

## ارزیابی روند تخریب اراضی در نمونه‌های اقلیمی استان فارس با استفاده از سنجش از دور و متغیرهای اقلیمی

بهناز آصف‌جاه<sup>۱</sup>، یحیی اسماعیل‌پور<sup>۲\*</sup>، ام‌البنین بذرافشان<sup>۲</sup>، امیررضا کشتکار<sup>۳</sup>، حسین زمانی<sup>۴</sup>

۱ دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی و منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲. دانشیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۳. دانشیار، مرکز تحقیقات بین‌المللی بیابان دانشگاه تهران، تهران، ایران

۴. استادیار، گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۱/۰۷/۱۹؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۱/۰۸/۸؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۹/۱۱)

### چکیده

روند تخریب اراضی در کشورهای در حال توسعه رو به افزایش بوده است. تغییرات اقلیم و کاربری اراضی در استان فارس در چند دهه گذشته روند تخریب و بیابان‌زایی را دوچندان کرده است. در تحقیق حاضر از داده‌های ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی در نمونه‌های اقلیمی استان فارس در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ بهره گرفته شد. روند زمانی تغییرات این متغیرها با آنالیز روند من-کندال و برای تعیین زمان تغییر و همبستگی مکانی به ترتیب از آزمون پتیت و آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد. روند تغییرات NDVI در اقلیم‌های خشک و فراخشک رو به افزایش و نقطه تغییر از سال ۲۰۱۰ به بعد بوده است. بر این اساس، می‌توان انتظار داشت به این معنا که در بیشتر مناطق فارس کاهش نسبت بارش به تبخیر بالقوه (افزایش تبخیر) رخ داده و روند تخریب رو به افزایش خواهد بود. بارش فاقد روند و دمای سطح زمین رو به کاهش است. الگوی مکانی روند NDVI و بارش در بیش از ۷۰ درصد منطقه افزایشی (جنوبی) و AI و LST در بیش از ۶۵ درصد منطقه (مرکزی) در حال کاهش است. بررسی همبستگی مکانی تغییرات NDVI با متغیرهای LST، بارش و AI نشان داد در مناطق مختلف اقلیمی نوع رابطه و قدرت همبستگی متفاوت بوده است. قوی‌ترین روابط همبستگی در اقلیم‌های فراخشک سرد در شمال شرق و مدیترانه‌ای معتدل که در شمال غرب استان واقع شده است، دیده شد.

**کلمات کلیدی:** روند تخریب اراضی، نمونه‌های اقلیمی، سنجش از دور، متغیرهای اقلیمی.

## ۱. مقدمه

مفهوم وضعیت زمین اشاره به ظرفیت خاک برای حفظ بهره‌وری پوشش گیاهی در ارتباط با فرایندهای اقلیمی و کاربری اراضی دارد که تعریفی خنثی است و شامل تخریب و بهبود پوشش گیاهی می‌شود. با این حال، تخریب زمین یک هدف اولیه در تحلیل وضعیت زمین است. مطابق با تعریف قبلی، تخریب به کاهش بهره‌وری پوشش گیاهی مرتبط با فقیر شدن خاک مربوط می‌شود [۱]. طبق کنوانسیون ملل متحد برای مبارزه با بیابان‌زایی<sup>۱</sup>، بیابان‌زایی به عنوان «تخریب زمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و خشک مرطوب ناشی از عوامل مختلف، از جمله تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی» تعریف شده است. علاوه بر این، بیابان‌زایی آب‌وهوایی را می‌توان با کاهش تدریجی بارندگی، که توسط علل طبیعی مانند تغییرات در فعالیت خورشیدی، تغییر دمای سطح دریا و پدیده‌های زمین‌شناسی تعیین می‌شود، ایجاد کرد [۲]. شاخص خشکی (AI<sup>۲</sup>) نشان‌دهنده در دسترس بودن آب است. شاخص خشکی به عنوان میانگین سالانه نسبت بارندگی (به نمایندگی از عرضه آب) به تبخیر-تعرق پتانسیل (نماینده تقاضای آب از جو) محاسبه می‌شود. نسبت‌های کوچک‌تر نشان‌دهنده خشکی بیشتر است. افزایش خشکی هم به طور غیرمستقیم با تغییرپذیری بیشتر بارندگی بر بیابان‌زایی تأثیر می‌گذارد و هم به طور مستقیم با خشکسالی‌های طولانی [۳].

برخی از مطالعات روند شاخص خشکی و سایر متغیرها مانند بارندگی و دمای هوا را برای شناسایی مناطق با روندهای افزایشی و کاهش شاخص خشکی تجزیه و تحلیل کردند [۴-۶]. به طور نمونه، وو و همکاران [۷] در بررسی شرایط عمومی متغیرهای اقلیمی در چین گزارش دادند که دمای سطح زمین و بارش در حال افزایش و تبخیر-تعرق بالقوه و نسبت شاخص خشکی به رطوبت رو به کاهش است.

پوشش گیاهی بخش مهمی از اکوسیستم جهانی است که به تغییرات آب‌وهوایی و فعالیت‌های انسانی بسیار حساس است، بنابراین به عنوان شاخص تغییرات محیطی تعریف شده است [۸] و نقش عمده‌ای در خاک، تبادل انرژی و چرخه‌های بیوشیمیایی روی سطح زمین دارد [۹].

نوعی همبستگی مثبت بین شاخص تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) و پوشش گیاهی رشدیافته وجود دارد که می‌تواند وضعیت پوشش گیاهی سطح را به طور دقیق منعکس کند و ویژگی‌های فیزیولوژیکی مانند زیست‌توده و پوشش گیاهی را نشان دهد که می‌توان آن را با سنجش از دور به صورت کمی اندازه‌گیری کرد. بنابراین، در مطالعه حاضر نظارت بر تغییرات پوشش گیاهی در مقیاس بزرگ به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است [۱۰-۱۴].

مطالعه پویایی پوشش گیاهی (به‌ویژه در مقیاس بزرگ و طولانی هم‌واره یک موضوع داغ در تحقیقات زیست‌محیطی بوده است [۱۳ و ۱۵]. تحقیقات نشان داده است که عوامل زیادی باعث تغییر پوشش گیاهی می‌شوند، از جمله الگوهای طولانی‌مدت آب‌وهوا، تغییرات جغرافیایی یا محیطی و فعالیت‌های انسانی، مانند صنعتی شدن و توسعه کشاورزی [۱۶]. رشد پوشش گیاهی تا حد زیادی تحت تأثیر عوامل خارجی، به‌ویژه دما، بارش و سایر عوامل آب‌وهوایی قرار می‌گیرد، اما می‌تواند تا حدودی ویژگی‌های آب‌وهوایی را نیز منعکس کند [۱۲]. با این حال، پوشش گیاهی مستعد تغییرات آب‌وهوایی است. پویایی پوشش گیاهی و واکنش آن‌ها به تغییرات آب‌وهوایی به عنوان یکی از مسائل اصلی تغییر محیط در اکوسیستم زمینی شناخته شده است. با پیشرفت در فناوری‌های سنجش از دور، اطلاعات بیشتری را می‌توان از مجموعه داده‌های سنجش از دور چندطیفی و چندتاریخه به دست آورد که روش‌های پیشرفته‌ای را برای بررسی رشد پوشش گیاهی و تغییرات بین‌سالانه و فصلی ارائه می‌دهند [۱۷].

