

## ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سری زمانی و آزمون من - کندال در حوضه آبخیز گاوخونی

مرضیه سادات میراحسنی<sup>۱</sup>، عبدالرسول سلمان ماهینی<sup>۲\*</sup>، علیرضا سفیانیان<sup>۳</sup>، جهانگیر محمدی<sup>۴</sup>، رضا مدرس<sup>۵</sup>، رضا جعفری<sup>۶</sup>، سعید پورمنافی<sup>۷</sup>

۱. دانش‌آموخته دکترای ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده محیط‌زیست و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان  
mmirahsani@gmail.com

۲. استاد، گروه محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست و شیلات، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۳. دانشیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
soffianian@cc.iut.ac.ir

۴. استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

Mohamadi.jahangir@gmail.com

۵. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
modarres2005@gmail.com

۶. دانشیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
reza.jafari@cc.iut.ac.ir

۷. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان  
spourmanafi@cc.iut.ac.ir

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۳۰

### چکیده

بررسی روند تغییرات تراکم و سلامت پوشش گیاهی به کمک داده‌های سری‌زمانی و بر اساس کاربری/پوشش اراضی می‌تواند اطلاعات مفیدی ارائه دهد. از آنجاکه تصاویر ماهواره‌ای یکی از بهترین تصاویر سری‌زمانی هستند، به‌کارگیری آن‌ها در مطالعات محیط‌شناسی ثمربخش است. در تعیین روند و تحلیل داده‌های سری‌زمانی، استفاده از آزمون‌های آماری ضروری است، آزمون من-کندال یکی از این آزمون‌های غیرپارامتری معتبر است. در این پژوهش، روند نوسانات پوشش گیاهی و پراکندگی مکانی آن‌ها در حوضه آبخیز گاوخونی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ ارزیابی شد. در این راستا، ۱۴۴ تصویر سری‌زمانی ماهانه شاخص NDVI سنجنده MODIS در پایش منطقه‌ای پوشش گیاهی بکار رفت و روند تغییرات آن‌ها با استفاده از آزمون من-کندال تعیین گردید. در ادامه، الگوی روند تغییرات پوشش گیاهی شامل افزایشی، کاهش و بدون تغییر در حوضه با استفاده از آزمون مذکور تعیین و پراکندگی مکانی آن‌ها ارائه شد. نتایج پژوهش نشان داد، 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 کاهش روبه‌رو هستند. همچنین، زمین‌های شور و لخت در حوضه افزایش و زمین‌های کشاورزی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. مقایسه نقشه روند حاصل با نقشه کاربری/پوشش منطقه نشان‌دهنده خطر وسیع در حوضه آبخیز گاوخونی است.

### کلیدواژه

آزمون من-کندال، پایش پوشش گیاهی، تحلیل روند، کاربری/پوشش زمین، گاوخونی.

## ۱. سرآغاز

تغییر در سلامت و تراکم پوشش گیاهی ناشی از تغییرات اقلیمی و یا کاربری/پوشش اراضی می‌تواند تأثیرات چشمگیری بر اکوسیستم‌های جهان به‌ویژه اکوسیستم‌های شکننده خشک و نیمه‌خشک داشته باشد. روند این تغییرات طی زمان با استفاده از داده‌های سری زمانی دراز مدت پوشش گیاهی به کمک آزمون‌های آماری و پراکنندگی مکانی آن به کمک سنجش از دور قابل بررسی و ارزیابی است. پوشش مکانی و در دسترس بودن داده‌های سری زمانی، سامانه‌های سنجش از دور را به ابزاری ایدئال برای در نظر گرفتن پویایی‌های گیاهی با مقیاس گسترده تبدیل کرده است (Harris et al., 2014). نقش تعیین کننده سنجش از دور در ارزیابی و پایش پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌ها است. در این میان، محصولات شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال (NDVI) سنجنده MODIS وظیفه مهمی در پایش و ارزیابی پوشش گیاهی داشته و به طور مؤثری وضعیت و فرایندهای بیوفیزیکی/بیوشیمیایی سطوح گیاهی را توصیف می‌کند. تصاویر سری زمانی سنجنده مادیس، سری‌های زمانی جهانی کامل VI 6 سنجنده‌های Terra و Aqua، با دارا بودن اطلاعات طیفی 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 هستند (تارنمای ناسا).

به بیان Tucker (۱۹۷۹) شاخص ماهواره‌ای NDVI در پایش گیاهان بسیار مفید است. شاخص ماهواره‌ای NDVI، می‌تواند تغییرات سطح پوشش گیاهی را به دلیل همبستگی قوی بین پوشش گیاهی و شاخص مذکور اندازه‌گیری کند (Zhang et al., 2004). شاخص NDVI، که از نسبت ترکیبی باندهای مادون قرمز و قرمز اندازه‌گیری می‌شود، به‌عنوان شاخصی کارا در شناسایی ظرفیت فتوسنتز و بررسی تغییرات محیط زیستی و بوم‌شناسی استفاده می‌شود.

از دیدگاه Lanfredi و همکاران (۲۰۱۵)، شاخص NDVI برای شناسایی تنش پوشش گیاهی نیز قابل اعتماد است، زیرا در نتیجه تخریب پوشش گیاهی در سرزمین، ویژگی‌های پوشش گیاهی، مانند سلامت، تراکم و نظیر آن تغییر عمده می‌یابد. شاخص NDVI می‌تواند معیاری عمومی برای بیان شرایط پوشش گیاهی بوده و سلامت گیاهان را تشخیص دهد. زیرا در اثر تخریب گیاه در اکوسیستم، مقدار NDVI نیز با کاهش سبزیگی کاهش می‌یابد (Shewangzaw, 2014).

سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای مناسب‌ترین داده‌ها را برای تحلیل روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی مهیا می‌کند (هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۴؛ میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۶)، استفاده از سری تصاویر زمانی ماهواره‌ای راهی مناسب برای یافتن روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی و پیش‌بینی برای آینده است. منظور از یک سری زمانی، مجموعه‌ای از داده‌های آماری است که در فواصل زمانی مساوی و منظمی جمع‌آوری شده باشند. به عبارتی، به متغیری که در دوره‌های زمانی گذشته موجود است و قرار است پیش‌بینی شود، اصطلاحاً سری زمانی می‌گویند (هاشمی دره بادامی و همکاران، ۱۳۹۴). روش‌های آماری تحلیل سری زمانی شامل تحلیل روند، تحلیل تغییرات فصلی، دوره‌ای و نامنظم است. تحلیل روند عبارت است از تغییرات دراز مدت در میانگین سری زمانی یا سیر طبیعی سری زمانی در دراز مدت که در این صورت افت و خیزهای سری زمانی را نادیده گرفته، به نمای کلی آن توجه می‌کند. تعیین روند (افزایش، کاهش و بدون تغییر) تخریب پوشش گیاهی می‌تواند یکی از راهکارهای کمک به مدیریت پایش پوشش گیاهی باشد. روش‌های متفاوتی برای تعیین روند وجود دارند که به دو دسته روش پارامتری و غیرپارامتری تقسیم می‌شوند. همان‌طور که اشاره شد، می‌توان روند تغییرات طیف پیکسل‌های پوشش گیاهی را برای شناسایی مناطق مستعد به تغییرات سریع، به کمک سنجش از دور تعیین کرد. این

شهری در رابطه با تغییر کاربری اراضی/پوشش شهر رشت را با استفاده از سری زمانی تصاویر لندست و آزمون من-کندال تحلیل کردند. Tian و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای نقشه‌ی روندهای NDVI سری زمانی ۱۲ سال پوشش گیاهی داده‌های NDVI مفقوده سری زمانی تصاویر لندست را با استفاده از تحلیل‌های روند من-کندال تصاویر محصولات NDVI مادیس تهیه و صحت آن را ارزیابی کردند. آنان معناداری روند سری‌های زمانی NDVI را با آزمون من-کندال (SMK) فصلی آزمایش کردند. سپس، روند NDVI را پس از انتگرال فصلی در هر پیکسل محاسبه و با استفاده از آزمون TS شیب رگرسیون روند را برآورد کردند. برای محاسبه اهمیت روند، از آزمون من کندال (MK) استفاده کردند.

