

ارزیابی روند تغییرات درازمدت سری زمانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI) در حوضه هامون-جازموریان

مهین فولادی دوقزلو^۱، محمدرضا صیادی^۲



مقاله پژوهشی

۱. دانش آموخته کارشناس ارشد مرتعداری، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران.

m.fooladi.222p@gmail.com

* نویسنده مسئول

۲. دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

mohammadreza991376@gmail.com

شماره مقاله: ۱۰۳۹-۲۳۰۵

شماره صفحه پایایی: ۳۱۸-۳۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

انتشار آنلاین: ۱۴۰۳/۰۴/۲۸

زمان پذیرش: ۶۳ روز

استناددهی:

فولادی دوقزلو، م. و صیادی، م. (۱۴۰۱). ارزیابی روند تغییرات درازمدت سری زمانی شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در حوضه هامون-جازموریان. مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، ۲(۴)، ۲۶-۳۷.

چکیده

بررسی روند تغییرات دراز مدت پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سری زمانی می‌تواند اطلاعات مفیدی را در مورد پوشش سطحی منطقه‌ای ارائه کند. از آنجا که سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای یکی از بهترین منابع موجود در این زمینه می‌باشند، به کارگیری آنها در مطالعات زیست محیطی موثر می‌باشد. استفاده از آزمون‌های آماری در مطالعات تحلیل روند سری‌های زمانی ضروری است، آزمون ناپارامتری من-کندال یکی از این آزمون‌های ناپارامتری معتبر است. در این مطالعه تغییرات شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های تصاویر سنجنده MODIS در حوضه هامون-جازموریان در جنوب شرق ایران بررسی گردید. بدین منظور، ۵۲۴ تصویر ۱۶ روزه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی سنجنده MODIS برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ انتخاب گردید و پوشش گیاهی این حوضه بطور دقیق آنالیز و سپس روند تغییرات این شاخص در این بازه زمانی ۲۳ ساله با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد. در ادامه، الگوی تغییرات این شاخص و تغییرات پوشش گیاهی در منطقه تعیین گردید. با توجه به نتایج، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ دارای روند افزایشی بوده و همبستگی آن با میانگین بارندگی سالانه مثبت (ضریب همبستگی برابر با ۰/۳۸) است. مقایسه نقشه اختلاف شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی بین سال‌های ابتدایی و انتهایی مورد بررسی با نقشه کاربری اراضی نشان می‌دهد که اراضی مرعی پراکنده و اراضی کشاورزی واقع در مناطق شمال-غرب دستخوش بیشترین تغییرات قرار گرفته است و سطح پوشش گیاهی این نواحی افزایش یافته است. نتایج این تحقیق می‌تواند به منظور بررسی رابطه بین تغییرات دراز مدت پوشش گیاهی در مناطق مختلف حوضه هامون-جازموریان و تغییر پارامترهای اقلیمی مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی:

حوضه هامون-جازموریان، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده NDVI، سنجنده MODIS.

۱- مقدمه

تغییرات در شاخص‌های گیاهی و درصد پوشش، تراکم و فراوانی پوشش گیاهی، ناشی از تغییرات اقلیمی و یا کاربری اراضی، می‌تواند تاثیرات قابل توجهی بر اکوسیستم جهان به ویژه اکوسیستم‌های شکننده خشک و نیمه‌خشک داشته باشد. استفاده از آزمون‌های آماری و سنجش از دور به منظور بررسی روند تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی در بازه‌های زمانی طولانی مدت و در سطح گسترده، آنها را به ابزاری کارآمد برای بررسی پویایی‌های پوشش گیاهی با مقیاس گسترده تبدیل کرده است (Harris et al., 2014). استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های گیاهی نقش تعیین کننده‌ای در ارزیابی‌های سنجش از دور در آنالیز پوشش گیاهی دارند. در این میان، محصولات شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (سنجنده MODIS نقش مهمی در ارزیابی پوشش گیاهی داشته و به طور موثری وضعیت و فرآیندهای بیوفیزیکی و بیوشیمیایی سطوح گیاهی را توصیف می‌کند (Tucker, 1979). شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی یک شاخص مهم پوشش گیاهی و بهره‌وری در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که با تحلیل روندهای بلندمدت آن، می‌توان مناطقی را که با کاهش پوشش گیاهی و بهره‌وری مواجه هستند، شناسایی نمود، و تصمیمات سیاستی و مدیریتی را برای حفظ سلامت و بهره‌وری اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک اتخاذ کرد. همچنین، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی برای نظارت بر واکنش پوشش گیاهی به تغییرات محیطی مانند خشکسالی، سیل و آتش‌سوزی استفاده می‌شود که نقش موثری در پیش‌بینی وقوع و شدت این رویدادها و توسعه استراتژی‌هایی برای کاهش اثرات آنها دارد (Cui et al., 2022).

سری‌های زمانی جهانی کامل VI6 سنجنده‌های Terra و Aqua، با دارا بودن اطلاعات کیفی ارزشمند، قدرت تفکیک مکانی متفاوت (۲۵۰ متری، ۱ کیلومتری و ۰/۰۵ درجه) و قدرت تفکیک زمانی (۱۶ روزه و ماهانه) برای پاسخگویی به نیازهای جوامع پژوهشی و کاربردی در دسترس می‌باشند. این سنجنده‌ها به منظور محاسبه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی که از ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز بدست می‌آید و به عنوان شاخصی موثر در شناسایی ظرفیت سنتز، بررسی تغییرات بوم‌شناسی و محیط زیستی استفاده می‌شود، مورد استفاده قرار می‌گیرند. این شاخص برای شناسایی تنش پوشش گیاهی نیز قابل استفاده می‌باشد زیرا در نتیجه تخریب پوشش گیاهی ویژگی‌هایی از قبیل سلامت و تراکم پوشش گیاهی تغییر عمده می‌یابد (Chu et al., 2019). بنابراین از آنجایی که شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی شاخصی موثر در تشخیص سلامت پوشش گیاهی می‌باشد، در اثر تخریب گیاه، مقدار این شاخص با کاهش سبزی‌نگی کاهش می‌یابد (Morges, 2014).

مناسب‌ترین داده‌ها برای تحلیل روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند (هاشمی دره‌بانی و همکاران، ۱۳۹۴؛ میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۶). مناسب‌ترین روش برای تعیین روند تغییرات پدیده‌های انسانی و طبیعی و پیش‌بینی برای آینده استفاده از سری‌های زمانی تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. منظور از یک سری زمانی، مجموعه‌ای از داده‌های آماری می‌باشد که در فواصل زمانی منظم و مساوی جمع‌آوری شده باشند. به عبارت دیگر، به متغیری که در دوره‌های زمانی گذشته موجود است و قرار است پیش‌بینی شود، اصطلاحاً سری زمانی گفته می‌شود (هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۴). روش‌های آماری تحلیل سری‌های زمانی شامل تحلیل روند در دوره‌های مورد نظر (ماهانه، فصلی و سالانه) می‌باشند.

تحلیل روند عبارت است از تغییرات دراز مدت در میانگین سری زمانی که در این صورت افت و خیزهای سری زمانی را نادیده گرفته، به نمای کلی آن توجه می‌کند. یکی از راهکارهای نظارت بر پایش پوشش گیاهی تعیین روند مربوط به تخریب آن می‌باشد. روش‌های پارامتری و ناپارامتری دو دسته عمده تعیین روند سری‌های زمانی می‌باشند. با بکارگیری سنجش از دور، می‌توان روند تغییرات طیف پیکسل‌های ثبت کننده پوشش گیاهی برای شناسایی مناطق تحت تغییرات سریع را شناسایی کرد. این رویکرد از طریق پایش تغییرات شرایط بوم‌شناسی به ارزیابی سودمندی مدیریت می‌انجامد، بدون آنکه لطمه بیشتری (با استفاده از نمونه‌برداری میدانی) بر منطقه تحت بررسی وارد شود (Wessels et al., 2012).

