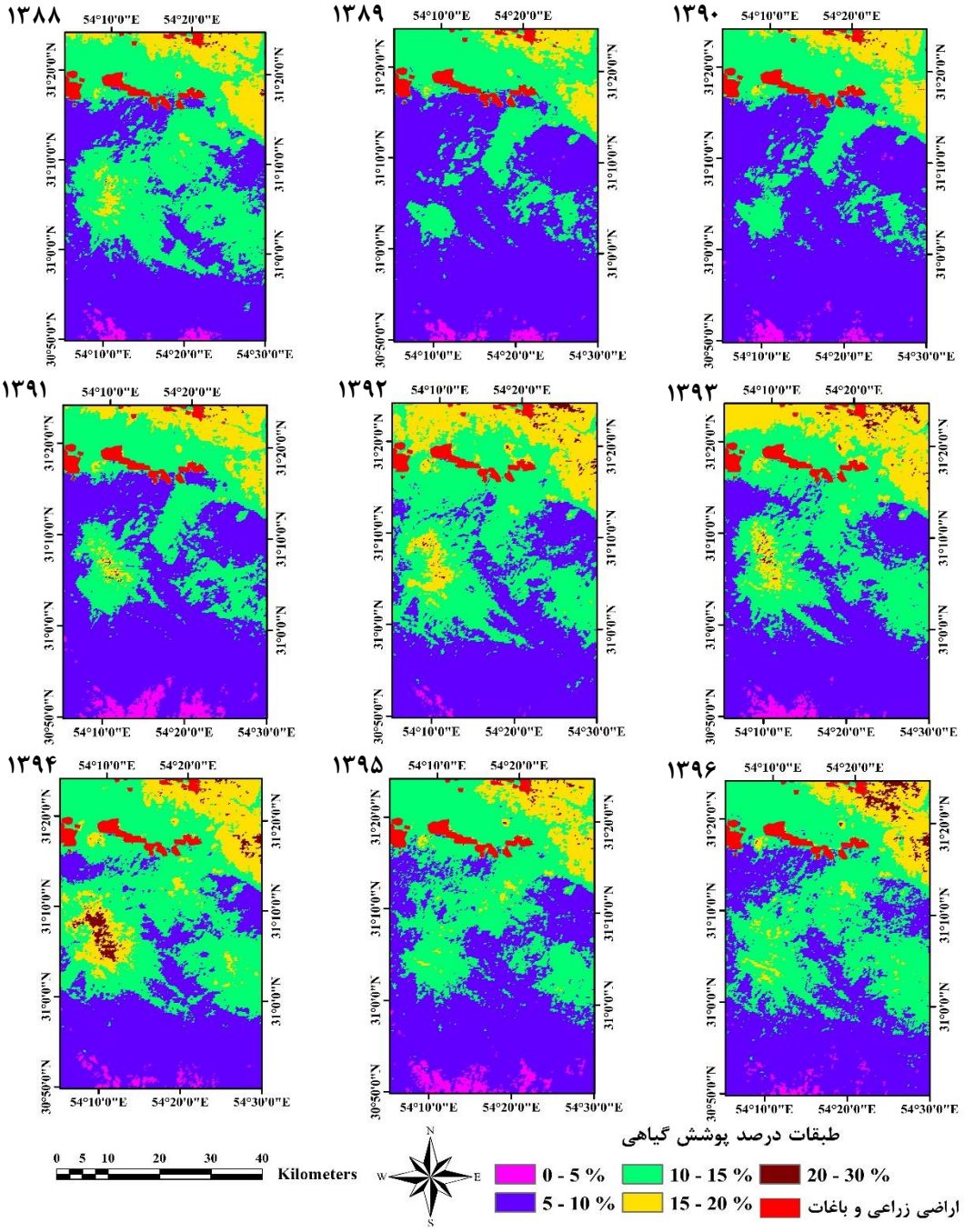
اشکال (۵ و ۶) نقشه درصد پوشش گیاهی با پنج طبقه پوشش در منطقه موردمطالعه در تاریخ ۳ خرداد سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. با توجه به اشکال (۵ و ۶) در سال ۱۳۷۹، ۱۳۸۷، ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ بیشترین مساحت منطقه موردمطالعه دارای پوشش گیاهی زیر ۱۰ درصد می‌باشد درصورتی‌که در سال های ۱۳۸۱، ۱۳۸۳، ۱۳۸۴ و ۱۳۸۶ بیشترین سطح منطقه موردمطالعه دارای پوشش گیاهی بیش از ۱۰ درصد بوده است. با توجه به اشکال (۵ و ۶) و همچنین نقشه ارتفاع از سطح دریا در منطقه موردمطالعه شکل (۱) مشخص می‌شود که مناطق با ارتفاع بالاتر دارای پوشش گیاهی بیشتری می‌باشند و مناطق پست درصد پوشش گیاهی پایین‌تری دارند. علت این امر اثر ماکروکلیمایی کوه در تغییر اقلیم و تغییرات توپوگرافی می‌باشد. به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع، دمای هوا کاهش و میزان بارندگی افزایش می‌یابد. در نتیجه با توجه به اقلیم خشک منطقه، شرایط برای افزایش درصد پوشش گیاهی مهیاتر می‌شود. پیش‌روی و پس‌روی طبقات درصد پوشش گیاهی نیز تابع تغییرات ارتفاع از سطح دریا می‌باشد. بدین معنی که طبقات درصد پوشش گیاهی ضعیف که در مناطق پست‌تر قرار دارند، با افزایش شرایط خشک‌سالی به سمت ارتفاعات بالاتر گسترش می‌یابد و با وقوع ترسالی طبقات پوشش گیاهی قوی‌تر به سمت مناطق پست گسترش می‌یابند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]