Jamali و همکاران (۲۰۱۵)، تغییرات در روند پوشش گیاهی را با استفاده از تقسیم‌بندی سری زمانی تشخیص دادند. آنان نرم‌افزار DBEST را برای تحلیل سری زمانی پوشش گیاهی، با دو دامنه اصلی روند پوشش گیاهی به ویژگی‌های اصلی، و مشخص کردن تغییرات روند پوشش گیاهی پیشنهاد دادند. این نرم‌افزار توسط آنان با استفاده از داده‌های سری زمانی NDVI طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ در دو ایستگاه در کشور عراق آزموده شد. نتایج نشان داد که نرم‌افزار تغییرات ناگهانی و آرام و نیز دقت زمان و میزان تغییر را برآورد می‌کند. به عقیده آنان نرم‌افزار DBEST برای تشخیص روند سریع، دقیق و انعطاف‌پذیر است و برای مطالعات تغییرات جهانی با استفاده از سری زمانی داده‌های سنجش از دور قابل استفاده است. Ronald-Eastman و همکاران (۲۰۰۹)، روشی پارامتری برای تحلیل روندهای فصلی در سری‌های زمانی تصویرگر مشاهده زمین معرفی کردند. آنان تحلیل روند فصلی<sup>۳</sup> (STA) بر اساس تحلیل غیرپارامتری رگرسیون هم‌آهنگ<sup>۴</sup> تیل-سن (Theil, 1968; Sen, 1968) هر سال در سری‌ها را برای استخراج هارمونی‌های سالانه و نیمه-سالانه پوشش گیاهی تحلیل کردند. این پروژه‌ها با استفاده

رویکرد از طریق پایش تغییرات شرایط بوم‌شناسی به بهبود قابلیت‌های حفاظتی و نیز ارزیابی سودمندی مدیریت می‌انجامد، بدون آنکه مزاحمت بیشتری (با استفاده از نمونه‌برداری میدانی) بر سرزمین وارد شود (Lu, et al., 2004; Wessels, et al., 2012; Singh, 1989).

Ronald Eastman و همکاران (۲۰۰۹)، روشی پارامتری برای تحلیل روندهای فصلی در سری‌های زمانی معرفی کردند. آنان فرایند روند فصلی (STA) بر اساس تحلیل هم‌آهنگ هر سال در سری‌ها را برای استخراج هارمونی‌های سالانه و نیمه-سالانه تحلیل کردند. Fensholt و (۲۰۱۲)، صحت مشاهدات زمینی بر اساس روندهای بلند مدت جهانی پوشش گیاهی تصاویر NDVI محصولات ماهواره مادیس را با استفاده از تحلیل روند رگرسیون خطی ارزیابی کردند. Eckert و همکاران (۲۰۱۵)، از تصاویر سری زمانی مادیس شاخص NDVI برای تعیین روند پوشش گیاهی، بازیابی یا تخریب آن در مغولستان استفاده کردند. به بیان Wessels و همکاران (۲۰۱۲)، از آنجاکه تغییرات پوشش گیاهی طی زمان پویا و توزیع آن تصادفی<sup>۱</sup> است، از این رو، استفاده از روش‌های پارامتری برای مشخص کردن روند دقیق نخواهد بود. همچنین، آزمون من-کندال<sup>۲</sup> (Mann-Kendall) (Mann, 1945; Kendall, 1975) که یکی از روش‌های غیر پارامتری بوده و نیاز به فرض نرمال بودن داده‌ها ندارد (Boschetti et al., 2013)، در این پژوهش بهره گرفته شد.

آزمون من-کندال قدرت و جهت رابطه بین متغیرها را تعیین می‌کند. Silva و Modarres (۲۰۰۷)، برای تحلیل روند بارندگی ایران از روش غیر پارامتری من-کندال (M-K) استفاده کردند Nasri و Modarres (۲۰۰۹)، برای تحلیل روند خشکی استان اصفهان از این روش بهره گرفتند. Beurs و Henebry (۲۰۰۵)، آزمون من کندال را برای جمع‌آوری داده‌های NDVI مفقوده سری زمانی ماهواره AVHRR در کشور قزاقستان با موفقیت به کار بردند. هاشمی دره بادامی (۱۳۹۴)، روند توسعه جزیره حرارتی

از تصاویر سری زمانی مادیس شاخص NDVI برای تعیین روند پوشش گیاهی به بازاریابی یا تخریب در مغولستان استفاده کردند. Mishr و همکاران (۲۰۱۵) برای تشخیص معناداری روند زمانی متریک های کلیدی سبز بودن، از تصاویر سری زمانی MODIS NDVI طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ و آزمون روند من-کندال متنی<sup>۵</sup> استفاده کردند. این متریک‌ها شامل سبز بودن کلی، اوج و زمان اوج سالانه سبز بودن و بررسی چگونگی تغییرات فضایی در مورفولوژی پوشش گیاهی و کاربری زمین تحت تأثیر توزیع این پارامترهای سبز بودن هستند. آنان برای تحلیل پویایی‌های بارندگی، روش تشخیص روند غیرپارامتری شیب متوسط تیل-سن (TS) را استفاده، و معناداری روند را با استفاده از آزمون معناداری من-کندال ارزیابی کردند. Wang و همکاران (۲۰۱۷)، برای پیش روندهای بیابانی اتولین در چین از تصاویر سری زمانی MODIS-NDVI طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ پرداختند. آنان از روش آزمون‌های آماری برآوردکننده شیب سن و من-کندال برای تحلیل روندهای مکانی استفاده کردند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که اقدامات کنترل بیابان‌زایی و شرایط اقلیمی نقش کلیدی در روند بیابان‌زدایی دارد؛ و تغییر کاربری اراضی و فشار دام‌ها به توسعه بیابان‌زایی انجامیده است. در مبحث تحلیل روند اقلیمی، بابایی و همکاران (۱۳۹۳)، در مطالعه‌ای به تحلیل فضایی-زمانی رخداد گردوغبار در غرب ایران پرداختند. برای بررسی رفتار مکانی گردوغبار از ابزار تحلیل روند و برای بررسی رفتار زمانی آن از روش آماری من کندال به علت ناپارامتری بودن داده‌های فراوانی گردوغبار استفاده کردند.

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز گاوخونی، یکی از حوضه‌ها با نقش‌های حیاتی در کشور است که در سال‌های اخیر با خشکسالی مواجه شده است (میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۶). مطالعه جعفری و بخش‌نامه مهر (۲۰۱۶) Jafari و Bakhshandehmehr (۲۰۱۶) در استان اصفهان نشان داده است که استان اصفهان با مساحت ۱۰۷/۰۴۵

از نرم‌افزار Idrisi 16 انجام گرفت. به بیان آنان، در دسترس بودن ابزاری قوی برای تحلیل روند فصلی برای پیش بوم‌شناسی بسیار مهم است. به علاوه، روند فصلی نشانه‌های مهمی از ماهیت تغییرات اقلیمی محلی و منطقه‌ای ارائه می‌دهد. Huber و همکاران (۲۰۱۱)، در دسترس بودن آب (رطوبت خاک یا بارندگی) را به عنوان محرک پویایی گیاهان، با استفاده از شاخص NDVI و معناداری آزمون من-کندال برای ساحل آفریقا بررسی کردند.

Cui و همکاران (۲۰۱۲)، آزمون غیر پارامتری من-کندال را برای تحلیل تغییرات پوشش گیاهی در مناطق مختلف رویشی-اقلیمی مغولستان طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ با استفاده از تصاویر سری زمانی NOAA-AVHRR NDVI به کار بردند. نتایج مطالعه آنان نشان داد که نواحی اقلیمی با پوشش گیاهی متفاوت، روند تغییر پوشش گیاهی متفاوتی نشان می‌دهد. همچنین، تحت تأثیر تغییرات اقلیمی، حساسیت پوشش گیاهی قابل توجه بوده و برخی از گیاهان در مناطق مختلف توانایی‌های سازگاری دارند. Boschetti و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه شناسایی نقاط داغ ناهنجاری محیطی در غرب آفریقا برای تحلیل روند و شناسایی معناداری متغیرهای سری زمانی NDVI و بارندگی از آزمون من-کندال استفاده کردند. Tian و همکاران (۲۰۱۳)، در مطالعه‌ای نقشه روندهای NDVI سری زمانی ۱۲ سال پوشش گیاهی داده‌های لندست و MODIS را با استفاده از تحلیل‌های روند به دست آوردند. آنان همچنین، ارزیابی دقت داده‌های NDVI مفقوده سری زمانی تصاویر لندست را با تصاویر تهیه شده محصولات NDVI سنجنده مادیس با استفاده از تحلیل من-کندال بررسی کردند و معناداری روند سری‌های زمانی NDVI را با آزمون من-کندال (SMK) فصلی آزمودند. سپس، روند NDVI را پس از انتگرال NDVI فصلی در هر پیکسل (n=11) محاسبه کردند. در ادامه، با استفاده از آزمون TS شیب رگرسیون روند را برآورد و با استفاده از آزمون من کندال (MK) اهمیت روند را محاسبه کردند. Eckert و همکاران (۲۰۱۵)،