در مطالعه‌ای هاشمی دره بادامی (۱۳۹۴)، تغییر کاربری اراضی در شهر رشت و رابطه آن با توسعه جزیره حرارتی شهری با استفاده از تصاویر لندست و آزمون من-کندال^۲ را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در دوره مورد مطالعه، پوشش گیاهی کاهش یافته و دمای سطح زمین افزایش یافته است. میراحسنی و همکاران (۱۳۹۸) به منظور بررسی روند تغییرات شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی حوضه آبخیز گاوخونی در یک دوره ۱۲ ساله (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴) از تصاویر MODIS استفاده کردند. آنها با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال روند افزایشی، کاهش و مناطق بدون روند را تعیین کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که طی سال‌های مطالعه مناطق شمال، جنوب و غرب حوضه که دارای پوشش گیاهی و پتانسیل بالای تنوع گونه‌ای بوده‌اند، و نیز مناطق با کاربری کشت آبی با روند کاهشی روبرو می‌باشند. در مطالعه‌ای که توسط محمدی و همکاران (۱۳۹۸) انجام شد، با استفاده از تصاویر MODIS، روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در منطقه کویری میقان واقع در شهر اراک با استفاده از آزمون من-کندال بررسی شد. نتایج نشان داد که در طی این دوره ۱۸ ساله، روند بارش و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در این منطقه افزایشی بوده و ضریب همبستگی بین آنها برابر با ۰/۴۴ است. در مطالعه‌ای دستی‌گردی و همکاران (۱۴۰۱) روند تغییرات پوشش گیاهی در منطقه‌ای به وسعت ۱۱۷ هزار کیلومتر در خراسان رضوی در طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸ را با استفاده از سری زمانی ۱۶ روزه با استفاده از شاخص

تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی حاصل از MODIS را با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در ۵۲ درصد از مساحت منطقه دارای روند کاهشی معنی‌دار و در بقیه منطقه دارای روند افزایشی می‌باشد.

Tian et al. (۲۰۱۳) در بررسی روندهای مربوط به شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی سرهای زمانی ۱۲ ساله پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر لندست، داده‌های مفقود این شاخص را با بکارگیری تحلیل روند من-کندال تصاویر MODIS تهیه و صحت آن را ارزیابی کردند. آنها در مقیاس فصلی روند سری‌های زمانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی را با استفاده از آزمون من-کندال بررسی کردند. سپس با استفاده از انتگرال فصلی روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی را در هر پیکسل محاسبه و با استفاده از آزمون TS شیب رگرسیون روند را برآورد کردند. در مطالعه‌ای در مغولستان Eckert et al. (۲۰۱۵) با استفاده از شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر سری زمانی MODIS روند تغییرات پوشش گیاهی و میزان تخریب آن را بررسی کردند. سری زمانی ۱۱ ساله داده‌های شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی ترکیبی ۱۶ روزه MODIS برای ۵۰ درصد مغولستان نشان داد که تغییرات بارندگی در همان دوره زمانی بر روی مناطق دارای روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی تأثیر داشته است و روش تحلیل روند سری زمانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، با موفقیت، تغییرات ناشی از جنگل‌زدایی، آتش‌سوزی جنگل‌ها، گسترش شهری و بازسازی مراتع را شناسایی کرد. Modarres and Silva (۲۰۰۷) برای بررسی روند بارندگی ایران از روش غیرپارامتری من-کندال (۱۹۷۵) استفاده کردند. در این مطالعه، سری‌های زمانی بارندگی در ۲۰ ایستگاه در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از روندهای ترکیبی افزایش و کاهش بارندگی در اکثر ایستگاه‌ها بود. همچنین، روند افزایش و کاهش بارندگی ماهانه در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که اغلب در فصول زمستان و بهار بودند. Cui et al. (۲۰۱۲) از آزمون غیر پارامتری من-کندال برای بررسی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق مختلف ریشی-اقليمی مغولستان طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ از مجموعه داده NOAA-AVHRR استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که نواحی اقلیمی با پوشش گیاهی متفاوت، روند تغییر پوشش گیاهی متفاوتی را نشان می‌دهند و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در بیشتر نواحی حوضه دارای روند کاهشی می‌باشد. Jamali et al. (۲۰۱۵) تغییرات روند سری زمانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ در دو ایستگاه در کشور عراق با استفاده از نرم‌افزار DBEST بررسی کردند. نتایج نشان داد که شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی دارای روند کاهشی بوده و نرم‌افزار DBEST در تعیین تغییرات آرام و ناگهانی و تعیین دقیق میزان و زمان تغییرات روند دقیق می‌باشد. در مطالعه‌ای Chu et al. (۲۰۱۹) روند تغییرات شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی استخراج شده از تصاویر MODIS را در طی دوره ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ در حوضه Amur-Heilongjiang در چین در ارتباط با تغییر اقلیم بررسی کردند. بررسی آنها در فصل‌های رشد (بهار، تابستان و پاییز) نشان داد که روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی از ابتدا تا اواسط دهه ۱۹۹۰ افزایشی، سپس تا اواسط دهه ۲۰۰۰ کاهشی و در نهایت به مقدار مربوط به سال ۲۰۱۵ برگشت. این تغییر روند به تغییر بین روند خشکسالی و مرطوب نسبت داده می‌شود، که نشان می‌دهد فصل رشد شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی عمدتاً توسط بارش تنظیم می‌شود.

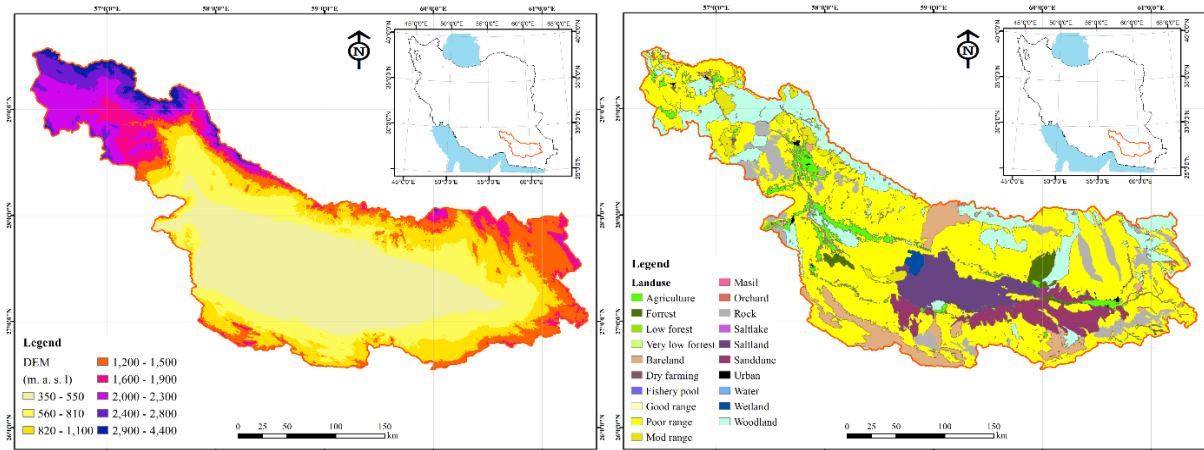
با بررسی تحقیقات در زمینه تغییرات پوشش گیاهی، به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک و اثرات اکولوژیکی بلندمدت آن، نیاز به بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی و رابطه آن با پارامترهای اقلیمی می‌باشد. به همین منظور، حوضه آبخیز هامون-جازموریان به عنوان یکی از حوضه‌های حیاتی در کشور با وضعیت بحرانی خشکسالی و بیابانزایی انتخاب شد که می‌تواند در آینده نزدیک منبع گرد و غبار مهمی در مقیاس گسترده باشد. هدف اصلی این تحقیق بررسی روند تغییرات درازمدت و فصلی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی محاسبه شده از سنجنده MODIS با استفاده از آزمون ناپارامتری من-کندال در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، تعیین محل‌های با بیشترین و کمترین تغییر در پوشش گیاهی و ارتباط این تغییرات با میزان بارش سالانه در حوضه هامون-جازموریان است.