شکل (۵). نقشه درصد پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۷

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

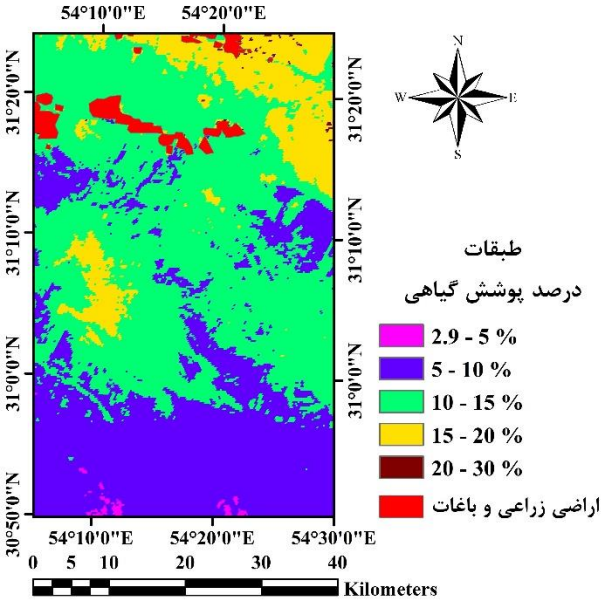


شکل (۶). نقشه درصد پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه طی سال‌های ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۶

شکل (۷)، نقشه میانگین درصد پوشش گیاهی کل را در منطقه موردمطالعه طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۷)، کمترین میزان پوشش گیاهی ۲/۹ درصد و بیشترین میزان آن ۳۰ درصد

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

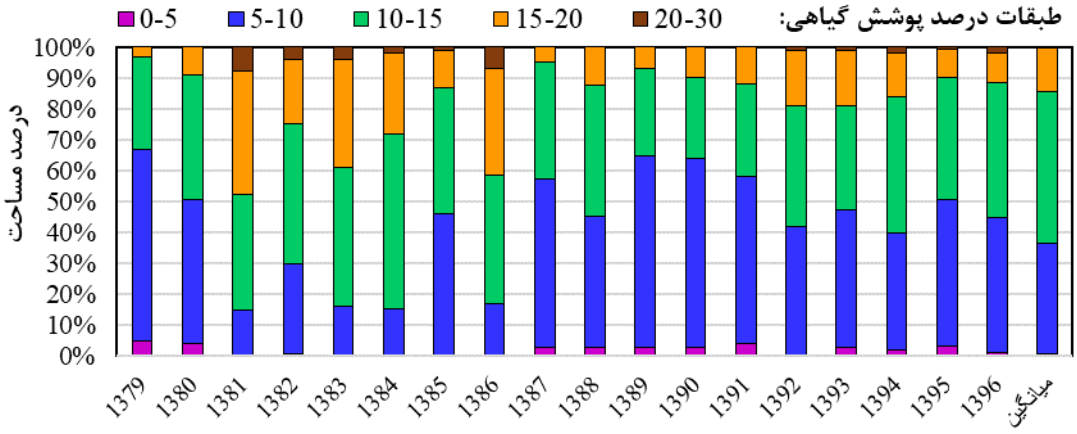
می‌باشد. بااین‌حال باید توجه داشت که پوشش گیاهی بیشتر از ۲۰ درصد و کمتر از ۵ درصد، سطح اندکی از منطقه موردمطالعه را در برگرفته است و منطقه موردمطالعه عموماً دارای پوشش گیاهی ۵ تا ۲۰ درصد و میانگین پوشش گیاهی کل در منطقه موردمطالعه ۱۱/۳ درصد می‌باشد.