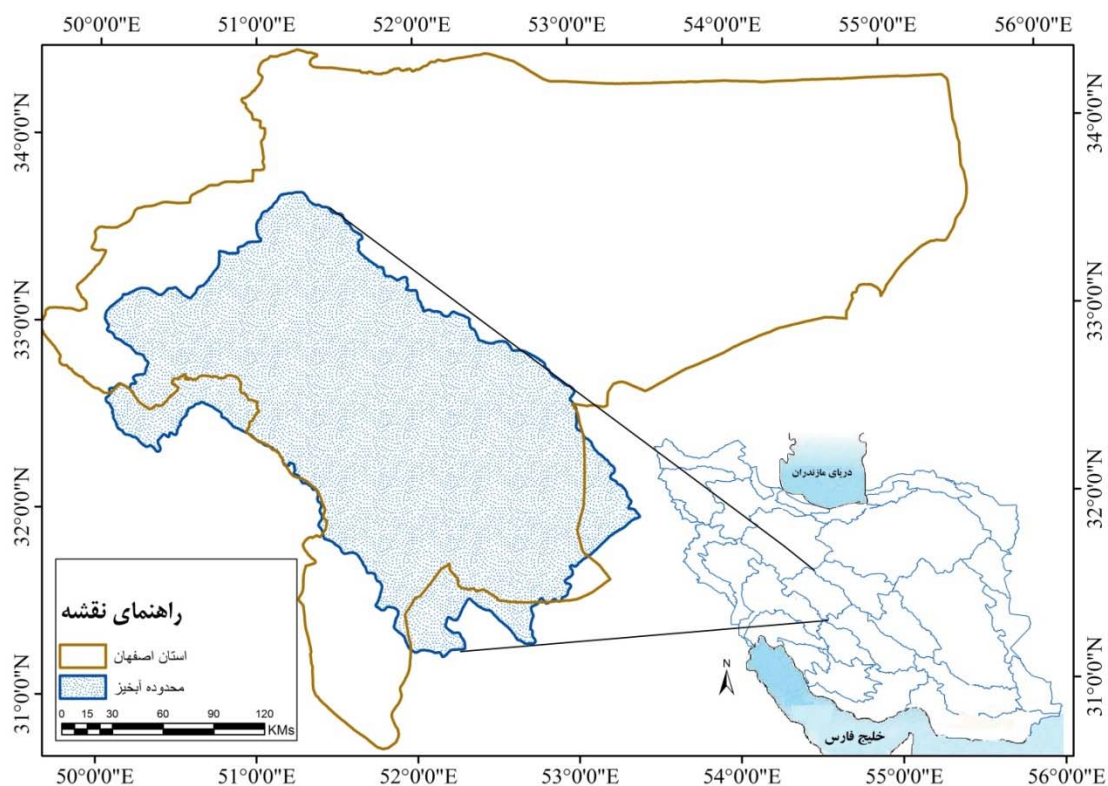
صنعتی است. هدف عمده پژوهش حاضر بررسی نوسانات تغییرات درازمدت میانگین سالانه پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سری زمانی ماهانه شاخص NDVI مشتق از سنجنده مادیس و تعیین روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از آزمون روند من-کندال بین سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۱۴ در حوضه آبخیز گاوخونی است.

## ۲. مواد و روش بررسی

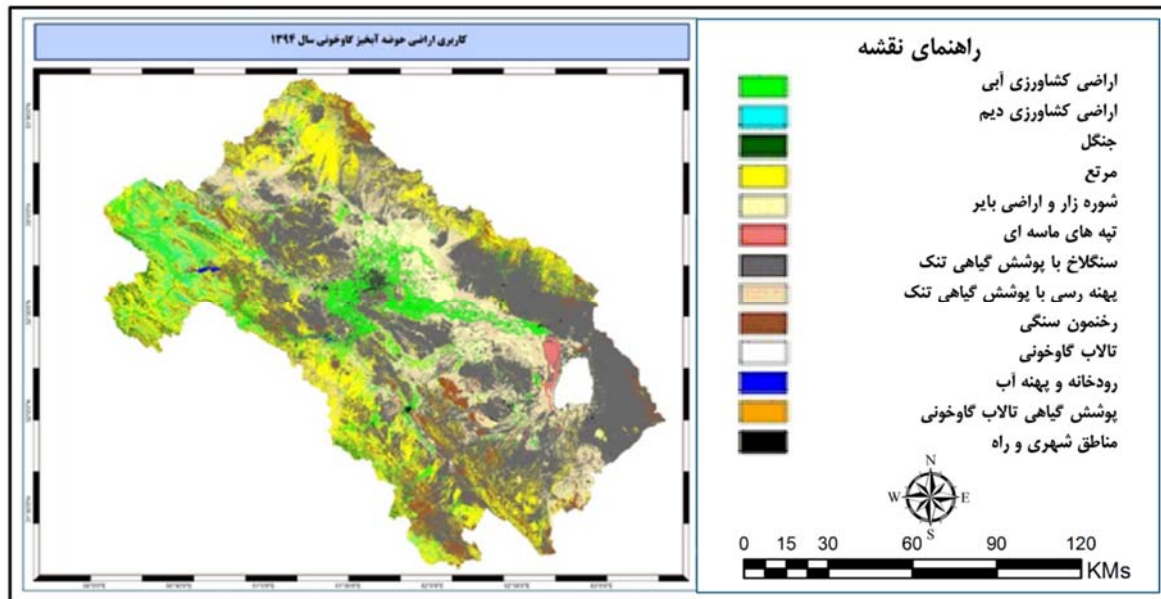
### ۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه حوضه آبخیز گاوخونی است، که حوضه آبخیز زاینده‌رود را نیز در خود دارد. اقلیم آن خشک و نیمه‌خشک و مساحت آن حدود ۴۱۳۴۷ کیلومتر مربع در فلات مرکزی بین طول جغرافیایی  $24^{\circ} 50'$  تا  $25^{\circ} 53'$  و عرض جغرافیایی  $31^{\circ} 11'$  تا  $32^{\circ} 41'$  واقع است (شکل ۱).

کیلومتر مربع، بسیار به بیابان‌زایی حساس است و بیش از ۹۱ درصد از منطقه تحت تأثیر قرار گرفته است. سرزمین‌های حاشیه‌ای تالاب بین‌المللی گاوخونی با وضعیت بحرانی بیابان‌زایی طبقه‌بندی شده است و می‌تواند در آینده نزدیک یک منبع گردوغبار مهم در مقیاس‌های منطقه‌ای، ملی و بین‌المللی باشد. ایشان، نشان دادند که اراضی خشک و شور در شرق استان اصفهان از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۴ بیش از ۵۷۳۰۲ هکتار افزایش یافته است، در حالی که اراضی کشاورزی در منطقه ۲۸۲۷۵/۵۸ هکتار کاهش یافته است. همچنین مطالعه Jafari و Hashemi-nasab (۲۰۱۷)، نشان می‌دهد که زمین‌های شور و لیخت در محدوده تالاب گاوخونی افزایش و زمین‌های کشاورزی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است. به عقیده آنان، علت اصلی کاهش زمین‌های کشاورزی عمدتاً خشک شدن رودخانه زاینده‌رود به دلیل ساخت سد و تخصیص آب عمدتاً برای بخش‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان اصفهان و کشور



ادامه شکل ۱. نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز گاوخونی در سال ۱۳۹۴

میزان بارش در ماه‌های سرد و زمستان حادث می‌شود و فقط در بعضی مواقع در اثر بارش کافی، رواناب مهمی در دشت‌های رسوبی ایجاد می‌شود. این درحالی است که تبخیر و تعرق پتانسیل ۱۵۰۰ میلی‌متر گزارش شده است. پوشش گیاهی منطقه با توجه به نقشه کاربری اراضی و پوشش شکل ۱ غالباً شامل باغات، اراضی کشاورزی آبی و دییم، جنگل‌ها، مراتع، سنگلاخ با پوشش گیاهی تنک، پهنه رسی با پوشش گیاهی تنک و پوشش گیاهی تالاب گاوخونی بوده و دوره رشد یا رویشی در حوضه آبخیز گاوخونی از ماه آوریل تا اکتبر است (میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۶). زاینده‌رود بعد از طی مسیر حدود ۳۵۰ کیلومتر به تالاب گاوخونی می‌ریزد. بخش زیادی از این تالاب که طبق کنوانسیون رامسر یکی از تالاب‌های مهم ایران به شمار می‌رود، به دلایل مختلف خشک شده است. تالاب گاوخونی نقش حیاتی در تضمین توسعه پایدار ساکنان بخش مرکزی ایران دارد. از سوی دیگر، از نقطه نظر حفاظت، این تالاب به‌عنوان یکی از اکوسیستم‌های ارزشمند در مرکز ایران محسوب می‌شود (Sarhadi & Soltani, 2013). پوشش گیاهی در اطراف تالاب بسیار محدود و عمدتاً محدود به گونه‌های هالوفیت است