۲- مواد و روش‌ها

به منظور انجام این تحقیق علاوه بر نقشه‌های رستری شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی مقادیر عددی این شاخص مورد نیاز می‌باشد. برای این منظور، ابتدا از تصاویر سنجنده MODIS نقشه‌های رستری شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی را برای ماهانه، فصلی و سالانه در محیط Google Earth Engine استخراج و سپس مقادیر عددی آن را به صورت میانگین حوضه با مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه محاسبه گردید. سپس با استفاده از آزمون من-کندال، روند شاخص‌ها محاسبه شد. در نهایت، با محاسبه نقشه‌های تفاضلی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی بر اساس سال‌های ابتدایی، میانی و پایانی، مکان‌های با بیشترین تغییرات مشخص شدند و نتایج با توجه به کلاس‌های کاربری اراضی، مورد بررسی قرار گرفتند. در پایان ضریب همبستگی پیرسون بین مقادیر بارندگی سالانه و مقادیر سالانه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی محاسبه گردید.

۱-۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه هامون جازموریان، یکی از ۳۰ حوضه درجه دو کشور، در جنوب شرقی ایران و در استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان قرار دارد. این حوضه با مساحت حدود ۶۹ هزار کیلومتر مربع، بین طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۶۲ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی واقع شده است. اقلیم این حوضه، بر اساس روش دومارتن، خشک و نیمه‌خشک است (جهانشاهی و همکاران، ۱۴۰۱). در شکل (۱) موقعیت حوضه هامون-جازموریان در ایران و نقشه کاربری اراضی (Karra et al., 2021) و نقشه مدل رقومی ارتفاعی^۱ ASTER (۳۰ متر) (Abrams et al., 2020) آن ارائه شده است.



شکل (۱): موقعیت حوضه هامون-جازموریان در کشور و نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM) (چپ) و کاربری اراضی (راست).

شیب عمومی از سمت شمال‌غرب و شمال‌شرق به مرکز کاهشی بوده و با نزدیک شدن به سمت مرکز حوضه از ارتفاع زمین کاسته می‌شود. متوسط ارتفاع حوضه ۹۹۰ متر از سطح آب‌های آزاد و بیشترین و کمترین مقادیر ارتفاعی به ترتیب برابر با ۳۵۰ و ۴۴۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد می‌باشند. جریان رودخانه هلیل‌رود از شمال‌غرب به مرکز و از کوه‌های هزار کرمان و رودخانه بمپور از شمال‌شرق به مرکز از ارتفاعات تفتان و بزمان در سیستان و بلوچستان سرچشمه می‌گیرد و هر دو رودخانه به تالاب جازموریان در مرکز می‌رسند. این دو رودخانه آب آبیاری و شرب مهم کشور را تامین می‌کنند. رشته کوه‌های مرتفع در شمال‌غرب و شمال‌شرق تغییرات مکانی بارش سالانه را بیش از ۳۵۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر در زمستان تا کمتر از ۵۰ میلی‌متر به دنبال دارد (بیگی و همکاران، ۱۴۰۱). تغییرات سالانه بارندگی شدید و منجر به خشکسالی‌های مکرر شده است. در یک دوره بیست و سه ساله میانگین بارش سالانه در شرق از ۷۰ تا ۲۲۴ میلی‌متر و در غرب از ۲۹۰ تا ۵۴۸ متغیر است. این بارش عمدتاً در فصل تابستان و پاییز رخ می‌دهد و در اثر بارش کافی رواناب در رودخانه‌های اصلی جریان می‌یابد. همچنین مقادیر دما تغییرپذیری مکانی زیادی را نسبت به ارتفاع نشان می‌دهند، بطوریکه حداقل و حداکثر دمای سالانه در غرب از ۴ تا ۱۱ درجه سانتی‌گراد و در شرق تقریباً از ۲۲ تا ۲۸ درجه سانتی‌گراد است (جهانشاهی و همکاران، ۱۴۰۱). میانگین تبخیر و تفرق پتانسیل سالانه در درازمدت برای این منطقه ۱۵۰۰ میلی‌متر (غرب) و ۵۰۶۲ میلی‌متر (شرق) است. نقشه کاربری اراضی تهیه شده از تصاویر سنتینل ۲ (۱۰ متر) (Karra et al., 2021) در شکل (۱) نشان داده شده است. کاربری غالب حوضه، اراضی مرتعی با وضعیت ضعیف می‌باشد. پوشش گیاهی منطقه اغلب شامل گیاهان مرتعی (درمنه)، اراضی کشاورزی (محصولات دیم) و باغات می‌باشند (جهانشاهی و همکاران، ۱۳۹۸).

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

یکی از سنجنده‌های مهم در برنامه سامانه مشاهده‌گر زمینی سنجنده MODIS است. مزیت اصلی استفاده از این سنجنده توانایی آن در تولید تصاویر ترکیبی بدون ابر است که شرایط قابل اعتماد اخذ تصویر در فصل‌های مختلف را امکان‌پذیر می‌کند (Kennedy et al., 2009). کارآمد بودن این سنجنده در جمع‌آوری داده‌های وسیع به منظور آشکارسازی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق وسیع و همچنین عوارض با طیف گسترده است. این توانایی در ثبت تغییرات کوتاه مدت و آهسته در سطح پوشش گیاهی بسیار کارآمد می‌باشد. داده‌های ترکیبی MODIS تصاویر سری زمانی با فاصله زمانی ۱ ماهه از سال ۲۰۰۰ تاکنون در دسترس می‌باشند. سنجنده MODIS به عنوان سنجنده‌ای مقرون به صرفه، با پوشش جهانی حداقل یک بار در روز به تغییرات پوشش گیاهی حساس می‌باشد. محصولات این سنجنده دقیق و چندمنظوره بوده و دارای توانایی پایش شرایط جهانی پوشش گیاهی را دارا می‌باشند. بر این اساس، تصاویر ۱۶ روزه MODIS Terra/Aqua با اندازه پیکسل ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر (Didan et al., 2010) از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ برای منطقه مورد مطالعه از سایت ناسا اخذ گردید. محدوده مطالعاتی هامون-جازموریان از تصاویر سری زمانی ۱۶ روزه سنجنده MODIS

1. Digital elevation Model (DEM)

2. Earth Observing System (EOS)

از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، جداسازی و برای تعیین روند تغییرات پوشش گیاهی استفاده شد. محاسبات و مدل‌سازی در محیط Google Earth Engine انجام شد. شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی که معروفترین شاخص پوشش گیاهی ماهواره‌ای است با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن NIR = باند مادون قرمز نزدیک، R = باند قرمز می‌باشند. استخراج و محاسبات سالانه و فصلی این شاخص در محیط نرم‌افزار Google Earth engine انجام شد.