شکل (۷). نقشه میانگین درصد پوشش گیاهی طی سال‌های ۱۳۷۹- ۱۳۹۶

شکل (۸)، درصد مساحت هرکدام از طبقات پوشش گیاهی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ به همراه درصد مساحت طبقات نقشه میانگین پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۸) در سال ۱۳۷۹، ۶۲ درصد مساحت منطقه موردمطالعه دارای پوشش ۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد و ۳۰ درصد مساحت آن دارای پوشش گیاهی ۱۰ تا ۱۵ درصد می‌باشد. در سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۰ تقریباً ۶۵ درصد مساحت منطقه دارای پوشش گیاهی ۰ تا ۱۰ درصد می‌باشد. در سال ۱۳۸۱، ۴۸ درصد مساحت منطقه دارای پوشش ۱۵ تا ۳۰ درصد و ۳۸ درصد آن دارای پوشش گیاهی ۱۰ تا ۱۵ درصد می‌باشد. در سال ۱۳۸۶ نیز تقریباً شرایط مشابه سال ۱۳۸۱ وقوع یافته است. در سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۴ نیز تقریباً ۸۰ درصد مساحت منطقه موردمطالعه دارای پوشش گیاهی ۱۰ تا ۲۰ درصد می‌باشد. ۳۵ درصد نقشه میانگین پوشش گیاهی دارای پوشش گیاهی ۵-۱۰ درصد، ۴۹ درصد آن دارای پوشش گیاهی ۱۰-۱۵ درصد و ۱۳/۸ درصد آن دارای پوشش گیاهی ۱۵-۲۰ درصد می‌باشد.

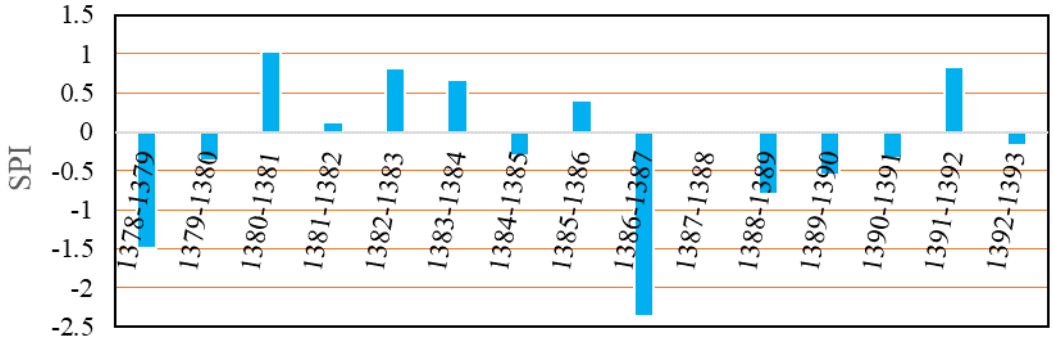
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]



شکل (۸). مساحت طبقات درصد پوشش گیاهی طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ در منطقه موردمطالعه

اثر خشک‌سالی بر روی تغییرات درصد پوشش گیاهی

شکل (۹) روند تغییرات شاخص خشک‌سالی SPI را به‌طور میانگین در منطقه موردمطالعه طی سال‌های آبی (ابتدای مهر تا پایان شهریور) ۱۳۷۸- ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲- ۱۳۹۳ نشان می‌دهد. سال آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ و ۱۳۸۸-۱۳۸۹ منطقه موردمطالعه درگیر وضعیت خشک‌سالی متوسط و در سال ۱۳۸۶-۱۳۸۷ درگیر وضعیت خشک‌سالی بسیار شدید بوده است. سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۸۱، ۱۳۸۲-۱۳۸۳ و ۱۳۹۱-۱۳۹۲ شرایط ترسالی و بارندگی بیش از میانگین در منطقه وقوع یافته است. با توجه به اشکال (۵ و ۶) مشخص می‌شود در سال‌هایی که منطقه درگیر وضعیت خشک‌سالی بوده است کمترین درصد پوشش گیاهی و در سال‌های ترسالی بیشترین درصد پوشش گیاهی به‌دست‌آمده است.



شکل (۹). روند تغییرات شاخص خشک‌سالی SPI طی سال‌های آبی ۱۳۷۸- ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۲- ۱۳۹۳ در منطقه موردمطالعه

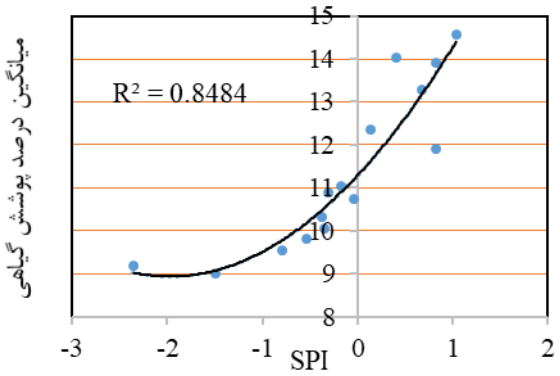
با توجه به شکل (۱۰)، بین شاخص خشک‌سالی SPI و میانگین درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه ارتباط معنی‌دار در سطح یک درصد وجود دارد. به‌منظور تعیین نحوه این ارتباط، از بین روابط خطی، چندجمله‌ای و نمایی در پژوهش حاضر از رابطه چندجمله‌ای با توان ۲ استفاده شد رابطه (۶)؛ زیرا هرچه از