شیب عمومی از سمت غرب به شرق کاهنده است و هر چه به قسمت‌های شرقی آن نزدیک می‌شویم، از ارتفاع زمین کاسته می‌شود تا جایی که مرز شرقی حوضه، در نزدیکی دشت‌های کویری قرار دارد. متوسط ارتفاع زمین از سطح دریاهاى آزاد در این حوضه بین ۲۵۰۰ متر در غرب و ۱۰۰۰ متر در شرق متفاوت است. جریان رودخانه زاینده‌رود در امتداد تقریبی غرب به شرق بوده و از کوه‌های زاگرس در غرب استان اصفهان سرچشمه می‌گیرد و به تالاب گاوخونی در شرق می‌رسد. این رودخانه آب آبیاری، شرب و صنایع مهم کشور را تأمین می‌کند. اقلیم بیشتر حوضه خشک و نیمه‌خشک است. متوسط درجه حرارت ماهانه از ۳ درجه سانتی‌گراد در ژانویه تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد در جولای متغیر است. رشته‌کوه‌های مرتفع زاگرس در غرب و مناطق پست بیابانی در شرق تغییرات مکانی شدید بارش سالانه را از بیش از ۷۰۰ تا ۱۵۰۰ میلی‌متر (غالباً به شکل ذوب برف) در بهار تا کمتر از ۸۰ میلی‌متر به دنبال داشته است (خشوعی و همکاران، ۱۳۹۵). میزان بارش از سالی به سال دیگر تفاوت دارد و خشکسالی‌های مکرر شناخته شده است. میانگین بارش در حوضه ۲۰۹/۵ میلی‌متر است (خداقلی، ۱۳۸۴). از این

(میراحسنی و همکاران، ۱۳۹۶) از تصاویر سری زمانی ماهانه NDVI سنجنده مادیس از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ (۱۴۴ تصویر)، جداسازی و برای تعیین روند تغییرات پوشش گیاهی استفاده شد. شاخص NDVI (Tucker, 1979) که معروفترین شاخص پوشش گیاهی ماهواره‌ای است با توجه به رابطه (۲) به دست می‌آید:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad (1)$$

که در معادله مذکور NIR باند مادون قرمز نزدیک و R باند قرمز است.

### ۳.۲. بررسی روند تخریب پوشش گیاهی با استفاده از آزمون من کندال

آزمون من-کندال (Mann-Kendall) نخست توسط Mann (۱۹۴۵) بر اساس معنادار بودن ضریب همبستگی تاوکندال ( $\tau$ ) ارائه و سپس توسط Kendall (۱۹۷۵) توسعه یافت. این آزمون یکی از آزمون‌های مهم برای یافتن روند سری‌های زمانی محسوب می‌شود. از مزایای این روش اثرپذیری کم از مقادیر حدی است (کاظم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲). ضریب همبستگی، میزان ارتباط بین دو سری از متغیرها را اندازه‌گیری می‌کند تا مشخص شود که آیا متغیر اول با افزایش متغیر دوم افزایش یا کاهش می‌یابد یا اینکه الگوهای تغییر آن‌ها در ارتباط با هم نیست. این روش به صورت گسترده‌ای برای روندیابی سری‌های زمانی به کار برده می‌شود (متغیر  $x$  به مانند زمان برای آزمون روند است) (Modarres & da Silva, 2007). به طور کلی، برای تعیین روندهای یکنواخت داده‌های با توزیع غیرنرمال بر اساس رتبه‌بندی از آزمون آماری من کندال استفاده می‌شود. با توجه به این که آزمون من کندال علاوه بر وجود روند، نوع روند به وقوع پیوسته را نیز مشخص می‌کند، در این مدل نیازی به وارد کردن داده‌های نرمال نیست. با این حال در این پژوهش نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف-سمیرنوف بررسی و تأیید شد. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری

(Toomanian et al., 2004). علاوه بر این، درباره تپه‌های ماسه‌ای که در اطراف تالاب واقع شده‌اند، اکوسیستم تالاب گاوخونی در جلوگیری از گردوغبار، تأمین آب تصفیه آب و حفظ ثبات آن‌ها نقش چشمگیری ایفا می‌کند. شایان ذکر است که اخیراً خشک‌سالی‌های مکرر مشکلات آلودگی و محیط‌زیست را افزایش داده و به عواقب ناگوار در تالاب گاوخونی منجر شده است، خشکی تالاب می‌تواند این اکوسیستم طبیعی را به یک نمکزار تبدیل کند (Sarhadi & Soltani, 2013).

### ۲.۲. داده‌ها

تصاویر MODIS به‌عنوان سنجنده اصلی در برنامه سامانه مشاهده‌گر زمینی (EOS) شناخته می‌شود که برای پایش زمین استفاده می‌شود. به بیان Kennedy و همکاران (۲۰۰۹)، مزیت استفاده از تصاویر MODIS، توانایی آن‌ها در تولید تصاویر ترکیبی بدون ابر است که شرایط قابل اعتماد اخذ تصویر در فصول مختلف را مهیا می‌کند. علاوه بر این، مفید بودن این سنجنده در جمع‌آوری داده‌های وسیع برای آشکار سازی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق بسیار وسیع، و همچنین عوارض با طیف گسترده است. این توانایی در ثبت تغییرات آهسته‌ای که احتمالاً در سطح پوشش گیاهی رخ می‌دهد بسیار کارا است. داده‌های ترکیبی MODIS تصاویر سری زمانی با فاصله زمانی ۱ ماهه نیز موجود است که از سال ۲۰۰۰ تاکنون در دسترس هستند. سنجنده MODIS به‌عنوان سنجنده‌ای مقرون‌به‌صرفه با پوشش جهانی حداقل یک‌بار در روز؛ به تغییرات گیاهان حساس است. مشخص است که محصولات سنجنده مادیس دقیق و چند منظوره با توانایی پایش شرایط جهانی پوشش گیاهی است. بر این اساس، تصاویر ماهانه NDVI MODIS از مجموعه MOD13A3، با اندازه سلولی ۱ کیلومتر  $\times$  ۱ کیلومتر (Solano et al., 2010) از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ برای منطقه مطالعاتی از سایت ناسا اخذ شد (۱۴۴ تصویر). محدوده مطالعاتی حوضه آبخیز گاوخونی

دارند و  $q$  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:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & , S > 0 \\ 0 & , S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(s)}} & , S < 0 \end{cases} \quad (7)$$

در آزمون مذکور برای روند یابی سری داده‌ها، مقادیر مثبت  $Z_{MK}$  نشان‌دهنده روندهای افزایشی یا روند صعودی در سری داده‌ها و مقادیر منفی  $Z_{MK}$  نشان‌دهنده روندهای کاهش‌ی یا نزولی است. روندهای افزایشی و کاهش‌ی 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 با شد، پذیرفتن فرض صفر به تصادفی بودن و عدم وجود روند دلالت دارد (Modarres & Silva, 2007; Nasri & Modarres, 2009). در این مطالعه به دلیل تعداد مشاهدات یا  $n$  برابر ۱۴۴ از رابطه (۶) استفاده شد. همچنین سطوح معناداری  $p=0.01$  و  $p=0.05$  به کار رفت.

### ۳. نتایج

در این پژوهش قبل از بررسی تعیین وجود و نوع روند پوشش گیاهی در حوضه آبخیز گاوخونی، در گام نخست الگوهای تغییرات و نوسانات پوشش گیاهی در زمان و مکان با استفاده از شاخص ماهانه NDVI سنجنده مادیس طی دوره مطالعه یعنی از ژانویه ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۴ بررسی شدند. بدین منظور، تصاویر خام حاصل از سایت ناسا بررسی و تحلیل شدند. به طوری که، ۱۴۴ تصویر سری زمانی ماهانه پوشش گیاهی شاخص NDVI حاصل از سنجنده مادیس، اخذ شده از سایت ناسا می‌بایست به

داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک و رد فرض صفر دال بر وجود روند در سری داده‌ها است. مراحل محاسبه آزمون آماری من کندال بر اساس آماره  $S$  به صورت زیر است:

الف) محاسبه اختلاف بین تک تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت sign function و استخراج پارامتر  $S$  به شرح رابطه ۲:

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

در رابطه (۲) نماد  $n$  تعداد مشاهدات سری‌های زمانی و  $x_j, x_i$  به ترتیب داده‌های  $i$  ام و  $j$  ام سری است. به طوری که،  
 $\text{sgn}(X_i - X_j) = 0$  برای  $(x_i - x_j) = 0$  و برابر ۰ برای  $(x_i - x_j) > 0$  برابر ۱+؛ برای  $(x_i - x_j) < 0$  برابر ۱-

است (Modarres & Silva, 2007; Nasri & Modarres, 2009).

$$\text{sgn}(X_i - X_j) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_i - x_j) < 0 \\ 0 & \text{if } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_i - x_j) > 0 \end{cases} \quad (3)$$

ب) میانگین  $E[S]$  آماره  $S$  به صورت زیر به دست می‌آید:

$$E[S] = 0 \quad (4)$$

ج) واریانس  $V[S]$  بر اساس یکی از روابط (۵) و (۶) و بر اساس تعداد  $n$  یا مشاهدات سری‌ها محاسبه می‌شود. اگر  $n$  کوچک‌تر از ۱۰ باشد:

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

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

$$\text{Var}[S] = (n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5))/18, \quad (6)$$

که در آن  $tp$  تعداد گره‌ها برای ارزش  $p$  ام که داده مشابه



نشان می‌دهد که میزان پوشش گیاهی در سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۶ حداکثر بوده و در سال ۲۰۱۴ کاهش محسوس پیدا کرده است.