۲-۳- بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از آزمون من-کندال

آزمون من-کندال توسط Mann (۱۹۴۵) بر اساس معنادار ضریب همبستگی تاوکندال (τ) ارائه و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) توسعه یافت. از مزایای این روش تاثیرپذیری کم آن از مقادیر حدی است (کاظم زاده و همکاران، ۱۳۹۲). برای تعیین اینکه متغیرهای اول و دوم رابطه افزایشی، کاهشی یا بدون ارتباط هستند این روش از ضریب همبستگی استفاده می‌کند. به منظور بررسی روند سری‌های زمانی این روش بطور گسترده‌ای استفاده شده است (Modarres and da Silva, 2007). این آزمون وجود و نوع روند را مشخص می‌کند و نیازی به وارد کردن داده‌های نرمال نیست. اما در این مطالعه به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. مراحل محاسبه آزمون روندیابی من-کندال به صورت زیر می‌باشد:

الف) محاسبه تک تک مشاهدات با یکدیگر و اعمال تابع علامت sign function و استخراج پارامتر s با استفاده از رابطه (۲):

$$S = \sum_{i=2}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j) \quad \text{رابطه (۲)}$$

n = تعداد مشاهدات سری‌های زمانی، x_i و x_j = به ترتیب داده‌های i م و j م سری است. بطوریکه $\text{sgn}(x_i - x_j)$ برای $(x_i - x_j) < 0$ برابر +۱، برای $(x_i - x_j) = 0$ برابر صفر و برای $(x_i - x_j) > 0$ برابر -۱ می‌باشند (Nasri and Modarres, 2009) (رابطه ۳).

$$\text{sgn}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۳)}$$

ب) میانگین $E[S]$ آماره S به صورت رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$E[S] = 0 \quad \text{رابطه (۴)}$$

ج) واریانس $V[S]$ بر اساس رابطه‌های (۵) و (۶) و با توجه به تعداد مشاهدات سری‌ها (n) محاسبه می‌شود. اگر مقدار n کوچکتر از ۱۰ باشد:

$$\text{Var}[S] = (n(n-1)(2n+5))/18 \quad \text{رابطه (۵)}$$

و اگر n بزرگتر از ۱۰ باشد بر اساس رابطه ۶:

$$\text{Var}[S] = (n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q \text{tp}(\text{tp}-1)(2\text{tp}+5))/18 \quad \text{رابطه (۶)}$$

tp = تعداد گره‌ها برای ارزش pام که داده مشابه دارند، q = تعداد گره‌هایی که داده مشابه دارند. عبارت دوم سازگاری داده‌های نشان داده نشده را بیان می‌کند.

د) به کمک یکی از معادلات بیان شده در رابطه (۷) آزمون آماره استاندارد شده z محاسبه می‌شود:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S > 0 \\ 0, & S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, & S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه (۷)}$$

در آزمون مذکور برای تعیین روند سری داده‌ها، مقادیر مثبت و منفی Z_{MK} به ترتیب نشان دهنده روندهای افزایشی (روند صعودی) و کاهش (روند نزولی) می‌باشند. روندهای افزایشی و کاهش یکنواخت در سطح معنادار p ، فرض صفر برای ارزش‌های مطلق Z بزرگتر از $Z_{1-p/2}$ به دست آمده از جداول پراکندگی تجمعی استاندارد نرمال رد می‌شود. فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه (۷) برقرار باشد، پذیرفتن فرض صفر تصادفی بودن و عدم وجود روند را نشان می‌دهد (Nasri and Modarres, 2009). در این مطالعه سطوح معنی‌داری ۰/۰۱ و ۰/۰۵ به کار رفته است.

۳- نتایج

در این مطالعه قبل از بررسی روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در حوضه مورد مطالعه، ابتدا در طی دوره ژانویه ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۲۲ الگوهای تغییرات و نوسانات پوشش گیاهی در زمان با استفاده از شاخص ۱۶ روزه تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی ارزیابی گردید. برای محاسبه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی از تصاویر MODIS، ابتدا باید تصاویر خام را پردازش کرد. در این مرحله، ابتدا برای به دست آوردن مقادیر بازتاب سطحی، تصاویر خام MODIS برای تصحیح اثرات جوی، مانند پراکندگی و جذب نور، پیش‌پردازش شدند. برای این کار، از الگوریتم MOD09^۱ استفاده شد که اثرات پراکندگی و جذب اتمسفر را از تصاویر حذف کرده و امکان اندازه‌گیری دقیق‌تر بازتاب پوشش گیاهی و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی را فراهم می‌کند (Shutler et al., 2005). انتخاب الگوریتم به عواملی مانند نوع پوشش گیاهی مورد مطالعه بستگی دارد. سپس با استفاده از باندهای مادون قرمز نزدیک و قرمز، که از تصاویر پیش‌پردازش شده شناسایی شدند، شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی برای هر پیکسل محاسبه شد. داده‌های گمشده^۲ (۹۹۹-) از سری زمانی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی حذف شدند. تعداد ۵۲۴ تصویر سری زمانی ۱۶ روزه پوشش گیاهی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی حاصل از سنجنده MODIS می‌بایست استاندارد شوند. بدین منظور از ضریب فاکتور مقیاس^۳ مربوط به تصاویر سری‌های زمانی ماهانه MOD13A3 شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی برابر ۰/۰۰۰۱ این تصاویر خام به قالب شاخص استاندارد شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی (۱- تا ۱+) در آمدند، که مقادیر حداقل، میانگین و حداکثر و انحراف معیار مربوط در جدول ۱ نشان داده شده‌اند. در این تحقیق محاسبات بر روی مقایده فصلی و سالانه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی صورت گرفت.

جدول (۱): مقادیر آماری شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی فصلی و سالانه طی دوره مورد بررسی در منطقه مورد مطالعه

مقادیر	سالانه	پاییز	بهار	تابستان	زمستان
حداقل	۰/۰۷۶	۰/۰۷۵	۰/۰۷۹	۰/۰۷۴	۰/۰۷۷
حداکثر	۰/۱۱۱	۰/۱۰۲	۰/۱۲۶	۰/۱۰۳	۰/۱۱۱
میانگین	۰/۰۸۹	۰/۰۸۶	۰/۰۹۶	۰/۰۸۴	۰/۰۹
انحراف معیار	۰/۰۰۸	۰/۰۰۶۵	۰/۰۱۲	۰/۰۰۶۹	۰/۰۰۷۸

مأخذ: یافته‌های پژوهش

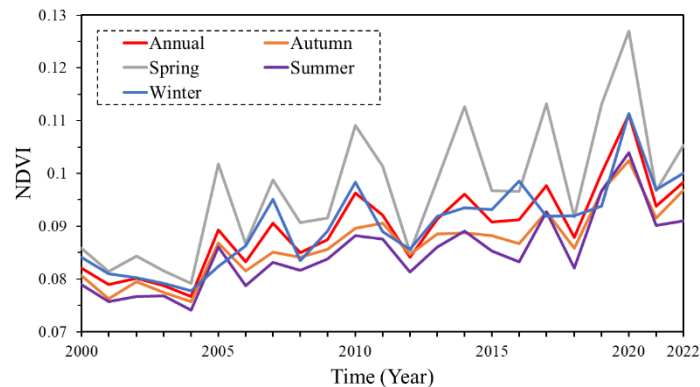
با توجه به جدول (۱)، مشخص می‌شود که بیشترین مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی به فصل بهار اختصاص دارند. در شکل (۲)، نمودار سری زمانی تغییرات پوشش گیاهی تصاویر میانگین سالانه و فصلی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در حوضه هامون-جازموریان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ رسم گردید. با توجه به این شکل، حداکثر میزان پوشش گیاهی در مقیاس‌های ماهانه و سالانه در سال ۲۰۲۰ به دست آمده است. با مقایسه مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی با نقشه کاربری اراضی، مشخص گردید که تغییرات پوشش طبیعی تأثیر قابل توجهی بر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی دارند. همچنین، تغییرات در پوشش زمین‌های کشاورزی و باغات نیز بر تغییرات شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی تأثیرگذار هستند. بطوریکه، حداقل میزان این شاخص در طول بازه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۴ رخ داده است که نشان‌دهنده حداقل میزان پوشش گیاهی و مرتعی در این سال است. بیشترین میزان پوشش گیاهی فصلی (شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی برابر با ۰/۰۷۹) نیز مربوط به بهار می‌باشد. با توجه به این شکل، حداکثر پوشش گیاهی در فصل بهار مشاهده شده است که نشانگر شروع دوره رویشی در این حوضه می‌باشد. این می‌تواند به دلیل افزایش بارش در تیپ‌های پوشش گیاهی دیگر حوضه شامل جنگل‌های پراکنده و گیاهان مرتعی با تراکم متوسط در این حوضه، یا به دلیل کشت بهاره که میزان پوشش گیاهی آن بیشتر است، باشد. مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در فصل زمستان بیشتر از فصل تابستان می‌باشد که نشان می‌دهد فصل سرما تأثیر کمی بر پوشش گیاهی داشته و همچنین تأثیر بارش بر افزایش پوشش گیاهی در مناطق سردسیر حوضه (غرب و شمال غرب) می‌باشد. نتایج این بخش از تحقیق با نتایج مطالعه مکرم و همکاران (۱۳۹۶) در شمال شهرستان داراب در استان فارس، سازگاری دارد. در مطالعه آنها افزایش دما در ماه‌های گرم، نسبت به