از آنجا که NDVI به طور گسترده‌ای برای برآورد زیست‌توده سبز استفاده می‌شود [۱۸]، در سال‌های اخیر، محققان در سراسر جهان با استفاده از داده‌های NDVI بر تغییرات پوشش گیاهی و عوامل آب‌وهوایی تمرکز کرده‌اند [۱۹-۲۱]. چایو و همکاران [۲۲] از بررسی رابطه بین NDVI، دما و تغییرات بارش در مغولستان به این نتیجه رسیدند که NDVI با دما و بارش کاملاً همبستگی دارد و اثرات درازمدت در بین انواع گیاهان و فصل‌های مختلف تفاوت داشته است. نتایج پژوهش یانگ و همکاران [۲۳] از بررسی تغییرات زمانی-مکانی پوشش گیاهی و رطوبت سطح خاک در چین نشان داد

1. United Nations Convention to Combat Desertification  
2. Aridity Index

3. Normalized difference vegetation index

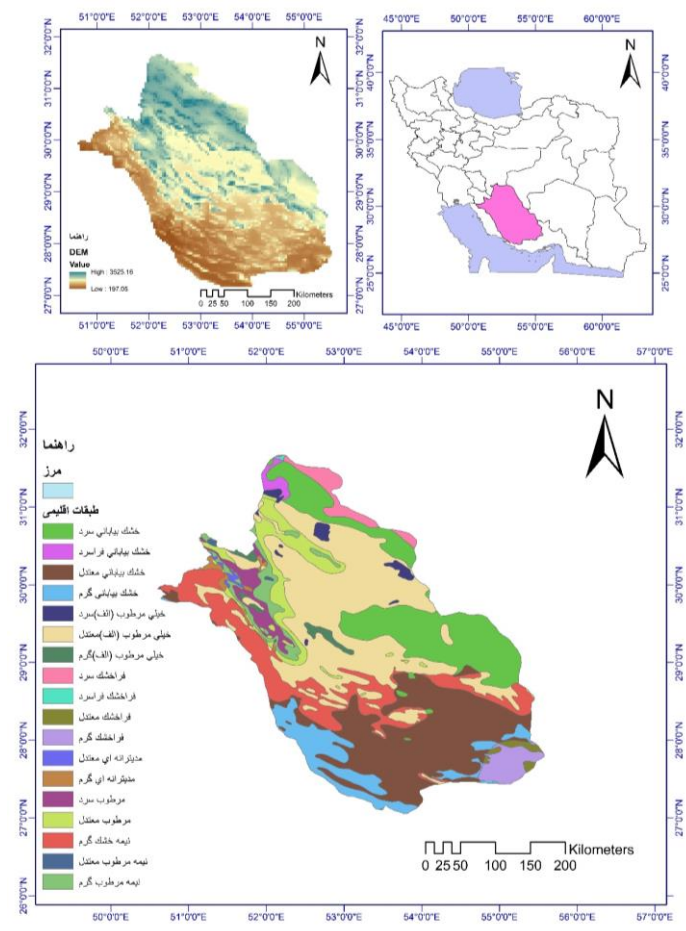
بنابراین، تشخیص روند در سری‌های زمانی NDVI می‌تواند به شناسایی و کمیت تغییرات اخیر در ویژگی‌های اکوسیستم از مقیاس محلی تا جهانی کمک کند. از طرفی دیگر، تغییر اقلیم اثرات مستقیم و غیرمستقیم قابل توجهی بر پوشش گیاهی و تخریب سرزمین دارد. همچنین، این تأثیر در اقلیم‌ها و پهنه‌های مختلف اقلیمی متفاوت خواهد بود با توجه به این فرض که تنوع آب‌وهوایی در منطقه خشک و نیمه‌خشک استان فارس می‌تواند بر روند تغییرات پوشش گیاهی و تخریب زمین تأثیرگذار باشد، بنابراین برای بررسی دقیق روندها باید تحلیل‌های روند به صورت نقطه‌ای و پیکسل به پیکسل انجام شود که لزوم استفاده از تکنیک‌های بررسی روند تصاویر را نشان می‌دهد. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی روند تخریب اراضی با تغییرپذیری شاخص خشکی و متغیرهای اقلیمی بر روند پوشش گیاهی انجام می‌شود.

## ۲. مواد و روش‌ها

### ۲.۱. منطقه مطالعه شده

استان پهناور فارس که در جنوب غرب ایران واقع شده با مساحت ۱۲۳ هزار کیلومتر مربع ۷/۴ درصد از وسعت کشور را به خود اختصاص داده (شکل ۱)، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه را در سطح ایران نقشه مدل رقومی ارتفاعی و طبقات اقلیمی استان فارس را نشان می‌دهد. در این مطالعه استان فارس با استفاده از روش تعیین اقلیم دومارتن اصلاح شده [۳۱] به طبقات اقلیمی مدیترانه‌ای، خیلی مرطوب، مرطوب، نیمه‌مرطوب، نیمه‌خشک، خشک و فراخشک تقسیم شدند و این مطالعه بر اساس ۱۸ طبقات اقلیم صورت گرفته است. محدوده تغییرات میانگین بارش ۱۳۱ تا ۲۴۴ میلی‌متر در اقلیم فراخشک سرد تا فراخشک گرم و دمای استان از ۲۷ تا ۳۹ در اقلیم درجه سانتی‌گراد در اقلیم خیلی مرطوب سرد تا فراخشک معتدل متغیر است. ۲۷ درصد مساحت استان را خیلی مرطوب معتدل (بخش مرکزی)، ۲۱ درصد اقلیم خشک بیابانی معتدل (جنوب فارس)، ۱۶ درصد منطقه خشک بیابانی سرد (شمالی و شمال شرقی) و ۱۲ درصد را نیمه‌خشک گرم (بخش جنوبی جنب اقلیم خشک بیابانی معتدل) تشکیل می‌دهد.

پوشش گیاهی نسبت به میزان بارندگی در صحراها حساس‌تر و نسبت به دما در مناطق کوهستانی حساس‌تر است. نتایج پژوهش قنبری مطلق و امرایی [۲۴ و ۲۵] در استان مازندران و ناصرزاده و همکاران در استان کهگیلویه و بویراحمد نشان داد همبستگی معناداری بین دینامیک پوشش گیاهی با دمای سطح زمین وجود داشته است. از روش‌های آماری تحلیل سری زمانی، تحلیل روند است که از تغییرات بلندمدت در میانگین سری زمانی یا سیر طبیعی سری زمانی در درازمدت به نمای کلی آن توجه می‌کند و افت و خیزهای سری زمانی را نادیده می‌گیرد. روش‌های متفاوتی برای تعیین روند وجود دارند که به دو دسته روش‌های پارامتری و غیرپارامتری تقسیم می‌شوند. می‌توان با کمک سنجش از دور به بررسی روند تغییرات طیف پیکسل‌های پوشش گیاهی در جهت شناسایی مناطق مستعد به تغییرات پرداخت. با استفاده از این رویکرد بدون استفاده از نمونه‌برداری می‌توان از طریق پایش تغییرات شرایط اکوسیستم به بهبود قابلیت‌های حفاظتی و نیز ارزیابی مدیریتی پرداخت [۲۶ و ۲۷]. تجزیه و تحلیل روند در انواع مختلفی از مطالعات تغییر آب‌وهوا رایج است. در بسیاری از موارد، یافتن شواهدی مبنی بر متفاوت بودن روندها از صفر در متغیرهای اقلیم از اهمیت خاصی برخوردار است. تحقیقات بسیاری صورت گرفته که با استفاده از تحلیل روند داده‌های ماهواره‌ای و ارتباط آن با داده‌های اقلیمی می‌توان به بررسی و تشخیص تخریب زمین پرداخت. به عنوان مثال، در مغولستان اسکرت و همکاران [۲۸] از آنالیز روند سری زمانی MODIS NDVI برای تشخیص احیا و تخریب زمین استفاده کردند که نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تغییرات بارندگی بر روند NDVI در مناطق بزرگ تأثیر داشته و آنالیز روند سری زمانی NDVI برای تشخیص تغییر پوشش گیاهی مناطق و همچنین برای شناسایی تخریب و احیای اراضی مناسب است. همچنین، نیک‌پور و همکاران (۲۰۱۹) پس از بررسی تخریب سرزمین با پایش روند تغییرات پوشش گیاهی در استان ایلام نشان دادند در نیمه غربی منطقه NDVI روند کاهشی و در مرکز و شرق روند افزایش داشته است [۲۹]. آذره و همکاران روند NDVI از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۶ در استان اصفهان را افزایشی برآورد کردند که بیشترین افزایش پوشش گیاهی در بخش‌های غرب و جنوب منطقه مورد مطالعه ایشان بود [۳۰].