با استفاده از مقادیر جدول ۱، نمودار سری زمانی تغییرات پوشش گیاهی تصاویر میانگین ماهانه شاخص NDVI سنجنده مادیس در حوضه آبخیز گاوخونی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ ترسیم شد که در شکل ۲ نشان داده شده است. بر اساس شکل ۲ حداکثر پوشش گیاهی در ماه‌های بهار مشاهده می‌شود که نشانگر شروع دوره رویشی در حوضه آبخیز گاوخونی است و نیز می‌تواند بیانگر حداکثر میزان پوشش گیاهی در کشت بهار نسبت به کشت پاییزه یا به دلیل افزایش بارش در دیگر تیپ‌های پوشش گیاهی حوضه آبخیز شامل جنگل‌ها، مراتع، سنگلاخ با پوشش گیاهی تنک، پهنه رسی با پوشش گیاهی تنک و پوشش گیاهی تالاب گاوخونی در این حوضه آبخیز باشد. این افزایش طی دوره مطالعه در سال ۲۰۰۷ به حداقل میزان در طول دوره مطالعه و سپس ۴ ماه بعد به حداکثر میزان خود رسیده است و پس از آن در سال ۲۰۰۸ کاهش می‌یابد. در سال ۲۰۰۹ میزان پوشش گیاهی در حوضه آبخیز گاوخونی نسبتاً متوسط است. در ادامه دوره مطالعه، این نوسانات تقریباً یکسان است، اما در سال ۲۰۱۴ مجدداً کاهش چشمگیری نشان داده است.

حالت استاندارد در می‌آمدند. به این منظور، با استفاده از ضریب فاکتور مقیاس (Scale Factor) مربوط به تصاویر سری زمانی ماهانه MOD13A3 شاخص NDVI برابر 0.0001 این تصاویر خام به قالب شاخص استاندارد NDVI (۱- تا ۱) درآمدند، که مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار مربوط در جدول ۱ نشان داده شده است.

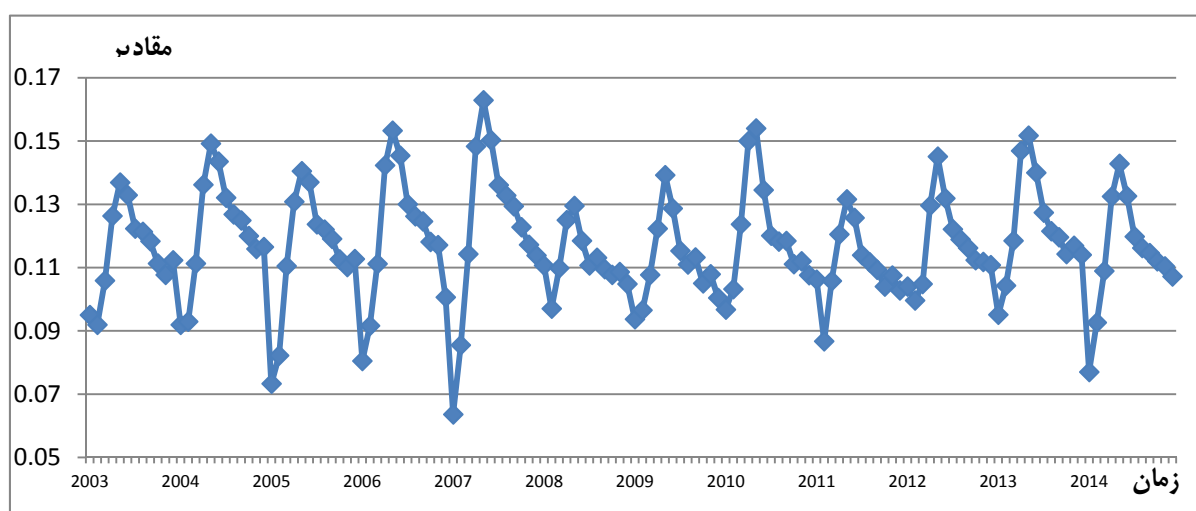
حداکثر میزان پوشش گیاهی ماهانه در حوضه آبخیز گاوخونی در طول مدت مطالعه در ماه اوت سال ۲۰۰۳ بوده و این نشان می‌دهد که کشت بهار در آن بازه زمانی بیشترین میزان را به خود اختصاص داده بوده است (جدول ۱). همچنین حداقل میزان پوشش گیاهی، طی بازه زمانی مورد مطالعه در حوضه آبخیز گاوخونی در ماه مه سال ۲۰۰۶ و ماه‌های فوریه و مارس سال ۲۰۰۷ رخ داده است. این مسئله می‌تواند نشان از آن داشته باشد که آغاز دوره رویشی و کشت بهار یعنی ماه مه در سال ۲۰۰۶ در این حوضه آبخیز با چالش جدی مواجه بوده است. همچنین، رویش دیگر پوشش‌های گیاهی حوضه آبخیز شامل جنگل‌ها، مراتع، سنگلاخ با پوشش گیاهی تنک، پهنه رسی با پوشش گیاهی تنک، پوشش گیاهی تالاب گاوخونی و علفزارهای منطقه که در نقشه کاربری پوشش اراضی شکل ۱ نشان داده شده است نیز کاهش داشته است. در حالی که میزان پوشش گیاهی حوضه در بازه مورد مطالعه در حالت میانگین در وضعیت بیشینه بوده است. همچنین این جدول

جدول ۱. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار شاخص NDVI ماهانه طی دوره مطالعه در آبخیز گاوخونی

سال	پارامترها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۰۳	MIN	-0.19	-0.19	-0.18	-0.19	-0.17	-0.13	-0.09	-0.08	-0.16	-0.18	-0.18	-0.13
	MAX	0.45	0.50	0.68	0.71	0.72	0.73	0.79	0.81	0.68	0.57	0.51	0.53
	Mean	0.10	0.09	0.11	0.13	0.14	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
	STD	0.05	0.05	0.05	0.07	0.08	0.08	0.07	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04
۲۰۰۴	MIN	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.15	-0.12	-0.05	-0.06	-0.15	-0.14	-0.14	-0.19
	MAX	0.45	0.55	0.71	0.74	0.71	0.72	0.77	0.77	0.65	0.63	0.53	0.52
	Mean	0.09	0.09	0.11	0.14	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.12
	STD	0.05	0.05	0.06	0.08	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04
۲۰۰۵	MIN	-0.20	-0.20	-0.20	-0.16	-0.08	-0.11	-0.05	-0.07	-0.11	-0.18	-0.20	-0.19
	MAX	0.39	0.36	0.67	0.71	0.70	0.71	0.79	0.79	0.68	0.58	0.54	0.66
	Mean	0.07	0.08	0.11	0.13	0.14	0.14	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
	STD	0.06	0.05	0.05	0.08	0.09	0.08	0.07	0.07	0.07	0.05	0.04	0.04

ادامه جدول ۱. مقادیر حداقل، حداکثر، میانگین و انحراف معیار شاخص NDVI ماهانه طی دوره مطالعه در آبخیز گاوخونی