1. MODIS Surface Reflectance

3. Scale factor

2. Missing values

ماه‌های سردتر، منجر به کاهش سطح پوشش گیاهی و کاهش مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی شده است. در شکل (۲) روند افزایشی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در مقیاس‌های سالانه و ماهانه مشخص می‌باشد. نکته قابل توجه تغییرات این شاخص بصورت یکسال در میان می‌باشد، بطوریکه در یکسال که شاخص یک مقدار بالایی داشته در سال بعد یا دو سال بعد از آن مقدار آن کاهش می‌باشد. بطور مثال سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۰۳، ۲۰۰۴، ۲۰۰۶، ۲۰۰۸، ۲۰۱۱، ۲۰۱۲، ۲۰۱۵، ۲۰۱۶، ۲۰۱۸ و ۲۰۲۱ مقدار این شاخص نزولی می‌باشد. این کاهش ممکن است به دلیل تغییرات بارش در این سال‌ها و کاهش پوشش گیاهی و در نتیجه کاهش شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در این سال‌ها باشد. بر اساس شکل (۲) کاملاً مشخص است که سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۲۰ به ترتیب کمترین و بیشترین مقدار شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی را نشان می‌دهند.



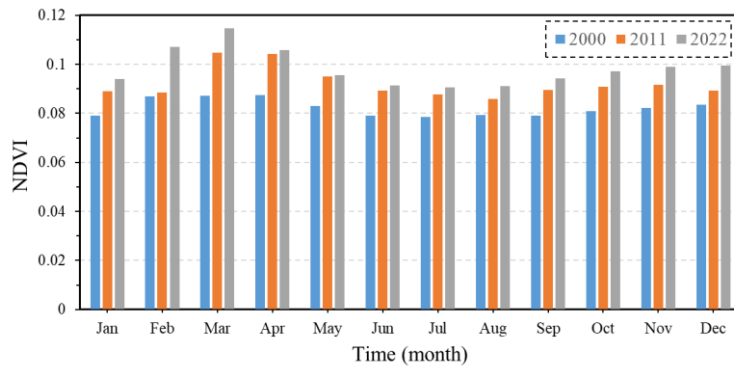
شکل (۲): نمودار سری زمانی شاخص NDVI در مقیاس‌های سالانه و فصلی در دوره مورد بررسی در حوضه هامون-جازموریان

در ادامه بررسی تغییرات پوشش گیاهی، مقادیر میانگین ماهانه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ بررسی گردید که سه سال ۲۰۰۰ (ابتدا)، ۲۰۱۱ (میان) و ۲۰۲۲ (انتها) در اینجا انتخاب و در شکل (۳) نشان داده شده‌اند. مقادیر این شاخص از سال ابتدا تا انتهای مورد بررسی روند افزایشی داشته است. در سال ۲۰۰۰ کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوئیه و آوریل، در سال ۲۰۱۱ این مقادیر به ترتیب مربوط به ماه‌های آگوست و مارس و برای سال ۲۰۲۲ این مقادیر به ترتیب مربوط به ماه‌های ژوئیه و مارس می‌باشند. این نمودار نیز می‌تواند نشان دهنده این مسئله باشد که میزان کشت بهاره بیشتر از کشت پاییزه است و همچنین می‌تواند نشان‌دهنده افزایش بارش و رشد پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی و جنگلی، علفزارها و مراتع باشد.

۳-۱- بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی با آزمون من-کندال

در این قسمت، روند تغییرات پوشش گیاهی درازمدت حوضه هامون-جازموریان بر اساس مقادیر مربوط به سری زمانی میانگین ماهانه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی بررسی گردید. دانلود مقادیر این شاخص در محیط Google Earth Engine و تحلیل روند با استفاده از نرم‌افزار R انجام شد. نقشه تغییرات شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی برای سال‌های ابتدا (۲۰۰۰)، میان (۲۰۱۱) و انتهای (۲۰۲۲) مورد بررسی در شکل (۴) نشان داده شده است.

در شکل (۴)، مقادیر مثبت، بیانگر وجود پوشش گیاهی و مقادیر منفی نشان دهنده عدم وجود پوشش گیاهی می‌باشند. از این نقشه‌ها می‌توان دو مطلب استخراج کرد. اول، مناطقی که سبز رنگ هستند و حضور پوشش گیاهی را نشان می‌دهند، در قسمت‌های شمال غربی (استان کرمان) و بخش‌های بسیار کمی در قسمت‌های مرکزی و شرقی (استان سیستان و بلوچستان) واقع شده‌اند. قسمت‌های شمال غربی در ارتفاعات هزار استان کرمان واقع شده‌اند که پر بارش‌ترین ناحیه در استان کرمان بوده با میانگین بارش سالانه ۲۳۰ میلی‌متر در سال بیشترین میزان بارندگی در این حوضه را دارا می‌باشند و دارای پوشش مرتعی نسبتاً خوب، جنگل‌های پراکنده (درختان بادام کوهی و بنه) و زمین‌های کشاورزی و باغات قابل توجهی می‌باشند (جهانشاهی و همکاران، ۱۳۹۸). دوم، میانگین شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در کل حوضه برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۲۲ به ترتیب برابر با ۰/۰۷۸، ۰/۰۸۹ و ۰/۰۸۹ می‌باشد. این مقادیر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ افزایش یافته است، اما از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۲ ثابت مانده است. میانگین بارندگی سالانه حوضه در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۲۲ (محاسبه شده با روش تیسن پلی‌گون برای کل سطح حوضه) به ترتیب ۱۸۶، ۲۷۱ و ۳۱۶ میلی‌متر است. تغییرات در بارش ممکن است باعث افزایش پوشش گیاهی و در نتیجه افزایش مقدار شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، به ویژه در قسمت شمال غرب این منطقه، شده باشد. ضریب همبستگی پیرسون بین میانگین سالانه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی و بارندگی سالانه برای کل حوضه برابر با ۰/۳۸ است.



شکل (۳): نمودار تغییرات بلند مدت مقادیر میانگین شاخص NDVI در حوضه هامون-جازموریان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در سال‌های ابتدا (۲۰۰۰)، میانه (۲۰۱۱) و انتهای (۲۰۲۲) مورد بررسی

در جدول (۲) مقادیر معیارهای آزمون من-کندال (شیب سن) و p-value برای مقیاس سالانه و فصلی آورده شده است. بر اساس این آزمون روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی برای مقیاس سالانه و تمامی چهارفصل افزایشی و معنی‌دار می‌باشد.