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

شرایط ترسالی به‌طرف خشک‌سالی پیش برویم، شیب‌خطی منحنی کاهش خواهد یافت و همواره در شدیدترین شرایط خشک‌سالی یک حداقل میزان پوشش گیاهی در منطقه حضور خواهد داشت. میزان ضریب تبیین (R^2) ۰/۸۵ بیانگر این است که ۸۵ درصد تغییرات در میانگین درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه تابع شاخص خشک‌سالی SPI می‌باشد. این میزان ضریب تبیین تأییدکننده صحت نقشه‌های تهیه‌شده طی سال-های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ می‌باشد. رابطه (۶) نحوه ارتباط بین شاخص خشک‌سالی SPI و میانگین درصد پوشش گیاهی را نشان می‌دهد.

$$y = 0.6041x^2 + 2.3837x + 11.293$$ رابطه (۶)

در رابطه (۶) x، شاخص خشک‌سالی SPI و y، میانگین درصد پوشش گیاهی می‌باشد. با استفاده از این رابطه می‌توان میانگین درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه را به‌وسیله شاخص خشک‌سالی SPI تخمین زد؛ یا به‌صورت بالعکس با استفاده از میانگین درصد پوشش گیاهی وضعیت خشک‌سالی را تخمین زد.



شکل (۱۰). رابطه شاخص SPI و میانگین درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه

با توجه به شکل (۸) هنگامی مساحت طبقات پوشش ۰ تا ۵ درصد و ۵ تا ۱۰ درصد را با هم در نظر بگیریم و مساحت طبقات پوشش گیاهی ۱۵-۲۰ و ۲۰-۳۰ را با هم جمع نماییم و طبقات پوشش ۰ تا ۱۰ و ۱۵ تا ۳۰ درصد ایجاد می‌شود. با بررسی ارتباط بین درصد مساحت هرکدام از طبقات ۰ تا ۱۰ و ۱۵ تا ۳۰ با تغییرات شاخص خشک‌سالی SPI در منطقه موردمطالعه به روابط بین وقوع خشک‌سالی و تغییرات مساحت از هرکدام از طبقات پوشش گیاهی می‌رسیم. بر اساس نتایج تخمین معادله در SPSS ارتباط بین شاخص SPI و درصد مساحت طبقه پوشش ضعیف (۰ تا ۱۰ درصد) به‌صورت یک رابطه چندجمله‌ای درجه‌دو (R^2=۰/۸۱) می‌باشد (p<۰/۰۱). در رابطه (۷)، نحوه ارتباط بین شاخص خشک‌سالی SPI و درصد مساحت طبقه پوشش گیاهی ۰ تا ۱۰ درصد نشان داده‌شده است؛ که در این رابطه x میزان شاخص خشک‌سالی SPI به‌عنوان متغیر مستقل و y، درصد مساحت طبقه ۰ تا ۱۰ درصد پوشش گیاهی در منطقه می‌باشد.

$$y = -7.489x^2 - 25.19x + 43.805$$ رابطه (۷)

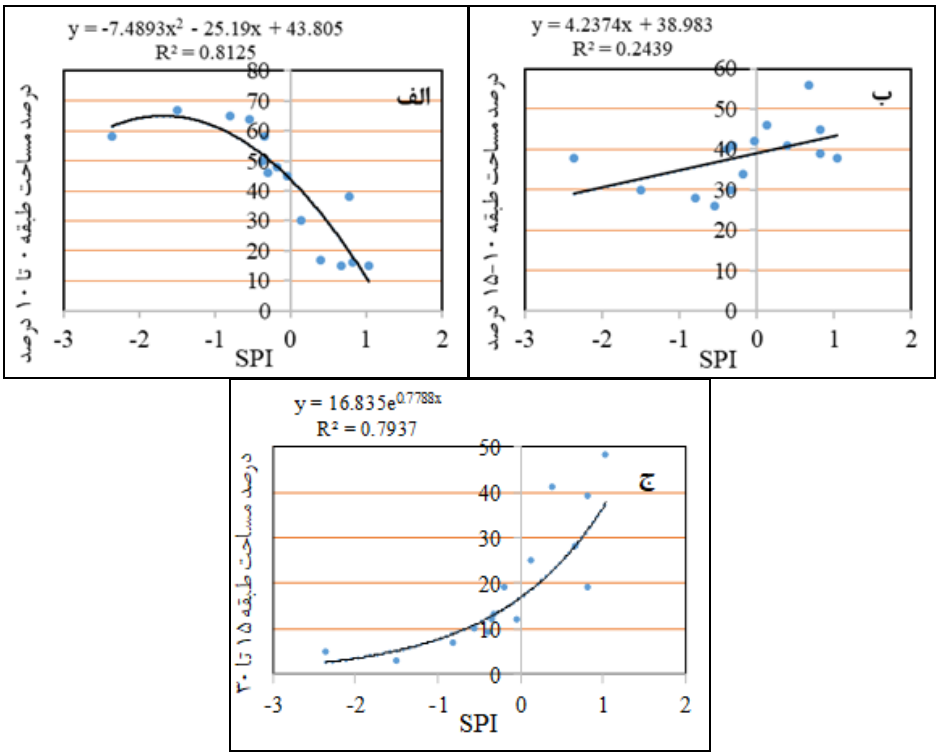
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