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعه شده در ایران، نقشه مدل رقومی و نقشه طبقات اقلیمی

در مقیاس میانگین ۸ روزه تهیه شده و دارای توان تفکیک یک کیلومتری است، استفاده شد. از مجموعه داده‌های ماهانه بارش و تبخیر- تعرق پتانسیل به عنوان متغیرهای اقلیمی در این تحقیق استفاده شد که از محصولات اقلیم و بیلان آب ماهانه دانشگاه آیداهو (TerraClimate) استفاده شد (IDAHO\_EPSCOR/TERRACLIMATE). این داده‌ها ورودی‌های مهمی را برای مطالعات اکولوژیکی و هیدرولوژیکی در مقیاس جهانی فراهم می‌کنند که به وضوح فضایی بالا و داده‌های متغیر زمانی نیاز دارند. همه داده‌ها دارای وضوح زمانی ماهانه و وضوح فضایی ~۴ کیلومتری (۲۴/۱ درجه) هستند. با کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین (<https://code.earthengine.google.com>) نقشه‌های میانگین سالانه در بازه ۲۰ ساله از سال ۲۰۰۰-۲۰۲۰ فراخوانی شدند و نقشه‌های میانگین سالانه برای ۲۰ سال استخراج شد. پس از کدنویسی در داخل گوگل ارث انجین پرودکتهای استخراج شده جهت پردازش تصویر در نرم‌افزار

## ۲.۲. روش پژوهش

### داده‌های مورد استفاده تحقیق

از معروفترین و کاربردیترین شاخص‌هایی که در زمینه مطالعات پوشش گیاهی شناخته شده، شاخص پوشش گیاهی تفاوت نرمال (NDVI) است. در این مطالعه از تولیدات MOD13Q1 سنجنده مودیس، سازمان ملی هوانوردی و فضایی (NASA) مقادیر NDVI در بازه زمانی ۱۶ روزه و وضوح مکانی ۲۵۰ متر استفاده شد. دمای سطح زمین (LST<sup>۱</sup>) به دلیل تأثیر بر میزان تشعشعات بازتاب شده از سطح زمین و تبادل انرژی بین سطح زمین و اتمسفر اهمیت بسیار داشته و آگاهی از آن در بیشتر مطالعات اقلیمی، زیست‌محیطی، فعالیت‌های کشاورزی، فعالیت‌های مدیریتی و منابع زمینی کاربرد دارد [۳۲]. از شاخص دمای سطح زمین محصولات سنجنده سطح ۳ MODIS با سیستم تصویر سینوسی از ماهواره Terra تحت عنوان MOD11A2

1. Land Surface Temperature

تعرق پتانسیل به دست آمده است [۳۶]. تعریف شاخص خشکی یونسکو (۱۹۷۹) به عنوان نسبت بارندگی به  $PET^1$  بیشترین استفاده را دارد [۳۷]. میانگین بارش و داده‌های PET برای یک سال یا یک فصل برای تخمین شاخص خشکی محاسبه می‌شود. شاخص خشکی آب‌وهوای یک منطقه را به پنج کلاس طبقه‌بندی می‌کند که در جدول ۱ آورده شده است. به بیان دیگر، مقدار بالاتر شاخص خشکی شرایط مرطوب‌تر را نشان می‌دهد، در حالی که مقدار کمتر شاخص نشان‌دهنده شرایط خشک‌تر است. بر اساس رابطه ۲ P بارندگی بر حسب میلی‌تر PET تبخیر- تعرق پتانسیل بر حسب میلی‌متر محاسبه می‌شود [۳۸].

$$AI = \frac{P}{PET} \quad (2)$$

جدول ۱. طبقه‌بندی شدت خشکی بر اساس شاخص خشکی [۳۷]

شدت خشکی	دامنه شاخص خشکی
خیلی خشک	$< 0.05$
خشک	$0.05 - 0.12$
نیمه‌خشک	$0.12 - 0.15$
نیمه‌مرطوب خشک	$0.15 - 0.165$
نیمه‌مرطوب تر	$0.165 - 0.175$
مرطوب	$0.175 <$

#### بررسی روند مکانی و زمانی تغییرات

در این پژوهش، تحلیل روند با روش من-کندال و نقطه شکست سری‌های زمانی با آزمون پتیت برای NDVI و AI و پارامترهای بارش، دمای سطح زمین (LST) در مقیاس زمانی سالانه در پهنه‌های مختلف اقلیمی استان فارس در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ به صورت تک‌به‌تک برای هر میکرواقلیم به صورت زمانی و مکانی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

#### محاسبه روند با استفاده از روش غیر پارامتریک من-کندال

آزمون من-کندال جزء متداول‌ترین و پرکاربردترین روش‌های ناپارامتریک تحلیل روندی سری‌های زمانی به شمار می‌رود. با استفاده از روش من-کندال تغییرات داده‌ها شناسایی شده و نوع و زمان آن مشخص می‌شود. آزمون ناپارامتری من-کندال ابتدا توسط Mann (1945)

ARCGIS10.8 وارد شد. آنالیزهای آماری در نرم‌افزار R صورت پذیرفت.

#### روش تحقیق

در تحقیق حاضر ابتدا میانگین سالانه دمای سطح زمین، میانگین بارش سالانه، میانگین تبخیر- تعرق پتانسیل، برای استان فارس با کدنویسی در سامانه گوگل ارث انجین محاسبه شد. سپس، نقشه میانگین سالانه NDVI در این سامانه برای ۲۰ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰) به صورت جداگانه اخذ شد و پارامترهای اصلاحی این تصاویر به روی آن‌ها اعمال شد. NDVI یک شاخص عددی است که از باندهای مرئی و مادون قرمز طیف الکترومغناطیسی استفاده می‌کند. محاسبات شاخص NDVI بر این اصل استوار است که گیاهان سبز فعال در حال رشد بخش مرئی طیف الکترومغناطیسی را به شدت جذب کرده و بخش مادون قرمز نزدیک را منعکس می‌کنند. مبنای محاسباتی این شاخص، اختلاف انعکاس طیفی محدوده مادون قرمز نزدیک (NIR) و باند قرمز (RED) به مجموع مقادیر مربوط به انعکاس طیفی این باندهاست که برای اولین بار توسط تاکر ۱۳۹۷ [۳۳] معرفی شد (رابطه ۱).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

مقادیر این شاخص بین +۱ تا -۱ است، که ارقام منفی یا کمتر از صفر نشان‌دهنده پهنه‌های آبی، پهنه‌های یخی و برف و از صفر تا ۰/۱ خاک بایر و سنگ است. ارقام بیشتر از ۰/۱ تا ۰/۸ نیز نشان‌دهنده انواع پوشش گیاهی، از پوشش‌های گیاهی مناطق بیابانی تا جنگل‌های حاره‌ای است. شاخص NDVI در ارتباط با عناصر اقلیمی مثل بارندگی، دما و تبخیر- تعرق در شرایط مختلف زیستی است [۳۴]. در مناطق خشک و نیمه‌خشک میانگین سالانه NDVI به شدت با تولید پوشش گیاهی همبستگی دارد و شاخص خوبی برای نشان دادن کاهش میزان تولید گیاهان است [۳۵].

#### محاسبه شاخص خشکی

شاخص خشکی (AI) اغلب برای تعیین کمیت شرایط آب‌وهوایی بلندمدت یک منطقه استفاده می‌شود. تعاریف متعددی از خشکی را می‌توان در ادبیات یافت که با استفاده از متغیرهای آب و هوایی مختلف مانند بارش، دما و تبخیر-

روند سری داده‌ها صعودی و در صورت منفی بودن آن، روند نزولی در نظر گرفته می‌شود.