جدول (۲): تغییرات ضرایب شاخص من-کندال در حوضه هامون-جازموریان در دوره بیست و سه ساله مورد بررسی (از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲)

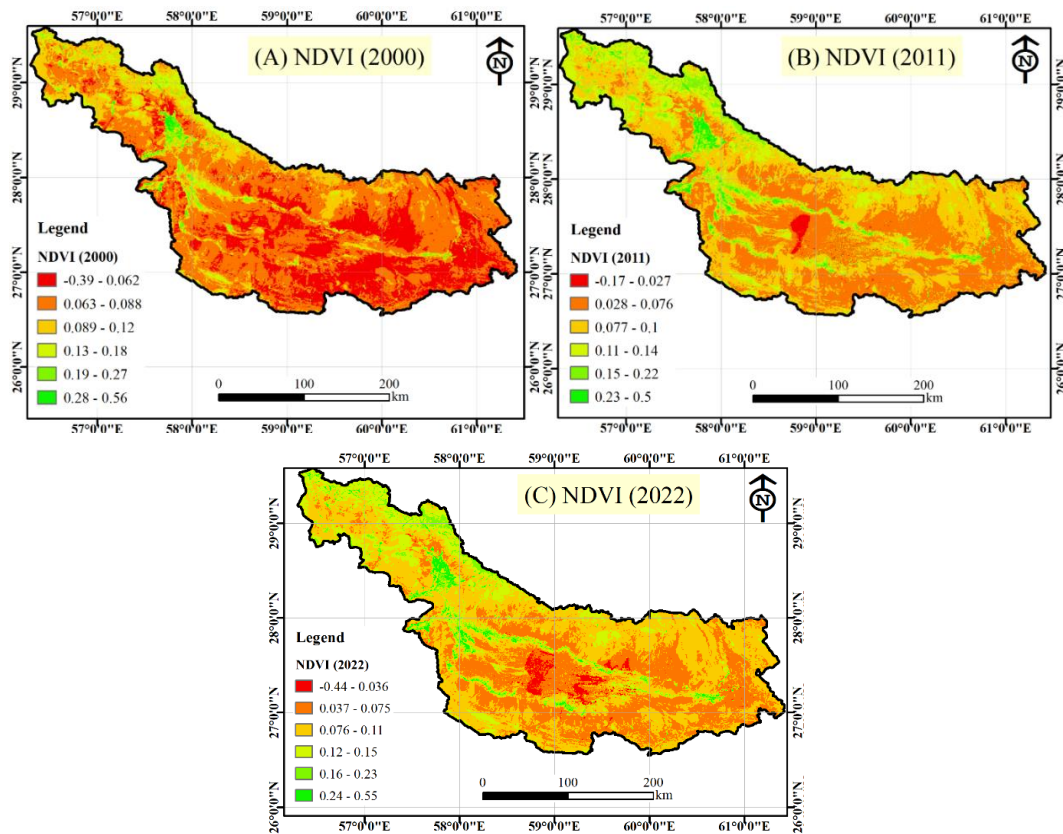
مقیاس	Sen's slope	p-value	نوع روند	سطح معنی‌داری
سالانه	۰/۰۰۰۹۱	۰/۰۰۰۰۳۷	افزایشی	
پاییز	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۰۰۱۴	افزایشی	
بهار	۰/۰۰۰۱۱	۰/۰۰۰۱۳	افزایشی	۹۵ درصد
تابستان	۰/۰۰۰۰۵۹	۰/۰۰۰۰۷۶	افزایشی	
زمستان	۰/۰۰۰۰۲۹	۰/۰۰۰۰۹	افزایشی	

مأخذ: یافته‌های پژوهش

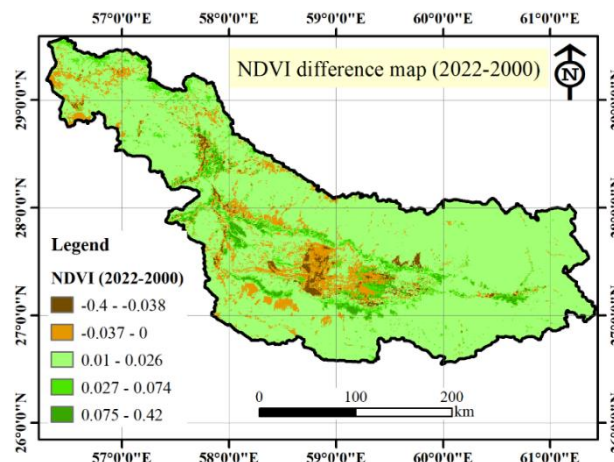
شکل (۵) نشان‌دهنده نقشه اختلاف مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی بین سال‌های ابتدا و انتهای دوره مورد بررسی است. با توجه به این نقشه، بیشترین قسمت‌هایی که کاهش میزان پوشش گیاهی داشته‌اند، در قسمت‌های مرکزی (اطراف شوره‌زار) و بخش‌های کوچکی در شمال غرب واقع شده‌اند، و بقیه دشت، افزایش میزان پوشش گیاهی و به تبع آن، افزایش شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی را نشان می‌دهند. در مجموع، ۶۸ درصد و ۳۲ درصد از مساحت حوضه هامون-جازموریان، به ترتیب، نشان‌دهنده افزایش و کاهش میزان شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ هستند. با توجه به مقایسه بصری بین شکل (۵) و نقشه کاربری اراضی (شکل ۱)، پس از بخش شوره‌زار که تغییرات قابل توجهی در کاهش پوشش گیاهی و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی را نشان می‌دهد، می‌توان گفت که بیشترین تغییرات مربوط به شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در اراضی مرتعی و کشاورزی رخ داده است. این نشان می‌دهد که بارش بر روی مراتع تأثیر بیشتری داشته و افزایش و کاهش سطوح کشت در اراضی کشاورزی نیز تأثیراتی روی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی داشته است.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

کسب اطلاعات در مورد میزان و پراکنش پوشش گیاهی از اهمیت زیادی برخوردار است و این مطالعه سعی دارد تغییرات درازمدت پوشش گیاهی را بررسی کند. داده‌های ماهواره‌ای ابزار مناسبی جهت بررسی اکوسیستم‌های خشک می‌باشد و با هزینه نسبتاً کم توانایی خوبی در بررسی و پایش مداوم پوشش گیاهی را میسر و امکان مقایسه واقعی آن را فراهم می‌آورد. پوشش گیاهی به عنوان نماینده سلامت محیط زیست، هم‌نمایانگر خصوصیات بیوفیزیکی مؤثر در رشد مانند آب کافی، خاک تخریب نشده و مغذی است و هم‌تأمین‌کننده سلامت حیات وحش و حفظ خاک در برابر فرسایش و جلوگیری از حمل رسوبات به حساب می‌آید. در نتیجه، بررسی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی می‌تواند به عنوان یکی از شاخص‌های مؤثر در سنجش وضعیت و تغییرات محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد.



شکل (۴): نقشه مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در حوضه هامون-جازموریان در دوره ابتدا ۲۰۰۰ (A)، میانه ۲۰۱۱ (B) و انتهای ۲۰۲۲ (C) مورد بررسی



شکل (۵): نقشه اختلاف شاخص NDVI بین سال‌های ابتدا (۲۰۰۰) و انتهای (۲۰۲۲) مورد بررسی در حوضه هامون-جازموریان

در این پژوهش، برای بررسی تغییرات زمانی-مکانی در حوضه هامون-جازموریان (مقیاس منطقه‌ای)، رویکرد تحلیل روند داده‌های سری زمانی سالانه، ماهانه و فصلی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی استخراج شده از سنجنده MODIS به کار گرفته شده است. بیشترین میزان پوشش گیاهی (شکل ۴)، مربوط به سال ۲۰۲۲ است و کمترین آن مربوط به سال ۲۰۰۰ است که می‌تواند نشان دهنده تغییرات پوشش طبیعی و همچنین تغییرات میزان کشت در زمین‌های کشاورزی باشد. در حوضه هامون-جازموریان پوشش گیاهی در طی دوره بیست و سه ساله مورد بررسی در منطقه دارای روند افزایشی بوده است (شکل ۲). این موضوع با بررسی دقیق‌تر نقشه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در سال‌های ابتدایی، میانی و انتهایی مشخص گردید. به منظور بررسی اینکه چه کاربری اراضی دارای بیشترین تغییرات پوشش گیاهی بوده است، نقشه شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی با نقشه کاربری اراضی (شکل ۱) مقایسه گردید. بررسی بصری نشان داد بیشترین تغییرات پوشش گیاهی مربوط به اراضی مرتعی گسترده و کشاورزی مناطق شمال غربی در حوضه می‌باشد. با توجه به همبستگی مثبت بین شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی و میزان بارندگی سالانه