سال	پارامترها	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۲۰۰۶	MIN	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.14	-0.08	-0.11	-0.16	-0.19	-0.16	-0.20
	MAX	0.50	0.63	0.66	0.77	0.73	0.74	0.76	0.76	0.66	0.59	0.65	0.65
	Mean	0.08	0.09	0.11	0.14	0.15	0.15	0.13	0.13	0.12	0.12	0.12	0.10
	STD	0.06	0.06	0.07	0.09	0.10	0.09	0.07	0.07	0.07	0.06	0.05	0.06
۲۰۰۷	MIN	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.16	-0.13	-0.14	-0.19	-0.20	-0.20
	MAX	0.35	0.59	0.73	0.75	0.75	0.76	0.76	0.79	0.68	0.62	0.62	0.64
	Mean	0.06	0.09	0.11	0.15	0.16	0.15	0.14	0.13	0.13	0.12	0.12	0.11
	STD	0.06	0.06	0.06	0.08	0.09	0.09	0.07	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04
۲۰۰۸	MIN	-0.07	-0.19	-0.20	-0.20	-0.19	-0.08	-0.07	-0.09	-0.11	-0.14	-0.17	-0.15
	MAX	0.77	0.58	0.71	0.71	0.69	0.68	0.77	0.74	0.68	0.60	0.56	0.45
	Mean	0.11	0.10	0.11	0.13	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
	STD	0.06	0.04	0.05	0.07	0.08	0.07	0.06	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04
۲۰۰۹	MIN	-0.16	-0.17	-0.18	-0.17	-0.14	-0.03	-0.02	-0.03	-0.08	-0.13	-0.18	-0.14
	MAX	0.38	0.41	0.64	0.68	0.65	0.65	0.76	0.73	0.65	0.56	0.56	0.49
	Mean	0.09	0.10	0.11	0.12	0.14	0.13	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11	0.10
	STD	0.04	0.04	0.05	0.06	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05
۲۰۱۰	MIN	-0.19	-0.19	-0.15	-0.14	-0.05	-0.02	-0.08	-0.06	-0.08	-0.12	-0.15	-0.13
	MAX	0.41	0.51	0.66	0.69	0.66	0.69	0.73	0.76	0.72	0.57	0.53	0.49
	Mean	0.10	0.10	0.12	0.15	0.15	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
	STD	0.05	0.05	0.07	0.09	0.09	0.08	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
۲۰۱۱	MIN	-0.20	-0.18	-0.15	-0.17	-0.09	-0.02	-0.01	-0.03	-0.15	-0.18	-0.11	-0.19
	MAX	0.45	0.45	0.56	0.65	0.64	0.69	0.73	0.72	0.69	0.54	0.54	0.50
	Mean	0.11	0.09	0.11	0.12	0.13	0.13	0.11	0.11	0.11	0.10	0.11	0.10
	STD	0.04	0.05	0.04	0.06	0.07	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04
۲۰۱۲	MIN	-0.20	-0.17	-0.18	-0.15	-0.11	-0.03	-0.03	-0.11	-0.16	-0.12	-0.16	-0.17
	MAX	0.50	0.50	0.43	0.68	0.67	0.66	0.68	0.76	0.70	0.58	0.55	0.55
	Mean	0.10	0.10	0.10	0.13	0.15	0.13	0.12	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11
	STD	0.04	0.04	0.04	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.05
۲۰۱۳	MIN	-0.20	-0.20	-0.20	-0.20	-0.19	-0.12	-0.09	-0.12	-0.07	-0.01	-0.10	-0.13
	MAX	0.47	0.44	0.56	0.72	0.65	0.73	0.73	0.72	0.69	0.54	0.46	0.56
	Mean	0.10	0.10	0.12	0.15	0.15	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.12	0.11
	STD	0.05	0.04	0.05	0.07	0.08	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04
۲۰۱۴	MIN	-0.18	-0.17	-0.19	-0.18	-0.11	-0.04	-0.03	-0.04	-0.18	-0.13	-0.10	-0.18
	MAX	0.40	0.35	0.61	0.66	0.68	0.66	0.69	0.71	0.67	0.60	0.81	0.64
	Mean	0.08	0.09	0.11	0.13	0.14	0.13	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.11
	STD	0.05	0.04	0.04	0.06	0.07	0.06	0.06	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04



شکل ۲. نمودار سری زمانی تغییرات پوشش گیاهی، تصاویر میانگین ماهانه شاخص MODIS NDVI در حوضه آبخیز گاوخونی طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴

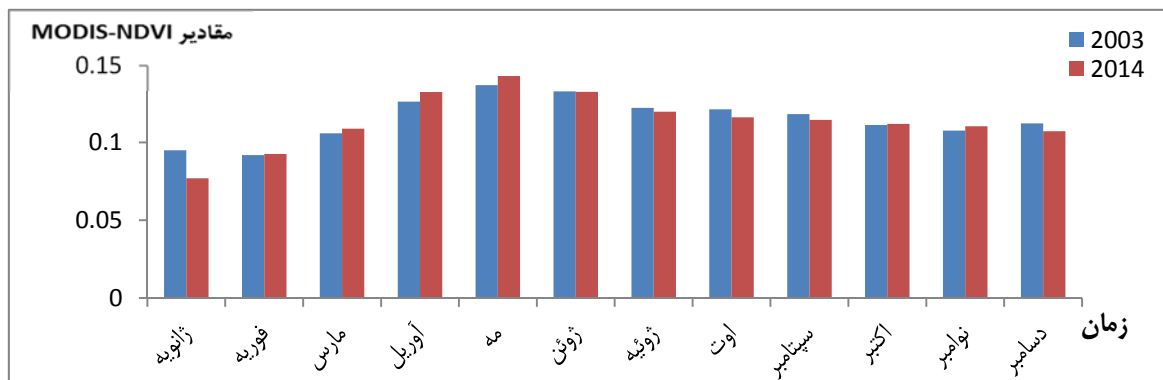
در ادامه تغییرات پوشش گیاهی، تصاویر میانگین ماهانه شاخص NDVI سنجنده مادیس در حوضه آبخیز گاوخونی

تالاب گاوخونی باشد.

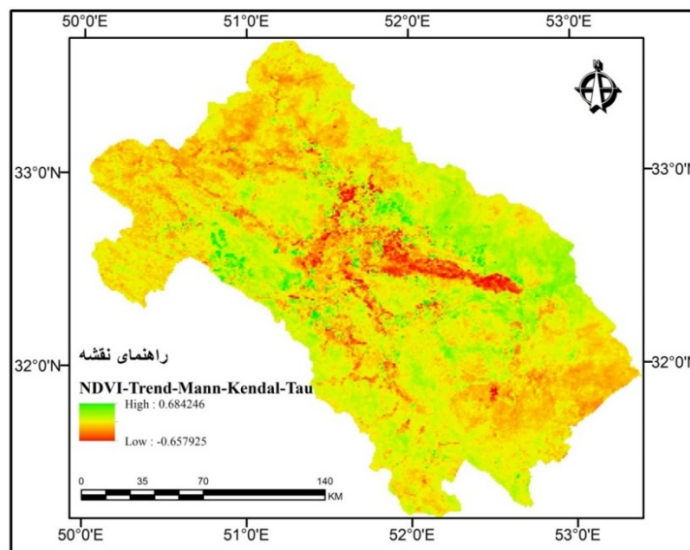
### ۱.۳. روند تخریب پوشش گیاهی با استفاده از آزمون من-کندال

در این مرحله، به بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی درازمدت در حوضه آبخیز گاوخونی بر اساس ۱۴۴ تصویر سری زمانی میانگین ماهانه شاخص MODIS-NDVI (۱۲ ماه از ۱۲ سال) پرداخته شد. تحلیل‌ها با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Tersset صورت گرفت و نقشه مربوط تهیه شد. برای تعیین و ارزیابی روند، نخست ۱۴۴ تصویر سری زمانی به فرمت فایل‌های سری زمانی (TSF) در آمدند. نقشه روند حاصل در شکل ۴ نشان داده شده است.

از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۱۴ بررسی شد که در شکل ۳ نشان داده شده است. بر این اساس، میزان پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ در ماه ژانویه کاهش چشمگیر، در ماه فوریه تقریباً یکسان، در ماه مارس تا مه افزایش جزئی، در ماه ژوئن یکسان، در ماه‌های ژوئیه تا سپتامبر کاهش جزئی، در ماه‌های اکتبر و نوامبر افزایش جزئی و ماه دسامبر کاهش پوشش گیاهی را نشان داده است. این نمودار نیز می‌تواند گویای این مسئله باشد که میزان کشت بهاره از کشت پاییزه بیشتر است و ضمن اینکه می‌تواند نشانگر افزایش بارش و رویش پوشش گیاهی در اراضی کشاورزی آبی و دیم، جنگل‌ها، مراتع، سنگلاخ با پوشش گیاهی تنک، پهنه رسی با پوشش گیاهی تنک، علفزارها و پوشش گیاهی



شکل ۳. نمودار تغییرات بلند مدت پوشش گیاهی تصاویر میانگین ماهانه شاخص MODIS NDVI در حوضه آبخیز گاوخونی از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ (به صورت مقایسه ماه به ماه آغاز و پایان مطالعه)



شکل ۴. نقشه روند تغییرات پوشش گیاهی شاخص MODIS-NDVI در حوضه آبخیز گاوخونی طی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴

کندال استفاده از داده‌های مستقل و به طور تصادفی نظم گرفته است، خودهمبستگی بر مقدار واریانس محاسبه شده در روش کندال تأثیر می‌گذارد. در نتیجه، احتمال رد فرض صفر یعنی عدم وجود روند در سری داده افزایش پیدا می‌کند. در این حالت اگرچه داده‌ها فاقد روند هستند اما با روش کندال برای آن‌ها روند تشخیص داده می‌شود.