با توجه به شکل (۱۱) الف، با افزایش میزان بارندگی و افزایش شاخص SPI ابتدا تقریباً مساحت طبقه ۰ تا ۱۰ درصد ثابت و سپس به‌شدت کاهش می‌یابد. ارتباط معنی‌داری به‌صورت خطی یا غیرخطی بین مساحت طبقه ۱۰-۱۵ درصد و شاخص SPI وجود ندارد (p>۰/۰۵). البته این به معنی عدم ارتباط بین وقوع خشک‌سالی و مساحت این طبقه پوشش گیاهی در سطح چشم اندازه کلی منطقه موردمطالعه است شکل (۱۱ ب). زیرا طبقه پوشش گیاهی ۱۰ تا ۱۵ درصد بین دو طبقه دیگر ۰ تا ۱۰ درصد و ۱۵ تا ۳۰ درصد قرارگرفته است.

بر اساس نتایج، رابطه بین شاخص خشک‌سالی SPI و درصد مساحت طبقه ۱۵ تا ۳۰ درصد به‌صورت نمایی می‌باشد (p<۰/۰۱). نحوه این ارتباط در رابطه (۸) نشان داده شده است. در این رابطه در این رابطه x میزان شاخص خشک‌سالی SPI و y، درصد مساحت طبقه ۱۵ تا ۳۰ درصد پوشش گیاهی در منطقه می‌باشد.

$$y = 16.835e^{0.7788x}$$ رابطه (۸)

رابطه (۸) و همچنین شکل (۱۱) ج نشان می‌دهد با افزایش میزان بارندگی منطقه توانایی بالایی برای بازسازی و افزایش پوشش گیاهی دارد. با استفاده از روابط (۵ و ۶) می‌توان با قرار دادن میزان شاخص SPI در هر سال مساحت طبقات پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه را تخمین زد.



شکل(۱۱). رابطه بین شاخص خشک‌سالی SPI و مساحت طبقات پوشش گیاهی ۰ تا ۱۰ درصد (الف)، ۱۰ تا ۱۵ درصد (ب) و ۱۵ تا ۳۰ درصد (ج)

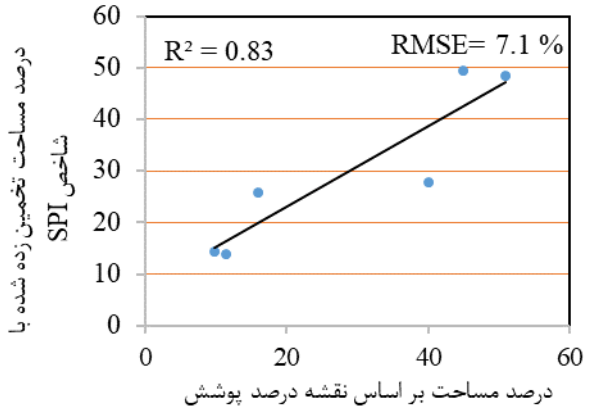
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

ارزیابی روابط بین وقوع خشک‌سالی و درصد مساحت طبقات پوشش گیاهی

به‌منظور ارزیابی دقت روابط بین وقوع خشک‌سالی روابط (۵ و ۶) و درصد مساحت طبقه پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه وضعیت شاخص خشک‌سالی SPI در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ در ایستگاه سینوپتیک گاریز محاسبه شد. با قرار دادن میزان شاخص خشک‌سالی SPI در روابط (۷ و ۸) درصد مساحت طبقات پوشش گیاهی ۰ تا ۱۰ درصد و ۱۵ تا ۳۰ درصد محاسبه شد جدول (۳). بر اساس نتایج، میزان ضریب تبیین (R^2) بین درصد مساحت تخمین زده شده طبقات پوشش گیاهی به‌وسیله روابط (۷ و ۸) با درصد مساحت طبقات پوشش گیاهی تعیین‌شده به‌وسیله نقشه درصد پوشش گیاهی در سال‌های ۱۳۹۴، ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶، ۰/۸۵ به‌دست آمد شکل (۱۱). میزان RMSE نیز بین درصد مساحت پیش‌بینی‌شده با شاخص SPI و تعیین‌شده با نقشه درصد پوشش گیاهی ۷/۱ درصد از مساحت کل منطقه به‌دست آمد. با توجه به محاسبه شرایط خشک‌سالی تنها با استفاده از یک ایستگاه هواشناسی، همچنین میزان ضریب تبیین و RMSE، معادلات تعیین‌شده دارای دقت بسیار مناسبی می‌باشند.