و همچنین با توجه به روند افزایشی بارندگی این حوضه در طی سال‌های مورد بررسی، می‌توان گفت که دلیل احتمالی روند افزایشی شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی مربوط به تاثیر بارش بر تغییرات پوشش گیاهی می‌باشد. نتایج این بخش از مطالعه با مطالعه فیروزی و همکاران (۱۳۹۷) مبنی بر همبستگی مثبت بین بارش و افزایش شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در دشت سیستان و همچنین با مطالعه محمدی و همکاران (۱۳۹۸) در کویر مغان واقع در دشت اراک سازگار است. همچنین، نتایج این مطالعه با تحقیق Yan و همکاران (۲۰۲۳) درباره رابطه همبستگی مثبت قوی بین شاخص تفاضل نرمال پوشش گیاهی و میانگین بارندگی سالانه در منطقه Altay در چین هم خوانی دارد. قابل ذکر است عوامل دیگر اقلیمی و زیست‌جغرافیایی؛ مانند دما، تابش خورشید، توپوگرافی و ویژگی‌های خاک، نیز در فعالیتهای پوشش گیاهی نقش مهمی دارند (Soomro et al., 2021).

بر اساس نقشه اختلاف شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در سال‌های ابتدایی و انتهایی مورد بررسی (شکل ۵) روند کاهشی (مناطق با مقدار منفی در شکل) در اراضی اطراف شوره‌زار و قسمت‌هایی از اراضی مرعی مناطق مرکزی حوضه مشهود می‌باشد که لزوم توجه به جلوگیری از تخریب سرزمین در آنها را روشن می‌سازد. با اینکه میزان بارش در حوضه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ افزایش یافته است، اما مناطق مرکزی حوضه هامون-جازموریان از کم بارش‌ترین مناطق کویری ایران به شمار می‌آید (بارش سالانه کمتر از ۵۰ میلی‌متر) و به نظر می‌رسد کمبود بارش یکی از عوامل کاهش پوشش گیاهی در این منطقه است، با این حال تاکنون مطالعه‌ای در این زمینه در این حوضه انجام نشده است.

با توجه به این که نتایج آزمون ناپارامتری من-کندال بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ (بیست و سه سال) نشان داد که روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در دوره مورد بررسی با شیب بسیار کم دارای روند افزایشی می‌باشد (جدول ۲) و این روند در قسمت‌های شمال غرب حوضه که دارای بیشترین زمین‌های کشاورزی در این حوضه می‌باشند افزایشی است (شکل ۵)، لذا این موضوع لزوم اقدام فوری به منظور جلوگیری از افزایش سطح زیرکشت و جلوگیری از تخریب سرزمین را روشن می‌سازد. تغییرات روند شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در ارتباط با تغییر سطوح کشت و تغییر کاربری اراضی توسط Jafari and Bakhshandehmehr (۲۰۱۳) و Jafari and Hasheminasab (۲۰۱۷) در استان اصفهان نیز تاکید شده است. در پایان، با توجه به آزمون ناپارامتری من-کندال، مطالعه تحلیل روند پوشش گیاهی از طریق سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی سنجنده MODIS و مقایسه نقشه‌های این شاخص در سال‌های مورد بررسی با نقشه کاربری اراضی منطقه، در حوضه هامون-جازموریان مناسب تشخیص داده شده و بیانگر کارایی این رویکرد می‌باشد.

۵- پیشنهادات

برای تعیین موضوع مطالعات آینده، پیشنهاد می‌شود نقشه روند پوشش گیاهی با نقشه کاربری اراضی، پیکسل به پیکسل مقایسه شود. همچنین، برای بررسی رابطه بین خشکسالی و شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی، توصیه می‌شود کلاس‌های کاربری اراضی در نظر گرفته شده و تغییرات میزان شاخص تفاضل نرمال شده پوشش گیاهی در دوره‌های خشکسالی و ترسالی در هر کلاس کاربری اراضی به صورت دقیق مورد بررسی قرار گیرد. با توجه به عدم در نظر گرفتن خودهمبستگی بین پارامترها توسط آزمون ناپارامتری من-کندال، پیشنهاد می‌شود از روش‌های اصلاحی مانند مدل بلاک بوت‌استرپینگ، اتورگرسیو، میانگین متحرک و آریما بهره گرفته شود تا با در نظر گرفتن خودهمبستگی و وابستگی سری زمانی، نتایج بهتری به دست آید (Tian et al., 2013). با توجه به اینکه حوضه هامون-جازموریان یکی از حوضه‌های کلیدی کشور محسوب می‌شود، بروز خطراتی مانند خشکسالی و تخریب پوشش گیاهی در این حوضه، پتانسیل خطر تغییر کاربری اراضی و تخریب سرزمین را به شدت افزایش داده است. به همین دلیل، باید مدیریت و کنترل آن به عنوان یکی از موارد ضروری در نظر گرفته شود. در پایان، برای تحلیل روند پوشش گیاهی در تمامی مناطق کشور، به ویژه مناطقی که با خشکسالی مواجه هستند، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای توصیه‌ای است که به شدت توصیه می‌شود.

منابع

- بیگی، ح.، صادقیان، ک.، و خاندان‌داد، ح. (۱۴۰۱). بررسی مروری وضعیت منابع آب زیرزمینی حوضه هامون جازموریان. هفدهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران با محوریت آبخیزداری و امنیت پایدار غذایی. جیرفت، اسفند ۱۴۰۱.
- جهان‌شاهی، ا. (۱۳۹۸). پیش‌بینی جریان در حوضه‌های فاقد آمار با استفاده از روش‌های تعمیم‌دهی در حوضه هامون-جازموریان. رساله دکتری آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ۸۳ ص.
- جهان‌شاهی، ا.، شاهدی، ک.، سلیمانی، ک.، مقدم نیا، ع.، و مرتس، ر. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی جریان در حوضه‌های فاقد آمار با استفاده از روش‌های منطقه‌بندی در حوضه هامون-جازموریان. دانش آب و خاک، ۳۲(۲): ۱۷۷-۱۵۹.
- دستی گردی، م.، نادی، م.، رائینی سرجاز، م.، و کیاپاشا، خ. و. (۱۴۰۱). تحلیل روند پوشش گیاهی با استفاده از سری زمانی NDVI ماهواره مودیس در شمال شرق ایران. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۹(۱): ۱۵۰-۱۳۳.