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر رویکرد پایش و تحلیل تعیین روند داده‌های سری زمانی ماهانه شاخص NDVI ماهواره مادیس برای کشف تغییرات زمانی در مقیاس منطقه‌ای به کار رفت. بر اساس شکل ۲ بیشترین کاهش پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۷ مشاهده شد، که بر اساس مطالعه میراحسنی و همکاران (۱۳۹۶) حوضه آبخیز در این زمان با خشکسالی مواجه بوده است. می‌توان گفت که پوشش گیاهی به‌عنوان نماینده سلامت محیط‌زیست، هم‌نمایانگر خصوصیات بیوفیزیکی مؤثر در رشد مانند آب کافی، خاک تخریب نشده و مغزی و غیره بوده و هم‌تأمین‌کننده سلامت حیات‌وحش و حافظ خاک در برابر فرسایش به حساب می‌آید.

شکل ۴ بیانگر آن است که پوشش گیاهی در بیشتر منطقه بدون تغییر مانده، که این مسئله صرفاً نشان می‌دهد در این منطقه پوشش گیاهی موجود بوده است یا خیر. این مسئله با مقایسه دقیق نقشه روند با نقشه‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۱۴ (شکل ۱) یا نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های مختلف قابل دستیابی است. همچنین، از آنجا که شکل ۴ نشان داد بیشترین روند کاهش پوشش گیاهی در مناطق مرکزی حوضه آبخیز گاوخونی به‌عنوان مناطق شهری (بر اساس نقشه شکل ۱) رخ داده است، این روند می‌تواند نشان‌دهنده رشد بالای شهری و تغییر کاربری اراضی از پوشش گیاهی به ساخت و ساز در این حوضه آبخیز باشد. همچنین، شکل ۴ نشان داد که کشت آبی در حوضه آبخیز گاوخونی در طول دوره مطالعه با کاهش

این شکل نشان می‌دهد، میزان روند پوشش گیاهی شاخص NDVI از روند افزایشی با مقدار  $T$  برابر با  $+0/684$  تا روند کاهشی با مقدار  $T$  برابر با  $-0/658$  متغیر است. در نقشه شکل ۴، مقادیر مثبت با رنگ سبز، بیانگر افزایش پوشش گیاهی و مقادیر منفی با رنگ قرمز نشان‌دهنده کاهش پوشش گیاهی طی دوره مطالعه در حوضه آبخیز گاوخونی طی دوره مطالعه (۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴) است. مقادیر بینابینی که با رنگ زرد نشان داده شده‌اند، نشان‌دهنده مناطق بدون تغییر پوشش گیاهی هستند. بر این اساس و با توجه به این شکل، مناطق سبز رنگ که نشان دهنده روند صعودی در داده‌های ماهانه شاخص پوشش گیاهی MODIS NDVI هستند در مناطق شمال شرقی و مرکز تا غرب حوضه و اندکی به سمت جنوب حوضه آبخیز گاوخونی به چشم می‌خورد. به عبارتی، روند افزایش پوشش گیاهی به‌صورت پراکنده بیشتر در مناطق شمال شرقی و مرکز تا غرب حوضه و اندکی به سمت جنوب حوضه آبخیز گاوخونی است.

همچنین، بیشترین روند کاهش پوشش گیاهی در مناطق مرکزی رو به شرق و جنوب حوضه آبخیز گاوخونی رخ می‌دهد (شکل ۴). این روند در مناطق شمالی و غربی حوضه و همچنین جنوب حوضه نیز مشهود است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، روند کاهش پوشش گیاهی در مناطقی از آبخیز تراکم و تمرکز بیشتری دارد که در مراجعه به شکل ۱، کاربری کشاورزی آبی را نشان می‌دهد. این روند نشان‌دهنده کاهش شدید اراضی کشت آبی است. بر اساس مراجعه به نقشه کاربری اراضی شکل ۱ پوشش گیاهی زمین‌های اطراف تالاب گاوخونی در طول دوره مطالعه نیز با روند کاهشی یا بدون تغییر مواجه بوده است. همچنین شکل ۴ نشان می‌دهد که پوشش گیاهی مناطق سنگلاخی شمال شرق حوضه افزایش جزئی داشته است. بر اساس شکل ۴ بیشترین روند پوشش گیاهی مربوط به روند بدون تغییر (رنگ زرد) است. از آنجا که فرض اصلی اغلب مطالعات تحلیل روند مانند آزمون من

کاهش شدید در مناطق شمالی و غربی و نیز جنوب حوضه مشاهده شد، که بر اساس نقشه‌های کاربری/ پوشش اراضی و تیپ/ پوشش گیاهی این مناطق، مناطقی با بالاترین تناسب آمایشی پوشش گیاهی مرتعی غنی و اراضی کشاورزی حاصلخیز در امتداد رودخانه زاینده‌رود هستند. این اراضی که دچار تغییر پوشش/ کاربری اراضی شده‌اند، به دلیل خشکی سال‌های اخیر رودخانه غیرفصلی زاینده‌رود در معرض شدید تخریب سرزمین هستند. این مشکلات لزوم اقدامات فوری برای جلوگیری از تغییر کاربری این مناطق و جلوگیری از تخریب سرزمین را روشن می‌کند. مناطقی که روند کاهش پوشش گیاهی آنان در اراضی حاشیه رودخانه زاینده‌رود مشخص شد با نتایج پراکندگی تخریب پوشش گیاهی ناشی از خشکسالی مطالعه میراحسنی و همکاران (۱۳۹۶) و همچنین مطالعات Bakhshandeh-mehr و Jafari (۲۰۱۳) همخوانی داشت. همچنین، مطالعه روند پوشش گیاهی نشان داد که طی سال‌های مطالعه زمین‌های شور و لخت در آبخیز گاوخونی افزایش و زمین‌های کشاورزی به‌طور چشمگیری کاهش یافته است، که این نتیجه با مطالعه Jafari و Hashemi-nasab (۲۰۱۷) یکسان است. به علاوه، کشت آبی در حوضه آبخیز گاوخونی در طول دوره مطالعه با کاهش شدید روند کاهش شده است که این مسئله به تغییر کاربری اراضی کشاورزی به کاربری‌های دیگر در منطقه می‌انجامد. در پایان، با توجه به نتایج آزمون غیرپارامتری، مطالعه تحلیل روند پوشش گیاهی از طریق تصاویر سری زمانی ماهواره‌ای شاخص NDVI سنجنده مادیس و مقایسه نقشه‌های روند پوشش گیاهی حاصل از آزمون من-کندال با تصاویر مربوط به کاربری/ پوشش اراضی فعلی منطقه، در حوضه آبخیز گاوخونی مناسب تشخیص داده شد و بیانگر کارایی آن است.

##### ۵. پیشنهادات

برای مطالعات آینده، مقایسه پیکسل به پیکسل نقشه روند

شدید روند مواجه شده است که این مسئله به تغییر کاربری اراضی از کشت آبی به کاربری‌های دیگر در منطقه می‌انجامد. بر اساس این نقشه، روند کاهش در مناطق شمالی و غربی حوضه و همچنین جنوب حوضه نیز مشاهده شد. از آنجا که بر اساس نقشه کاربری اراضی شکل ۱، این مناطق دارای پوشش گیاهی مرتعی و اراضی کشت آبی هستند، لزوم توجه به جلوگیری از تغییر کاربری این مناطق و جلوگیری از تخریب سرزمین در آن‌ها را روشن می‌سازد. از آنجا که بر اساس انطباق نمودار سری زمانی شکل ۲ و نیز مناطق روند کاهش پوشش گیاهی شکل ۴ این مطالعه با نتایج پراکندگی تخریب پوشش گیاهی ناشی از خشکسالی مطالعه میراحسنی و همکاران (۱۳۹۶) همخوانی داشت، به نظر می‌رسد که خشکسالی یکی از اصلی‌ترین دلایل روند تخریب پوشش گیاهی و بالتبع تغییر کاربری اراضی در منطقه باشد.