#### محاسبه روند با استفاده از آزمون پتیت

پتیت نوعی آزمون ناپارامتری است که در سال ۱۹۷۹ توسط پتیت توسعه داده شد [۳۹]. در این آزمون فرض نرمال بودن سری زمانی نیست. این آزمون به طور گسترده در تعیین زمان تغییر در سری‌های زمانی اقلیمی و هیدرولوژیکی در سراسر جهان استفاده شده و یکی از روش‌های مهم آماری در تشخیص یک شیفت ناگهانی در سری زمانی است. دنبال‌هایی از متغیرهای تصادفی هیدروکلیماتولیک  $X_i$  را در نظر بگیرید، که  $i=1, \dots, \tau$  باشد. زمانی آزمون پتیت تغییر در نقطه  $\tau$  را معنادار می‌داند

که  $X_t$  برای  $(i=1, \dots, \tau)$  دارای تابع توزیع  $F_1(x)$  و  $X_t$  برای  $(t=\tau+1, \tau+2, \tau+3, \dots, T)$  دارای تابع توزیع  $F_2(x)$  بوده و  $F_1(x) \neq F_2(x)$  باشد. این آزمون دو فرض  $H_0: \tau = T$  برای نبود تغییر و  $H_1: \tau \neq T$  برای وجود روند را مقابل هم و آماره  $K_T$  را برای تست دو نمونه  $(X_1, \dots, X_t)$  و  $(X_{t+1}, \dots, X_T)$  از یک جامعه در نظر می‌گیرد

$$K_T = \max |U_{i,T}|, 1 \leq t < T$$

که در آن

$$U_{i,T} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=t+1}^T \text{sgn}(X_i - X_j) \quad (8)$$

احتمال اهمیت تقریبی  $K_T$  با  $P_{OA}$  تعیین شده و به صورت رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$P_{OA} = 2 \exp \left\{ \frac{-6(K^+)^2}{(T^3 + T^2)} \right\}; \quad T \rightarrow \infty \quad (9)$$

به طوری که  $P_{OA}$  احتمالی از تشخیص نقطه تغییر است. اگر ارزش عددی  $P_{OA}$  کمتر از ۰/۰۵ باشد، مشخص‌کننده تغییر قابل توجه در سری زمانی با توجه به سطح معناداری ۵ درصد است.

#### تحلیل همبستگی مکانی متغیرهای مورد بررسی

تحلیل همبستگی روشی است برای بررسی همبستگی ذاتی بین دو یا چند عنصر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه، همبستگی دما و بارش و شاخص خشکی با پوشش گیاهی محاسبه می‌شود. در این تحقیق نقشه‌ها

ارائه و سپس توسط Kendall (1975) بر پایه رتبه داده‌ها در یک سری زمانی بسط و توسعه یافت. در ادامه، مراحل محاسبه آماره این آزمون نشان داده شده است:

محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهدات با همدیگر و اعمال تابع علامت و استخراج پارامتر  $S$  به صورت رابطه ۳ است:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (3)$$

که در آن  $n$  تعداد مشاهدات سری، و  $x_j$  و  $x_i$  به ترتیب داده‌های زام و  $i$ ام سری هستند. تابع علامت نیز به صورت زیر (رابطه ۴) قابل محاسبه است:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

محاسبه واریانس توسط رابطه ۵ انجام می‌شود:

$$\text{var}(S) = \begin{cases} \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m i(i-1)(2i+5)}{18} & n > 10 \\ \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} & n \leq 10 \end{cases} \quad (5)$$

که در آن  $n$  تعداد داده مشاهده‌ای و  $m$  معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد.  $t$  بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان است. استخراج آماره  $Z$  به کمک رابطه ۶ است:

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\text{var}(s)} & s > 0 \\ 0 & s = 0 \\ \frac{s+1}{\text{var}(s)} & s < 0. \end{cases} \quad (6)$$

در یک آزمون دو دامنه برای روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه ۷ برقرار باشد:

$$|Z| < Z_{\frac{\alpha}{2}} \quad (7)$$

که در آن  $a$  سطح معناداری است که برای آزمون در نظر گرفته می‌شود و  $Z_a$  آماره توزیع نرمال استاندارد در سطح معناداری  $a$  است که با توجه به دو دامنه بودن آزمون، از  $\frac{a}{2}$  استفاده شده است. در صورتی که آماره  $Z$  مثبت باشد،

بیابانی گرم و کمترین بارش مربوط اقلیم فراخشک سرد است. کمترین بارش در سال ۲۰۰۸ و بیشترین بارش مربوط به سال ۲۰۱۹ است (شکل ۲-ب). بالاترین دما را مربوط به اقلیم فراخشک معتدل و فراخشک گرم و کمترین دما مربوط به اقلیم خیلی مرطوب سرد نشان می‌دهد. بیشترین دما در سال ۲۰۰۰ و کمترین متوسط دما در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۹ اتفاق افتاده است.

تحلیل زمانی روند متغیرهای مورد بررسی در جدول ۲ ارائه شد. نتایج تحلیل روند NDVI نشان می‌دهد روند NDVI در تمامی اقلیم‌ها مثبت بوده، اما عموماً روندهای افزایشی معنادار در اقلیم‌های مرطوب و خشک در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ رخ داده است. در همین اقلیم‌ها نیز روند AI کاهشی است و باران و LST فاقد روند هستند. براساس آزمون پتیت، نقطه تغییر روند شاخص خشکی در بیشتر اقلیم‌ها به جز اقلیم‌های فراخشک گرم و معتدل و خشک بیابانی گرم و معتدل و نیمه‌خشک گرم (بخش‌های جنوبی استان) منفی است، اما فقط در چهار اقلیم این روند معنادار بود که نقطه تغییر سال ۲۰۱۲ به بعد بوده است. بررسی روند بارش در اغلب مناطق فاقد روند است. البته، این روند فقط در اقلیم فراخشک معتدل و گرم در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنادار بودند که نقطه تغییر نیز سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ است. روند LST در تمامی اقلیم‌های سرد و مرطوب معتدل روند افزایشی (بی‌معنا) را نشان می‌دهد و در بقیه اقلیم‌ها این روند طی ۲۰ سال کاهش (بی‌معنا) پیدا کرده است و فقط این افزایش روند در اقلیم مرطوب معتدل معنادار بوده و بقیه از نظر آماری معنادار نبوده و همگی دارای P-value بزرگ‌تر از ۰/۰۵ هستند. نقطه تغییر این منطقه سال ۲۰۱۲ است.

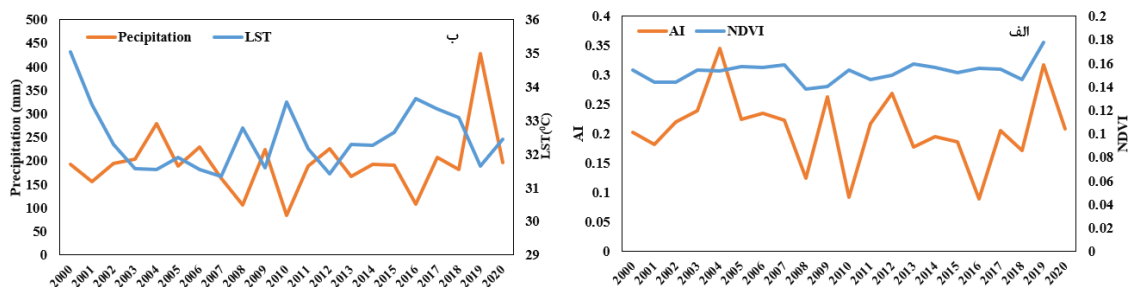
دارای قدرت تفکیک فضایی متفاوتی بودند، قبل از تحلیل ارتباط فضایی بین آن‌ها، اقدام به همسان‌سازی قدرت تفکیک فضایی آن‌ها شد. به منظور بررسی همبستگی بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و شاخص خشکی و متغیرهای اقلیمی دما و بارش از آنالیز همبستگی پیرسون استفاده شد. تحلیل همبستگی به صورت مکانی و پیکسل به پیکسل در محیط نرم‌افزاری R 3.5.1 اجرا شد که از سایت مربوط<sup>۱</sup> به توسعه این نرم‌افزار به صورت رایگان دانلود و اجرا شد.

### ۳. نتایج

#### روند تغییرات زمانی متغیرهای مورد بررسی

بررسی متوسط ۲۰ ساله شاخص پوشش گیاهی NDVI، بارندگی، دما و شاخص خشکی در پهنه‌های مختلف اقلیمی استان فارس در شکل ۲ (الف و ب) به صورت متوسط در تمام اقلیم‌ها نشان داده شده است. براساس نتایج متوسط NDVI در منطقه ۰/۱۵ است و بالاترین آن در اقلیم مدیترانه‌ای معتدل (۰/۲۶) و پس از آن، در اقلیم نیمه‌مرطوب معتدل و کمترین مقادیر در اقلیم فراخشک فراسرد (۰/۰۹) و فراخشک سرد و پس از آن خشک بیابانی فراسرد و فراخشک گرم مشاهده می‌شود که بالاترین مقادیر NDVI برای تمامی اقلیم‌ها در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ و کمترین آن مربوط به سال ۲۰۱۸ است (شکل ۲-الف). متوسط AI در منطقه ۰/۲ است که بیشترین آن مربوط به اقلیم خیلی مرطوب سرد (۰/۳۸) و کمترین مقدار آن مربوط به فراخشک گرم (۰/۱۳) است. بیشترین مقادیر میانگین این شاخص مربوط به سال ۲۰۰۴ و پس از آن ۲۰۱۹ است و کمترین این مقدار مربوط به سال ۲۰۱۰ است.