جدول (۳). میزان شاخص SPI ایستگاه سینوپتیک گاریز و درصد مساحت طبقات پوشش گیاهی تخمین زده شده با معادلات

درصد مساحت طبقه ۱۵ تا ۳۰ درصد	درصد مساحت طبقه ۰ تا ۱۰ درصد	وضعیت خشک‌سالی ایستگاه گاریز	شاخص SPI ایستگاه گاریز	سال آماری
۲۵/۸	۲۷/۷	ترسالی خفیف	۰/۵۵	۱۳۹۴
۱۴/۴	۴۸/۵	خشک‌سالی خفیف	-۰/۲۰	۱۳۹۵
۱۴/۰	۴۹/۴	خشک‌سالی خفیف	-۰/۲۴	۱۳۹۶



شکل (۱۲). ارتباط بین درصد مساحت تعیین‌شده بر اساس نقشه درصد پوشش گیاهی و تخمین زده شده با شاخص SPI

بحث و نتیجه‌گیری

استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور ابزار سودمندی در تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مراتع و پایش تغییرات آن در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی می‌باشد. در پژوهش حاضر به‌منظور تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مراتع و پایش تغییرات آن در دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی از شاخص NDVI سنجنده MODIS و شاخص

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

خشک‌سالی SPI استفاده شد. ارتباط بین نمونه‌برداری‌های میدانی از تاج پوشش گیاهی با شاخص NDVI بیانگر قابلیت بسیار مناسب این شاخص در تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مراتع و پایش تغییرات آن در منطقه موردمطالعه است. نتایج سایر پژوهش‌ها که در مقدمه نیز به آن‌ها اشاره شد، مؤید این نتیجه است که سنجش‌ازدور و شاخص‌های پوشش گیاهی قابلیت بسیار بالایی در تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن دارند (ویزمر و همکاران، ۲۰۱۶؛ هاگن و همکاران، ۲۰۱۲، جباری و همکاران، ۱۳۹۳؛ مهدیاری و همکاران، ۱۳۹۳). هرچند قدرت تفکیک مکانی NDVI سنجنده MODIS نسبت به سایر سنجنده‌ها نظیر ETM^+، TM و OLI لندست پایین‌تر است؛ اما می‌توان مشاهدات ارزان، مکرر و در سطح وسیع (نظیر پژوهش حاضر) را از محاسن این سنجنده دانست (هاگن و همکاران، ۲۰۱۲). بر اساس نتایج تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی، به‌طور میانگین طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶، منطقه موردمطالعه دارای ۱۱/۳ پوشش گیاهی می‌باشد. همچنین بیشترین مساحت منطقه داری پوشش گیاهی ۵ تا ۲۰ درصد می‌باشد و درصد پوشش گیاهی کمتر از ۵ درصد و بیشتر از ۲۰ درصد سطح اندکی از منطقه موردمطالعه را به خود اختصاص داده است. بیشترین درصد پوشش گیاهی در سطح منطقه موردمطالعه در سال ۱۳۸۱ با میانگین ۱۴/۶ درصد و کمترین میزان آن در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۷ به ترتیب با میانگین ۹ و ۹/۲ درصد مشاهده شد. بارندگی و دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه می‌باشد. به‌طوری‌که ضریب تبیین (R^2) بین شاخص خشک‌سالی SPI و میانگین درصد پوشش گیاهی، ۰/۸۵ به‌دست آمد. با توجه به این‌که در پژوهش حاضر نقشه درصد پوشش گیاهی منطقه موردمطالعه وجود نداشت تا دقت نقشه‌های تهیه‌شده تخمین زده شود؛ میزان ضریب تبیین بین شاخص خشک‌سالی SPI و تغییرات درصد پوشش گیاهی تأییدکننده صحت نقشه‌های تهیه‌شده است. بر اساس رابطه بین شاخص خشک‌سالی SPI و میانگین درصد پوشش گیاهی می‌توان وضعیت خشک‌سالی یا وضعیت پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه را تخمین زد. در سال‌های آبی ۱۳۷۸-۱۳۷۹ و ۱۳۸۶-۱۳۸۷ منطقه موردمطالعه به ترتیب درگیر وضعیت خشک‌سالی متوسط و بسیار شدید بوده است. در سال ۱۳۷۹، ۶۷ درصد مساحت منطقه موردمطالعه دارای پوشش گیاهی زیر ۱۰ درصد و در سال ۱۳۸۷، ۵۸ درصد مساحت منطقه دارای پوشش گیاهی زیر ۱۰ درصد می‌باشد. رابطه بین شاخص خشک‌سالی SPI و تغییرات مساحت درصد پوشش گیاهی در منطقه موردمطالعه نشان می‌دهد که پوشش گیاهی این ناحیه به تغییرات دوره‌های خشک‌سالی و ترسالی به‌شدت وابسته است و این منطقه به همان شدت که از خشک‌سالی تأثیر می‌پذیرد و پوشش گیاهی آن کاهش می‌یابد به همان شدت دارای قابلیت بازسازی سریع می‌باشد؛ که این مورد خود یکی از ویژگی‌های مناطق خشک می‌باشد (مصداقی، ۱۳۸۹). سایر مطالعات که در این پژوهش (مقدمه) به آن‌ها اشاره شد به بررسی ارتباط بین شاخص‌های خشک‌سالی و شاخص‌های مختلف سنجش‌ازدور پرداخته‌اند؛ که نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کنند (موکرجی و همکاران، ۲۰۱۴؛ دوتا و همکاران، ۲۰۱۵؛ دستورانی و همکاران، ۱۳۹۴، میرموسوی و کریمی، ۱۳۹۲).