روند تخریب پوشش گیاهی منطقه‌ای شاخص سری زمانی تصاویر NDVI سنجنده مادیس با استفاده از آزمون غیرپارامتری من-کندال تائو<sup>۶</sup> و متنی تعیین و مناطق دارای افزایش، کاهش و بدون تغییر پوشش گیاهی در حوضه آبخیز گاوخونی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ مشخص شد. نتایج نشان داد که گستره روند تغییرات پوشش گیاهی و همچنین وسعت روند کاهش در روش من کندال متنی بیشتر از من کندال تائو بوده و نیز روند در بیشتر منطقه بدون تغییر مانده است که این مسئله صرفاً نشان‌دهنده اینکه در این منطقه پوشش گیاهی موجود بوده یا نه نیست. این مسئله با مقایسه نقشه روند با نقشه‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۱۴ یا نقشه‌های سال‌های بعد قابل دستیابی است. همچنین، شکل ۴ نشان داد بیشترین روند با شدت کاهش پوشش گیاهی در مناطق مرکزی حوضه آبخیز گاوخونی و در امتداد رودخانه زاینده‌رود و نیز در محل استقرار مناطق شهری است، این روند می‌تواند نشان‌دهنده رشد بالای شهری و تغییر کاربری اراضی از پوشش گیاهی به ساخت‌وساز در این حوضه باشد. بر اساس این نقشه، روند

نهایت، انجام این پژوهش مخصوصاً تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر سری زمانی در آینده برای کل ایران به‌ویژه در حوضه‌های خشک و نیمه‌خشک توصیه می‌شود.

#### یادداشت‌ها

- 1 stochastic
- 2 Mann-Kendall
- 3 Season Trend Analysis
- 4 harmonic
- 5 Contextual Mann-Kendall (CMK)
- 6 Tau
- 7 block bootstrapping
- 8 autoregressive
- 9 moving average
- 10 ARIMA

با نقشه کاربری/پوشش اراضی توصیه می‌شود. همچنین، از آنجاکه آزمون غیرپارامتری من-کندال خودهمبستگی بین پارامترها را در نظر نمی‌گیرد، پیشنهاد می‌شود برای اصلاح، این آزمون با مدل بلاک بوت استرپینگ<sup>۷</sup> یا روش‌های اتورگرسیو<sup>۸</sup> (خودهمبستگی)، میانگین متحرک<sup>۹</sup>، آریمای<sup>۱۰</sup> (ترکیب دو مدل قبل) که در مقابل وابستگی سری زمانی بسیار مفید هستند ترکیب شود (Tian et al., 2013).

از آنجا که آبخیز گاوخونی یکی از حوضه‌های کلیدی کشور است، با توجه به بروز خطرات خشکسالی و تخریب پوشش گیاهی در حوضه، پتانسیل خطر تغییر کاربری و تخریب سرزمین به شدت وجود دارد که باید به‌عنوان یکی از موارد ضروری مدیریت منطقه در نظر گرفته شود. در

#### منابع

- بابایی، ا.، صفرزاد، ط.، کریمی، م. ۱۳۹۳، تحلیل فضایی-زمانی رخداد گردوغبار در غرب ایران، نشریه علمی پژوهشی محیط‌شناسی، ۴۰(۲): ۳۷۵-۳۸۸.
- خداقلی، م. ۱۳۸۴. بررسی زیست اقلیم گیاهی حوضه آبخیز زاینده‌رود، پایان‌نامه دکتری، دانشگاه اصفهان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- خشوعی اصفهانی، صفوی، و زمانی. ۱۳۹۵. طراحی سیستم پایش خشکسالی بر اساس شاخص یکپارچه در حوضه آبریز زاینده‌رود. نشریه علوم آب و خاک-علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، ۲۰(۷۵): ۲۰-۲۷.
- مجید کاظم‌زاده، ملکیان آ و رسول‌زاده ع. تحلیل روند جریان‌های رودخانه‌ای با استفاده از رویکردهای آماری پارامتری و ناپارامتری در استان اردبیل. پژوهش‌های دانش زمین ۴(۳): ۵۱-۶۳.
- میراحسنی، م. ۱۳۹۶. تحلیل سری زمانی شناسایی روند تخریب سرزمین بر مبنای تبیین خصوصیات بیوفیزیکی مؤثر با تأکید بر پایش مکانی زمانی خشکسالی و تغییرات پوشش/کاربری اراضی. پایان‌نامه دکتر. دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- میراحسنی، م.، سلمان ماهینی، ع.ر.، سفیانیان، ع.ر.، مدرس، ر.، جعفری، ر. و محمدی، ج. ۱۳۹۶. ارزیابی شاخص ذخیره آب پوشش گیاهی (VSWI) تصاویر سری زمانی سنجنده مادیس در پایش خشکسالی حوضه آبخیز گاوخونی، نشریه بوم‌شناسی کاربردی، ۴: ۳۱-۴۷.
- هاشمی دره بادامی 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. ۶(۳): ۱۵-۲۸.
- Boschetti, M., Nutini, F., Brivio, P.A., Bartholomé, E., Stroppiana, D. and Hoscilo, A. 2013. Identification of environmental anomaly hot spots in West Africa from time series of NDVI and rainfall. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 78: 26-40.
- De Beurs, K.M. and Henebry, G.M. 2005. A statistical framework for the analysis of long image time series. *International Journal of Remote Sensing*, 26(8): 1551-1573.
- Eckert, S., Hüsler, 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.

- Fensholt, R. and Proud, S.R. 2012. Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote sensing of Environment*, 119: 131-147.
- Golian, S., Mazdiyasi, O. and AghaKouchak, A. 2015. Trends in meteorological and agricultural droughts in Iran. *Theoretical and applied climatology*, 119(3-4): 679-688.
- 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: 131-139.
- Huber, S., Fensholt, R. and Rasmussen, K. 2011. Water availability as the driver of vegetation dynamics in the African Sahel from 1982 to 2007. *Global and Planetary Change*, 76(3-4): 186-195.
- Ibrahim, Y.Z., Balzter, H., Kaduk, J. and Tucker, C.J. 2015. Land degradation assessment using residual trend analysis of GIMMS NDVI3g, soil moisture and rainfall in Sub-Saharan West Africa from 1982 to 2012. *Remote Sensing*, 7(5): 5471-5494.
- Jafari, R. and Bakhshandehmehr, 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): 74.
- Kendall M.G. 1975. Rank Correlation Measures. *Charles Griffin*, London.
- 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.
- Lanfredi, M., Coppola, R., Simoniello, T., Coluzzi, R., Imbrenda, V. and Macchiato, M. 2015. Early identification of land degradation hotspots in complex bio-geographic regions. *Remote Sensing*, 7(6): 8154-8179.
- Lu, D., Mausel, P., Brondizio, E. and Moran, E. 2004. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. *Forest ecology and management*, 198(1): 149-167.
- Mann, H.B. 1945. Nonparametric tests against trend. *Econometrica: Journal of the Econometric Society*, 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.
- 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.
- Ronald Eastman, J., Sangermano, F., Ghimire, B., Zhu, H., Chen, H., Neeti, N. and et al. 2009. Seasonal trend analysis of image time series. *International Journal of Remote Sensing*, 30(10): 2721-2726.
- Sarhadi, A. and Soltani, S. 2013. Determination of water requirements of the Gavkhuni wetland, Iran: A hydrological approach. *Journal of arid environments*, 98: 27-40.
- Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324): 1379-1389.
- Shewangzaw, M. 2014. Vegetation dynamics analysis using normalized differences vegetation index as indicator of restoration or degradation, south wollo zone, northern ethiopia (Doctoral dissertation).
- Singh, A. 1989. Review article digital change detection techniques using remotely-sensed data. *International journal of remote sensing*, 10(6): 989-1003.
- Solano, R., Didan, K., Jacobson, A. and Huete, A. 2010. MODIS vegetation index user's guide (MOD13 series). *Vegetation Index and Phenology Lab, The University of Arizona*, 1-38.
- Theil, H. 1992. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. In *Henri Theil's Contributions to Economics and Econometrics* (pp. 345-381). Springer Netherlands.
- 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.
- Toomanian, N., Gieske, A.S.M. and Akbary, M. 2004. Irrigated area determination by NOAA-landsat upscaling techniques, Zayandeh River Basin, Isfahan, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, 25(22), 4945-4960.

Tucker, C.J., Slayback, D.A., Pinzon, J.E., Los, S. O., Myneni, R. B. and Taylor, M.G. 2001. Higher northern latitude normalized difference vegetation index and growing season trends from 1982 to 1999. *International journal of biometeorology*, 45(4): 184-190.

Tucker, C.J. 1979. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8: 127-150.

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.

Zhang, X., Friedl, M.A., Schaaf, C.B. and Strahler, A.H. 2004. Climate controls on vegetation phenological patterns in northern mid-and high latitudes inferred from MODIS data. *Global change biology*, 10(7): 1133-1145.

<https://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/mod13.php>