متوسط تغییرات بارش در منطقه ۱۹۶ میلی‌متر است، که بیشترین مربوط به اقلیم فراخشک گرم و خشک



شکل ۲. متوسط تغییرات AI و NDVI (الف) و بارش و دمای سطح زمین (ب) در استان فارس در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰

جدول ۲. نتایج آزمون زمانی روند من- کندال و پتیت NDVI، AI، LST و بارش در دو دهه گذشته

شاخص‌ها	NDVI			AI			P			LST		
	Z	U	year	Z	U	year	Z	U	Year	Z	U	year
پهنه‌های اقلیمی												
فراخشک سرد	0.76	37	2004	-1.66	64	2013	0.51	38	2017	1.30	52	2015
فراخشک فراسرد	1.18	53	2004	-1.72	72	2013	0.63	38	2017	0.63	50	2016
خشک بیابانی سرد	1.12	36	2013	-1.33	50	2013	0.09	38	2019	0.51	42	2008
خشک بیابانی فراسرد	2.15*	71	2010	-1.96*	76	2013	0.75	40	2017	1.42	58	2015
خیلی مرطوب سرد	2.87*	83*	2010	-2.20*	74	2013	0.57	38	2017	1.84	64	2010
مرطوب معتدل	2.93*	84*	2012	-1.78	66	2013	0.75	40	2017	2.93*	84	2012
خیلی مرطوب معتدل	0.15	38	2019	-1.82	52	2010	0.03	36	2019	1.30	50	2014
نیمه مرطوب گرم	2.27*	74	2013	-1.96*	64	2013	0.27	36	2017	1.54	56	2013
مرطوب سرد	2.93*	97*	2012	-1.48	50	2013	0.15	34	2017	0.15	40	2016
نیمه مرطوب معتدل	2.09*	78*	2013	-1.06	56	2008	0.15	38	2017	0.03	32	2002
خیلی مرطوب گرم	1.96*	70	2013	-1.54	50	2013	0.09	36	2017	-0.09	34	2002
مدیترانه‌ای معتدل	0.63	38	2019	-0.88	58	2007	-0.15	46	2007	-0.33	40	2018
مدیترانه‌ای گرم	1.48	58	2012	-1.54	56	2013	-0.09	40	2007	-0.33	46	2018
نیمه خشک گرم	0.45	38	2019	0	36	2019	0.39	40	2017	-1.48	54	2018
خشک بیابانی معتدل	1.18	48	2016	0.57	38	2017	1.00	44	2017	-1.84	54	2018
خشک بیابانی گرم	0.94	48	2014	0.69	44	2017	1.00	44	2017	-1.84	54	2018
فراخشک معتدل	1.06	60	2016	1.96*	60	2012	2.08*	62	2012	-1.66	52	2018
فراخشک گرم	1.48	66	2016	2.45*	72	2012	2.63*	80	2013	-1.72	52	2018

پیکسل‌هایی که با رنگ نارنجی نمایش داده شده‌اند، مقادیر بینابینی طی دوره مطالعه شده است که بدون تغییر پوشش گیاهی باقی مانده است. شکل ۳-الف روند شاخص پوشش گیاهی NDVI در سطح استان را نشان می‌دهد. تغییرات طی سال‌ها قابل توجه بود، به طوری که حداکثر روند پوشش گیاهی شاخص NDVI با مقادیر ۰/۸۳ و حداقل روند پوشش گیاهی در استان فارس ۰/۶۸- و مقادیر صفر بدون تغییر بوده است. پیکسل‌هایی که کاهش روند را نشان می‌دهند، بیشتر در مناطق مرکزی که دارای اقلیم خیلی مرطوب معتدل و مناطق شرقی با اقلیم فراخشک سرد و همچنین، به صورت پراکنده در مناطق غربی استان مشاهده می‌شود. افزایش روند بیشتر در مناطق شمالی که دارای اقلیم مرطوب بودند و پس از آن، مناطق جنوبی که دارای اقلیم خشک بیابانی هستند، دیده شد. در کل سطح استان، ۲۰ درصد از کل پیکسل‌ها روند کاهشی و ۷۸ درصد روند افزایشی و ۰/۱ درصد بدون تغییر را برای میانگین سالانه NDVI نشان دادند. جدول ۳ به طور خلاصه مقادیر روند و درصد مساحت استان و معناداری مقادیر روند شاخص‌ها نشان داده شده است.

#### تحلیل مکانی روند در نمونه‌های اقلیمی مورد بررسی

تجزیه و تحلیل روند شاخص پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص خشکی، بارش و دما مبتنی بر پیکسل برای درک روند خاص و تغییرات این متغیرها طی دوره مطالعه در استان فارس انجام شد. نکته بسیار مهمی که در بررسی روند باید به آن توجه شود، بررسی معنادار بودن روند در سطح احتمالاتی ۰/۰۵ است، که در این تحقیق به آن توجه شده، به طوری که این بررسی به صورت پیکسلی در قالب نقشه‌های مجزا برای تمامی روندهای مورد بررسی آورده شده است. برای این نقشه‌ها برای هر پیکسل به طور جداگانه معنادار بودن روندها از لحاظ آماری مورد آزمون قرار گرفت که در بالای سمت راست نقشه‌های طبقه‌بندی شده روند آورده شده است (شکل ۳).

روندها با استفاده از سری زمانی داده‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با استفاده از نرم‌افزار R ترسیم شد (شکل ۳ الف-د). در این نقشه‌ها مقادیر مثبت با رنگ سبز نشان‌دهنده افزایش روند متغیر در سطح استان فارس طی دوره مطالعه شده است و مقادیر منفی که به رنگ زرد نمایش داده شده کاهش پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. همچنین،