بر اساس نتایج ارزیابی روابط بین وقوع خشک‌سالی و درصد مساحت طبقات پوشش گیاهی ۰ تا ۱۰ درصد و ۱۵ تا ۳۰ درصد، مدل‌های تعیین‌شده دارای دقت بسیار مناسبی در تخمین درصد مساحت طبقات پوشش

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

گیاهی هستند. به‌عنوان نتیجه‌گیری کلی، استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور به همراه نمونه‌برداری میدانی قابلیت بسیار بالایی در بررسی و پایش تغییرات مراتع و همچنین تهیه نقشه درصد پوشش گیاهی مراتع دارند.

منابع

ارزانی، حسین؛ عابدی، مهدی. **اندازه‌گیری و ارزیابی پوشش گیاهی (جلد دوم)**،(۱۳۹۴)، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۳۰۵ ص.

پرویز، لاله؛ خلقی، مجید؛ ولی زاده، خلیل، عراقی نژاد، شهاب و ایران‌نژاد، پرویز. (۱۳۹۰). **بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش‌ازدور در ارزیابی خشک‌سالی هواشناسی؛ مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز سفیدرود.** فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۹ (۲۲): ۱۶۴-۱۴۷.

جباری، سمیه؛ خواجه الدین، سید جمال‌الدین؛ جعفری، رضا و سلطانی، سعید. (۱۳۹۳)، **بررسی تغییرات درصد پوشش گیاهی مراتع با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه سمیرم اصفهان**، بوم‌شناسی کاربردی، ۳ (۱۰): ۳۸-۲۷.

دستورانی، مصطفی؛ ولی، عباسعلی، سپهر، عادل و بایرام کمکی، قوچی، (۱۳۹۴)، **بررسی اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از سنجنده MODIS در خراسان رضوی**، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، ۴ (۷): ۸-۱.

راهداری، وحید؛ سفیانیان، علیرضا؛ خواجه الدین، سید جمال‌الدین و ملکی نجف‌آبادی، سعیده، (۱۳۹۲)، **بررسی قابلیت داده‌های ماهواره‌ای در تهیه نقشه درصد تاج پوشش گیاهی مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی پناهگاه حیات‌وحش موته)**، علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، ۱۵(۴): ۵۴-۴۳.

زارع خورمیزی، هادی؛ حسینی، سید زین‌العابدین؛ مختاری، محمدحسین و غفاریان مالمیری، حمیدرضا. ۱۳۹۶. **بازسازی سری‌های زمانی NDVI سنجنده MODIS با استفاده از الگوریتم تجزیه‌وتحلیل هارمونیک سری‌های زمانی (HANTS)، (مطالعه موردی: استان یزد)**. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۲۱ (۳): ۲۲۱-۲۵۵.

زارع خورمیزی، هادی؛ غفاریان مالمیری، حمیدرضا. (۱۳۹۶). **پایش خشک‌سالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور مطالعه موردی: استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴**، مدیریت بیابان، ۵ (۱۰): ۶۸-۸۶.

شکوهی، علیرضا. (۱۳۹۱). **مقایسه شاخص‌های RDI و SPI برای تحلیل خشک‌سالی در مقیاس ایستگاهی با تکیه‌بر خشک‌سالی کشاورزی (مطالعه موردی: قزوین و تاکستان)**، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۳ (۹): ۱۱۱-۱۲۲.