- فیروزی، ف.، طاووسی، ت.، و محمودی، پ. (۱۳۹۷). بررسی رابطه آماری بین متغیرهای اقلیمی و پویایی پوشش گیاهی در یک اقلیم خشک (مطالعه موردی دشت سیستان در شرق ایران). مدیریت بیابان، ۱۱(۶)، ۹۹-۱۱۱.
- کاظم زاده، م.، ملکیان، آ.، و رسول زاده، ع. (۱۳۹۲). تحلیل روند جریان‌های رودخانه‌ای با استفاده از رویکردهای آماری پارامتری و ناپارامتری در استان اردبیل. پژوهش‌های دانش زمین، ۴(۳)، ۵۱-۶۳.
- مکرم، م.، مزین، م.، فرجی، م.، و موسوی، ک. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات پوشش گیاهی در فصول مختلف رویش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و ارتباط آن با تغییرات دما (منطقه مورد مطالعه: شمال شهرستان داراب). اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۲۹(۳)، ۲۰-۱.
- محمدی، ع.، قضاوی، ر.، میرزایی، ر.، و ناصری، ح. (۱۳۹۸). بررسی الگوی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و ارتباط آن با بارش. مرتع و آبخیزداری، ۷۲(۳)، ۸۴۳-۸۵۲.
- میراحسنی، م.، سلمان ماهینی، ع.، ر.، سفینیان، ع.، ر.، مدرس، ر.، جعفری، ر.، و محمدی، ج. (۱۳۹۶). ارزیابی شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی (VSWI) سری زمانی سنجنده مادیس در پایش خشکسالی حوضه آبخیز گاوخونی، بوم‌شناسی کاربردی، ۶(۴)، ۳۱-۴۷.
- هاشمی دره‌بادامی، س.، نورایی صفت، ا.، کریمی، س.، و نظری، س. (۱۳۹۴). تحلیل روند توسعه جزیره حرارتی شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/پوشش با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست. سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۳(۳)، ۲۸-۱۵.
- Abrams, M., Crippen, R., and Fujisada, H. (2020). ASTER global digital elevation model (GDEM) and ASTER global water body dataset (ASTWB). *Remote Sensing*, 12(7), 1156.
- Chu, H., Venevsky, S., Wu, C., and Wang, M. (2019). NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. *Science of the Total Environment*, 650, 2051-2062.
- Cui, Y. P., Liu, J. Y., Hu, Y. F., Kuang, W. H., and Xie, Z. L. (2012). An analysis of temporal evolution of NDVI in various vegetation-climate regions in Inner Mongolia, China. *Procedia Environmental Sciences*, 13, 1989-1996.
- Cui, L., Pang, B., Zhao, G., Ban, C., Ren, M., Peng, D., Zuo, D., and Zhu, Z. (2022). Assessing the sensitivity of vegetation cover to climate change in the yarlung zangbo river basin using machine learning algorithms. *Remote Sensing*, 14(7), 1556.
- Didan, K., Munoz, A. B., Solano, R. (2010). MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series). *Vegetation Index and Phenology Lab, The University of Arizona*, 1-38.
- Eckert, S., Hüslter, F., Liniger, H., and Hodel, E. (2015). Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 113, 16-28.
- Harris, A., Carr, A. S., and Dash, J. (2014). Remote sensing of vegetation cover dynamics and resilience across southern Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28(1), 131-139.
- Jafari, R., and Bakshshandehmehr, L. (2016). Quantitative mapping and assessment of environmentally sensitive areas to desertification in central Iran. *Land Degradation & Development*, 27(2), 108-119.
- Jafari, R., and Hasheminasab, S. (2017). Assessing the effects of dam building on land degradation in central Iran with Landsat LST and LULC time series. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189(2), 1-15.
- Jamali, S., Jönsson, P., Eklundh, L., Ardö, J., and Seaquist, J. (2015). Detecting changes in vegetation trends using time series segmentation. *Remote Sensing of Environment*, 156, 182-195.
- Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., and Brumby, S. P. (2021). Global land use/land cover with sentinel 2 and deep learning. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, July 2021, 4704-4707.
- Kendall, M. G. (1975). *Rank Correlation Measures*. London: Charles Griffin, 202p.
- Kennedy, R. E., Townsend, P. A., Gross, J. E., Cohen, W. B., Bolstad, P., Wang, Y. Q., and Adams, P. (2009). Remote sensing change detection tools for natural resource managers: Understanding concepts and tradeoffs in the design of landscape monitoring projects. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1382-1396.
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 13(3), 245-259.
- Modarres, R., and da Silva, V. D. P. R. (2007). Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 70(2), 344-355.
- Moges, S. (2014). Vegetation dynamics analysis using normalized differences vegetation index as indicator of restoration or degradation, in South Wollo Zone, Northern Ethiopia. Ph.D. Thesis, University of Addis Ababa, Addis Ababa.
- Nasri, M., and Modarres, R. (2009). Dry spell trend analysis of Isfahan Province, Iran. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 29(10), 1430-1438.
- Shutler, J. D., Smyth, T. J., Land, P. E., and Groom, S. B. (2005). A near-real time automatic MODIS data processing system. *International Journal of Remote Sensing*, 26(5), 1049-1055.
- Soomro, S. E. H., Hu, C., Jian, S., Wu, Q., Boota, M. W., and Aamir Soomro, M. H. A. (2021). Precipitation changes and their relationships with vegetation responses during 1982-2015 in Kunhar River basin, Pakistan. *Water Supply*, 21(7), 3657-3671.
- Tian, F., Wang, Y., Fensholt, R., Wang, K., Zhang, L., and Huang, Y. (2013). Mapping and evaluation of NDVI trends from synthetic time series obtained by blending Landsat and MODIS data around a coalfield on the Loess Plateau. *Remote Sensing*, 5(9), 4255-4279.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
- Wang, X., Zhu, Y., Chen, Y., Zheng, H., Liu, H., Huang, H., Liu, K., and Liu, L. (2017). Influences of forest on MODIS snow cover mapping and snow variations in the Amur River basin in Northeast Asia during 2000-2014. *Hydrological Processes*, 31(18), 3225-3241.
- Wessels, K. J., Van Den Bergh, F., and Scholes, R. J. (2012). Limits to detectability of land degradation by trend analysis of vegetation index data. *Remote sensing of Environment*, 125, 10-22.
- Yan, Y., Cheng, J., Li, Y., Fan, J., and Wu, H. (2023). Characteristics of NDVI Changes in the Altay Region from 1981 to 2018 and Their Relationship to Climatic Factors. *Land*, 12(3), 564.

Evaluation of the trend of long-term changes in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Hamon-Jazmurian Basin

Mahin Fouladi Doqozlou ^{*1}, Mohammadreza Sayadi ²



Research Article

1. M.Sc. in Range Management,
Department of Nature Engineering
Faculty of Agriculture and Natural
Resources, Ardakan University,
Ardakan, Iran.

m.fooladi.222p@gmail.com

* Corresponding author

2. M.Sc. in Range Management,
Faculty of Natural Resources, College
of Agriculture and Natural Resources,
University of Tehran, Karaj, Iran.

mohammadreza991376@gmail.com

Article Code: 2305-1039
Continous Pagnation: 307-318

Received: 23 May 2023
Accepted: 24 July 2023
Online: 18 July 2024
Review speed: 63 days

Citation:

Fouladi Doqozlou, M., and Sayadi, M. (2023). Evaluation of long-term trends in Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) time series changes in the Hamoun-Jazmourian river basin. *Management of Natural Ecosystems*, 2(4), 26-37.

Abstract

Investigating the trend of long-term changes of vegetation using time series data and based on land use can provide useful information. Since the Time series of Satellite images are one of the best sources available in this field Their use in environmental studies is effective. Statistical tests are essential for analyzing time series data, and one valid test is the non-parametric Mann-Kendall (MK) test. In this study, changes in NDVI index were investigated using MODIS image data in the Hamon-Jazmorian basin in the southeast of Iran. For this purpose, 524 images 16-day NDVI index of MODIS, were selected for the period from 2000 to 2022, and the vegetation in this basin was carefully analyzed. Then, trend of the change of this index during this 23-year period was investigated using the MK test. In the following, the pattern of changes of this index in the region was determined and the areas with vegetation changes were determined. The results showed that the northwestern and central areas of the basin, where vegetation has a higher density, underwent the most changes, with vegetation decreasing and increasing. Comparing the NDVI index difference map between the beginning and end of the investigated years with the land use map showed widespread risk in the Hamoon-Jazmourian basin. The results of this research can be used to investigate the long-term vegetation changes in different areas of the Hamoon-Jazmourian basin and to adopt appropriate policies and planning for the use of vegetation.

Key Words:

Hamon-Jazmourian basin, normalized difference vegetation index (NDVI), MODIS.