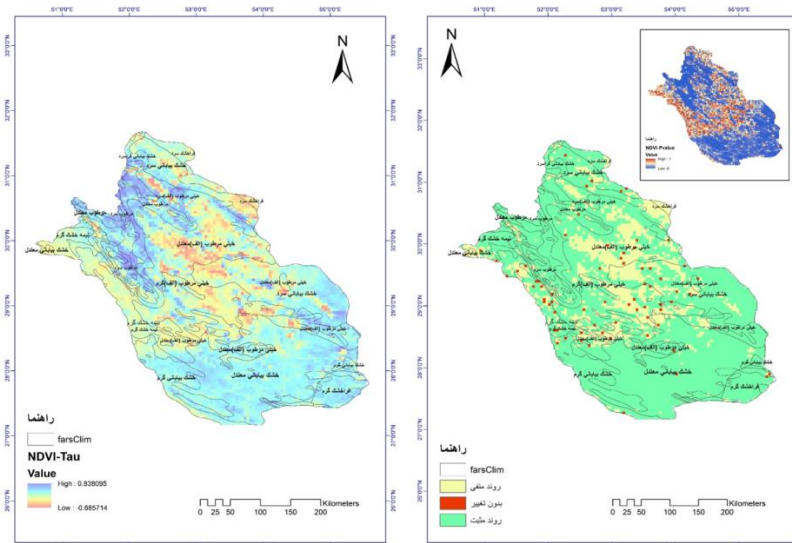


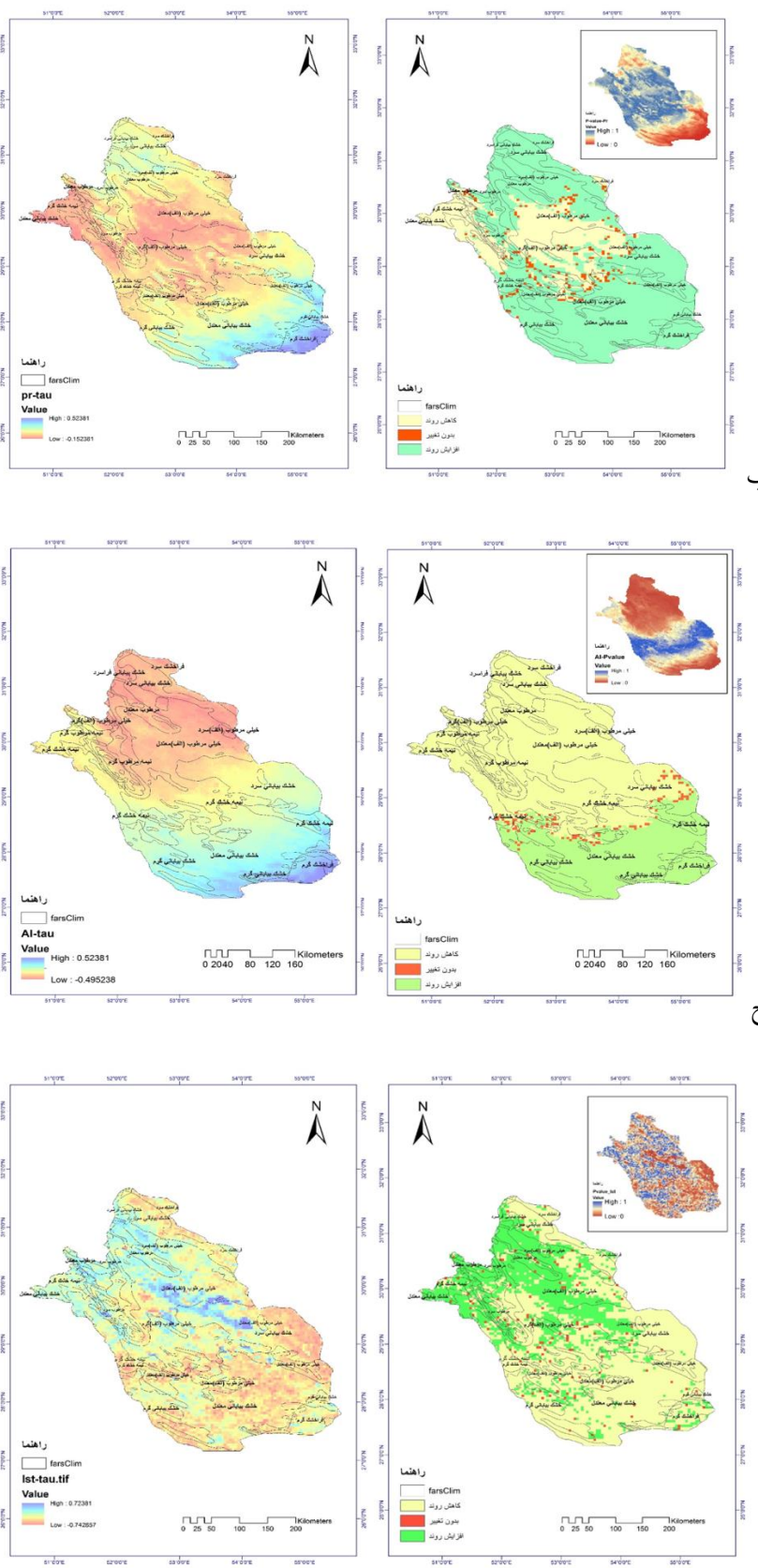
مناطقی که افزایش روند مشاهده می‌شود، مقدار روند ناچیز بوده است. به طور کل، ۷۲ درصد از منطقه دارای روند مثبت که در شکل (۳-ب) به رنگ سبز نمایش داده شده و در ۲۴/۸ درصد از منطقه دارای روند منفی بوده (رنگ زرد) و در ۳/۲ درصد از منطقه تغییری مشاهده نشده است. مناطق مرکزی استان که بیشتر دارای اقلیم مدیترانه‌ای معتدل و مدیترانه‌ای گرم هستند، شاهد کاهش روند بارش هستیم.

دامنه تغییرات میانگین دما در استان حداقل ۰/۷۴- تا حداکثر ۰/۷۲ است (شکل ۳-د). مناطقی از استان که بیشترین مقادیر روند را داشتند، در مناطق شمالی با ارتفاعات بالا و مناطق مرکزی با ارتفاعات پایین‌تر بوده است که اقلیم‌های این مناطق مدیترانه‌ای معتدل و مدیترانه‌ای گرم بوده است. همچنین، مناطقی که کاهش روند دمای سطح زمین در منطقه را داشتند، بیشتر در مناطق جنوبی استان با ارتفاعات کم که دارای اقلیم‌های فراخشک گرم و معتدل و خشک بیابانی گرم و معتدل و نیمه‌خشک گرم هستند، مشاهده می‌شود. مناطق شمال شرق استان در ارتفاعات بالا که اقلیم فراخشک سرد و فراسرد و خشک بیابانی فراسرد دارد. به طور کل، بیشتر مناطق استان، دارای روند کاهشی دمای سطح زمین طی بازه زمانی ۲۰ ساله بودند به طوری که ۳۲/۱ درصد از استان دارای روند مثبت، در حالی که ۶۵/۹ درصد دارای روند منفی بودند و ۱/۸ درصد از منطقه مورد مطالعه بدون تغییر مانده است (جدول ۳).

نتایج آزمون روند من-کندال برای روندهای سالانه داده‌های شاخص خشکی در شکل (۳-د) نشان داده شده است. نتایج حاصل از بررسی روند در منطقه مورد مطالعه نشان داد قوی‌ترین روند مثبت شاخص خشکی با مقادیر ۰/۵۲ در قسمت‌های شمالی منطقه که دارای اقلیم‌های خیلی مرطوب سرد و خشک بیابانی فراسرد و مدیترانه‌ای معتدل و نیمه‌مرطوب معتدل هستند و حداقل روند شاخص خشکی در مناطق جنوبی با مقادیر ۰/۴۹- و اقلیم فراخشک گرم و معتدل و خشک بیابانی گرم و معتدل قرار دارد. بیشتر سطح استان شاهد کاهش روند شاخص خشکی با ۶۵/۲ درصد هستیم، در تمامی پهنه‌های اقلیمی به جز پهنه‌های اقلیمی فراخشک معتدل و فراخشک گرم و خشک بیابانی گرم که در مناطق جنوبی منطقه قرار دارند، دارای روند مثبت هستند. روند افزایشی بارش در جنوب استان و همچنین، کاهش روند دمای سطح زمین عامل کاهش روند خشکی در این مناطق بودند. به طور مشابه، افزایش خشکی در مناطق مرکزی و شمالی به روند کاهشی بارش قابل توجه و روند افزایشی دما نسبت داده شد.

روند تغییرات بلندمدت میانگین سالانه بارش در شکل (۳-ب) آورده شده است. دامنه تغییرات فاکتور بارش بین ۰/۱۵- تا ۰/۵۲ میلی‌متر است. بارش در بیشتر منطقه دارای روند افزایشی بوده، اما این افزایش روند فقط در جنوب استان قابل توجه بوده است که اقلیم فراخشک گرم و معتدل و خشک بیابانی گرم و معتدل دارد، در حالی که در بیشتر





شکل ۳. روند تغییرات میانگین الف (NDVI؛ ب) بارش؛ ج) شاخص خشکی؛ د) دمای سطح زمین با استفاده از روش من-کندال در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ در استان فارس

جدول ۳. سطح روند تغییرات NDVI و شاخص خشکی و متغیرهای اقلیمی بارش و LST

متغیر	نوع روند	تعداد پیکسلها	درصد مساحت	درصد مساحت معنادار (Pvalue < 0.05)
NDVI	روند مثبت	5097	78.1	26.16
	بدون تغییر	67	1	0.33
	روند منفی	1362	20.8	6.97
AI	روند مثبت	2152	32.97	4.18
	بدون تغییر	113	17	2.15
	روند منفی	4261	65.2	8.26
بارش	روند مثبت	4740	72	3.6
	بدون تغییر	199	3.2	0.16
	روند منفی	1587	24.8	1.24
LST	روند مثبت	2096	32.1	1.79
	بدون تغییر	123	1.8	0.10
	روند منفی	4307	65.9	3.69