شیرانی، فرزانه؛ مزیدی، احمد و خداقلی، مرتضی. (۱۳۸۸). **پهنه‌بندی اقلیمی استان یزد با استفاده روش‌های آماری چند متغیره**، مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، ۷ (۱۳): ۱۵۷-۱۳۹.

غفاریان مالمیری، حمیدرضا و زارع خورمیزی، هادی. (۱۳۹۶). **بازسازی سری‌های زمانی داده‌های ماهواره‌ای دمای سطح زمین با استفاده از الگوریتم تجزیه‌وتحلیل هارمونیک سری‌های زمانی (HANTS)**. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۸ (۳): ۵۵-۳۷.

مصداقی، منصور. (۱۳۸۹). **مرتع‌داری در ایران**، انتشارات آستان قدس رضوی، چاپ ششم، مشهد، ۳۳۶ ص.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]

[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]

مقدم، محمدرضا. (۱۳۹۰). **مرتع و مرتع‌داری**، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ هفتم، تهران، ۴۷۰ ص.

مهدیاری، فاطمه؛ پورخباز، محمدرضا؛ توکلی، مرتضی و اقدر، حسین. (۱۳۹۳)، **تهیه نقشه پوشش گیاهی و پایش تغییرات آن با استفاده از تکنیک‌های سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان)**، اطلاعات جغرافیایی، ۲۳ (۹۲): ۳۴-۲۳.

مؤذن‌زاده، روزبه؛ ارشد، صالح؛ قهرمان، بیژن و داوری، کامران. (۱۳۹۱). **پایش خشک‌سالی در کشت‌های غیرآبی با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور**، مدیریت آب و آبیاری، ۲ (۲):۵۲-۳۹.

میرموسوی، سید حسین؛ کریمی، حمیده. (۱۳۹۲). **مطالعه‌ی اثر خشک‌سالی بر روی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی: استان کردستان)**، فصلنامه جغرافیا و توسعه، ۱۱ (۳۱): ۷۶-۵۷.

هادیان، فاطمه؛ حسینی، سید زین‌العابدین و سید حسنی، منصوره. (۱۳۹۳). **پایش تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از اطلاعات بارندگی و تصاویر ماهواره‌ای NOAA AVHRR در استان کرمانشاه**، نشریه مرتع‌داری، ۱ (۱): ۶۲-۴۶.

Dutta, D. Kundu, A. Patel, N.R. Saha, S.K. Siddiqui, A.R. 2015, **Assessment of agricultural drought in Rajasthan (India) using remote sensing derived Vegetation Condition Index (VCI) and Standardized Precipitation Index (SPI)**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences 18, pp: 53-63.

Hagen, S.C., Heilman, P., Marsett, R., Torbick, N., Salas, W., Ravensway, J. and Qi, J. 2012. **Mapping Total Vegetation Cover Across Western angelands With Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer Data**, Rangeland Ecology & Management, 65 (5): 456-467.

Lu, D., P Mausel, E. Brondizio, and E. Moran. 2004. **Change detection techniques**. International Journal of Remote Sensing, 25 (12): 2365-2407.

McKee, T.B., Doesken, N.Y. & Kleist, J.Y. 1993. **The relationship of drought frequency and duration to time scales**. Eighth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society: Anaheim, CA, 174-184.

Mukherjee, T. Mukherjee, S. Mukhopadhaya, A. Roy, A. K. and Dutta, S. 2014, **Drought Monitoring of Chhattisgarh Using Different Indices Based on Remote Sensing Data**, Climate Change and Biodiversity, pp 85-101.

Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. (1973). **Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS**. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309-317.

Tigkas D., Vangelis, H., & Tsakiris, G. (2015). DrinC: **a software for drought analysis based on drought indices**. Earth Science Informatics, 8 (3): 697-709.

Verhoef, W. 1996. **Application of Harmonic Analysis of NDVI Time Series (HANTS).** In S. Azzali & M. Menenti (Eds.), In: Fourier analysis of temporal NDVI in southern Africa and America continent. The Netherlands, DLO Winand Staring Centre, Report 108, pp. 19–24.

Wiesmair, M., Feilhauer, H., Magiera, A., Otte, A., and Waldhardt, R. 2016. **Estimating Vegetation Cover from High-Resolution Satellite Data to Assess Grassland Degradation in the Georgian Caucasus**, Mountain Research and Development, 36 (1): 56-65.

Zhang, X., Liao, C., Li, J., and Sun, Q. 2012. **Fractional vegetation cover estimation in arid and semi-arid environments using HJ-1 satellite hyperspectral data**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21: 506-512.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1300.0.0.45.8]
[DOI: 10.61186/jgs.23.69.193]