NDVI وجود دارد. ضریب همبستگی بالا نشان می‌دهد ارتباط قوی بین بارش و NDVI وجود دارد و دلیل منفی بودن ضریب همبستگی می‌توان نبود پوشش گیاهی در مناطق جنوبی یا دمای خیلی پایین و منفی هوا و وجود برف در شمال و شمال شرق استان اشاره کرد. هرچه منطقه خشک‌تر و گرم‌تر باشد، ضریب همبستگی NDVI با بارش زیاد می‌شود. بالاترین میزان همبستگی بین بارش و NDVI  $0.81$  و کمترین مقدار آن  $-0.74$  بود. همبستگی در  $92/1$  درصد از سطح استان مثبت، که از این مقدار  $32/5$  درصد معنادار بود، در حالی که همبستگی NDVI و بارش  $7/9$  درصد منفی بوده و تنها  $2/82$  از آن معنادار بود. شکل (۴-ب) پراکنش همبستگی NDVI با دمای سطح زمین را نشان می‌دهد. در بیشتر سطح استان رابطه بین دما و NDVI منفی است و مقادیر ضریب همبستگی آن بین  $-0.92$  تا  $0.95$  بود که  $91/4$  درصد دارای همبستگی منفی و  $8/6$  درصد همبستگی مثبت است. همبستگی منفی از نظر مکانی تقریباً در تمامی مناطق قابل مشاهده است. نتایج نشان می‌دهد همبستگی با دما در تمامی اقلیم‌ها منفی است (جدول ۷) و قوی‌ترین این همبستگی در اقلیم‌های فراخشک سرد در شمال شرق و مدیترانه‌ای معتدل که در شمال غرب استان واقع شده و سطح کمی از اقلیم استان را دارد. کمترین مقادیر همبستگی در اقلیم فراخشک گرم و فراخشک معتدل در

#### همبستگی مکانی NDVI با متغیرهای اقلیمی و شاخص خشکی

برای بررسی همبستگی متغیرهای اقلیمی و شاخص خشکی با شاخص NDVI از روش آماری پیرسون به صورت پیکسلی برای تمام پیکسل‌های هر تصویر در محیط نرم‌افزار R پرداخته شد. نتایج همبستگی پیرسون از کیفیت و دقت بیشتری نسبت به اسپیرمن برخوردار است، بنابراین در عمل از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. جدول ۵ نتایج همبستگی در سطح استان را نشان می‌دهد و پراکنش مکانی همبستگی NDVI و متغیرهای بارش و دما و شاخص خشکی در شکل ۴ آورده شده است. در تمامی اقلیم‌های مختلف استان میزان همبستگی و نوع همبستگی و مساحت آن را در هر پهنه مشخص شدند که نتایج آن در جدول ۵ آورده شده است. به عنوان مثال، همبستگی NDVI با بارش در اقلیم خشک بیابانی فراسرد  $95/52$  درصد از سطح اقلیم دارای همبستگی مثبت است و  $4/48$  درصد همبستگی منفی است. جدول ۶ مقادیر ضریب همبستگی را در پهنه‌های اقلیمی مختلف استان بیان می‌کند. نتایج نشان می‌دهد بیشترین میزان همبستگی با بارش در پهنه اقلیمی فراخشک گرم و فراخشک معتدل مشاهده می‌شود که دارای همبستگی مثبت است. کمترین میزان همبستگی در پهنه مدیترانه معتدل است. در تمامی پهنه‌ها رابطه مستقیم بین بارش و

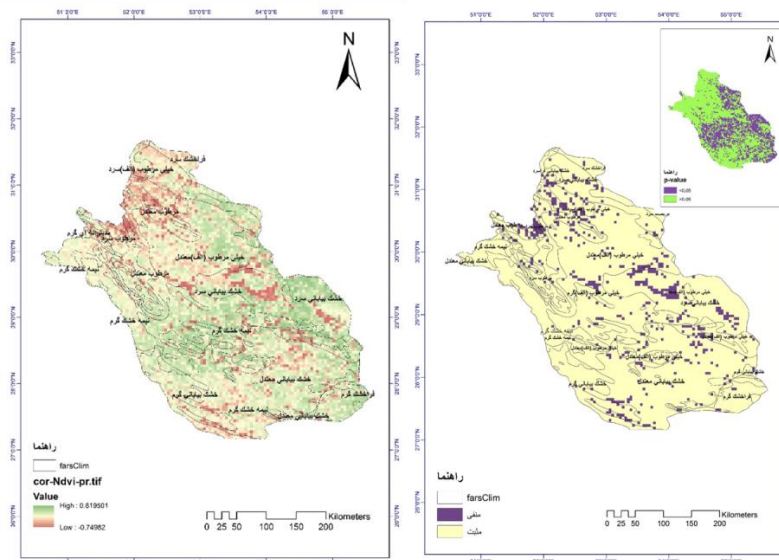
مقادیر همبستگی در مناطق جنوبی و جنوب شرقی و جنوب غربی (۰/۷۷) و کمترین در مناطق شمالی (۰/۵۱-) قرار گرفتند. مقادیر ضریب همبستگی مکانی بین NDVI و شاخص خشکی (AI) در پهنه‌های مختلف اقلیمی استان نشان می‌دهد بیشترین همبستگی مربوط به اقلیم فراخشک گرم و فراخشک معتدل است که این همبستگی تقریباً در تمامی سطح این اقلیم همبستگی مثبت دارد. همچنین، جدول ۷ نشان می‌دهد رابطه همبستگی NDVI با شاخص خشکی در تمامی اقلیم‌ها دارای همبستگی مثبت است جز در اقلیم بیابانی فراسرد و خیلی مرطوب سرد و مرطوب معتدل که دارای همبستگی منفی است.

جنوبی‌ترین سطح استان بودند. همبستگی منفی و معنادار بین NDVI و دما در مقایسه با همبستگی مثبت NDVI و بارش بیشتر بود. مناطق بسیار کمی با همبستگی منفی و معنادار بین NDVI و بارش وجود داشت. این همبستگی پیکسلی نشان داد NDVI به طور کلی با دما همبستگی منفی و با بارش همبستگی مثبت در بیشتر سطح استان دارد.

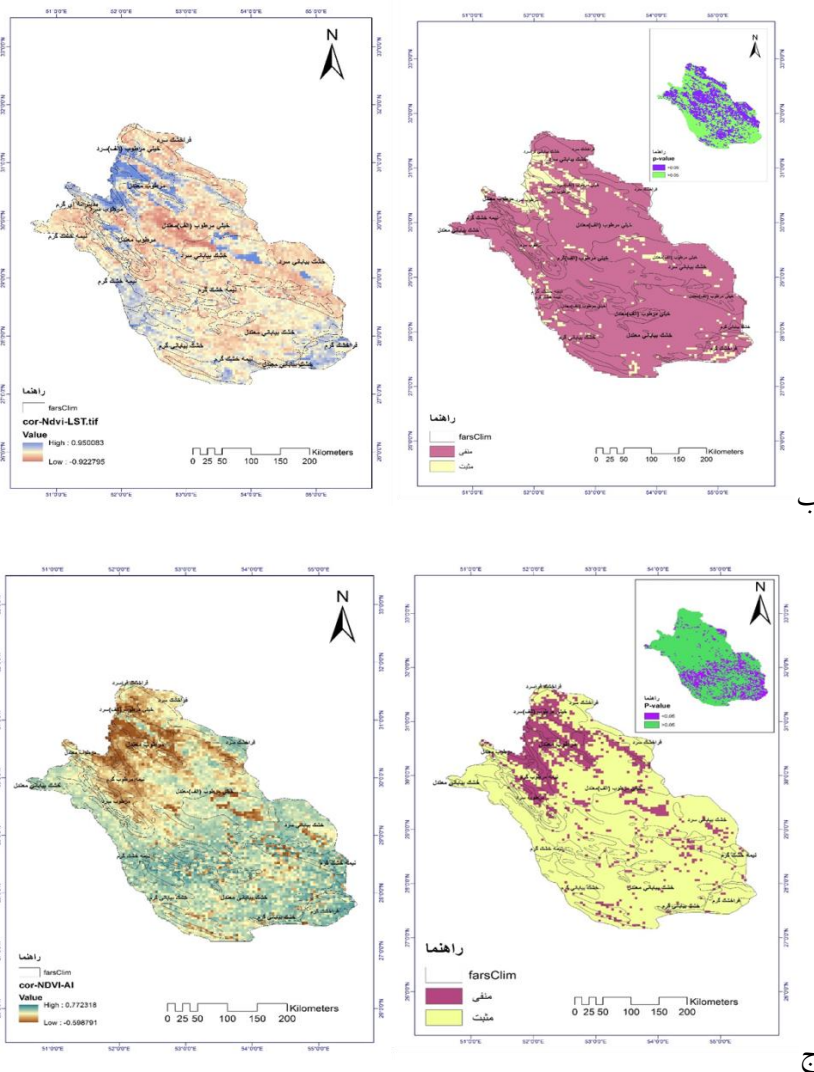
نتایج پراکنش مکانی ضریب همبستگی NDVI و شاخص خشکی در شکل (۴-ج) نشان می‌دهد بیشتر مناطق استان تقریباً ۶۴ درصد از سطح دارای همبستگی مثبت و ۳۶ درصد همبستگی منفی مشاهده شد. بالاترین

جدول ۴. سطح همبستگی NDVI و فاکتورهای اقلیمی و شاخص خشکی در سطح استان فارس در بازه ۲۰۰۰-۲۰۲۰

نوع همبستگی	درصد مساحت در سطح تمام اقلیم‌ها	درصد مساحت معنادار (Pvalue < 0.05)
شاخص خشکی	مثبت	18.27
	منفی	3.72
بارش	مثبت	32.53
	منفی	2.82
دمای سطح زمین	مثبت	3.66
	منفی	39.3



الف



شکل ۴. پراکنش مکانی همبستگی NDVI و الف) بارش ب) دمای سطح زمین ج) شاخص خشکی در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰ در استان فارس

جدول ۵. سطح همبستگی مکانی بین NDVI و بارش و دما و شاخص خشکی در پهنه‌های اقلیمی استان فارس در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰

پهنه‌های اقلیمی	مساحت اقلیم (Km <sup>2</sup> )	نوع همبستگی	درصد مساحت بارش	درصد مساحت LST	درصد مساحت AI
خشک بیابانی فراسرد	761.99	منفی	4.48	75.60	67.73
		مثبت	95.52	24.40	32.27
مرطوب معتدل	6368.31	منفی	10.56	70.84	61.14
		مثبت	89.44	29.16	38.86
خیلی مرطوب (الف) معتدل	33238.34	منفی	6.50	92.99	17.67
		مثبت	93.50	7.01	82.33
خیلی مرطوب (الف) سرد	1275.07	منفی	14.20	59.18	73.95
		مثبت	85.80	40.82	26.05
نیمه مرطوب گرم	2991.27	منفی	8.46	85.09	45.29
		مثبت	91.54	14.91	54.71
مرطوب سرد	2497.20	منفی	7.51	74.62	30.35
		مثبت	92.49	10.46	69.65

ادامه جدول ۵. سطح همبستگی مکانی بین NDVI و بارش و دما و شاخص خشکی در پهنه‌های اقلیمی استان فارس در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰

پهنه‌های اقلیمی	مساحت اقلیم (Km <sup>2</sup> )	نوع همبستگی	درصد مساحت بارش	درصد مساحت LST	درصد مساحت AI
نیمه‌مرطوب معتدل	138.34	منفی	1.32	82.74	38.44
		مثبت	98.68	17.26	61.56
خیلی مرطوب (الف) گرم	1029.02	منفی	14.85	80.33	29.31
		مثبت	85.15	19.67	70.69
مدیترانه‌ای گرم	739.88	منفی	10.82	83.81	23.32
		مثبت	89.18	16.19	76.68
خشک بیابانی معتدل	25623.82	منفی	4.23	97.69	3.80
		مثبت	95.77	2.31	96.20
خشک بیابانی گرم	7483.66	منفی	3.90	95.57	3.55
		مثبت	96.10	4.43	96.45
فراخشک معتدل	768.20	منفی	0.18	84.71	0.81
		مثبت	99.82	15.29	99.19
فراخشک گرم	2785.53	منفی	1.85	100.00	2.26
		مثبت	98.15	0.00	97.74
فراخشک سرد	2314.74	منفی	2.31	100.00	90.92
		مثبت	97.69	0.00	9.08
فراخشک فراسرد	42.93	منفی	0.00	100.00	36.19
		مثبت	100.00	0.00	63.81
خشک بیابانی سرد	19234.81	منفی	9.76	94.28	15.86
		مثبت	90.24	5.72	84.14
نیمه‌خشک گرم	13858.10	منفی	3.47	97.15	3.52
		مثبت	96.53	2.85	96.48
مدیترانه‌ای معتدل	283.71	منفی	5.49	100.00	3.09
		مثبت	94.51	0.00	96.91

جدول ۶. مقادیر میانگین ضرایب همبستگی NDVI و بارش و دمای سطح زمین و شاخص خشکی در پهنه‌های اقلیمی استان فارس در

بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۲۰

پهنه اقلیمی	بارش	LST	AI
فراخشک سرد	0.31	-0.51	0.22
فراخشک فراسرد	0.25	-0.41	0.08
خشک بیابانی سرد	0.36	-0.40	0.23
خشک بیابانی فراسرد	0.27	-0.26	-0.09
خیلی مرطوب (الف) سرد	0.25	-0.06	-0.12
مرطوب معتدل	0.24	-0.18	-0.04
خیلی مرطوب (الف) معتدل	0.35	-0.40	0.21
نیمه‌مرطوب گرم	0.27	-0.29	0.04
مرطوب سرد	0.28	-0.29	0.09
نیمه‌مرطوب معتدل	0.34	-0.22	0.13
خیلی مرطوب (الف) گرم	0.30	-0.27	0.12
مدیترانه‌ای معتدل	0.21	-0.50	0.19
مدیترانه‌ای گرم	0.24	-0.29	0.15
نیمه‌خشک گرم	0.37	-0.37	0.36
خشک بیابانی معتدل	0.34	-0.36	0.34
خشک بیابانی گرم	0.31	-0.27	0.33
فراخشک معتدل	0.41	-0.12	0.43
فراخشک گرم	0.42	-0.13	0.43

## ۴. بحث

مرکزی که دارای اقلیم خیلی مرطوب معتدل و مناطق شرقی با اقلیم فراخشک سرد بوده است که مهم‌ترین دلیل آن افزایش دما، افزایش تبخیر و تعرق بالقوه و کاهش بارش‌ها و تغییرات کاربری اراضی است. در ۷۸ درصد منطقه افزایش روند NDVI مشاهده شد که بیشتر در مناطق جنوبی با اقلیم خشک و فراخشک گرم هستند.

نتایج حاصل از همبستگی مکانی بین NDVI و بارش در تمامی اقلیم‌ها مثبت بود و به طور کل در ۳۲/۵ درصد از سطح استان همبستگی مثبت معنادار و ۲/۸ درصد همبستگی منفی معنادار وجود دارد. دلیل منفی بودن ضریب همبستگی می‌توان به نبود پوشش گیاهی یا دمای خیلی پایین و منفی هوا و وجود برف در مناطق اشاره کرد. نمایی و نیکولسون رابطه منفی بین بارش و NDVI در مناطق مرطوب نیز گزارش کردند [۴۵ و ۴۶]. بیشترین مقادیر ضریب همبستگی با بارش در پهنه اقلیمی فراخشک گرم و فراخشک معتدل مشاهده می‌شود. کمترین میزان همبستگی در پهنه مدیترانه معتدل است و هرچه منطقه خشک‌تر و گرم‌تر باشد ضریب همبستگی NDVI با بارش زیاد می‌شود. ارتباط قوی بین بارش و NDVI در این اقلیم‌ها وجود دارد.

در محیط‌های خشک بارش مهم‌ترین عامل کنترل فرایندهای اکوسیستمی محسوب می‌شود [۴۶]. فاکتور بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش اساسی در رشد و تولید گیاه دارد. با افزایش بارش و افزایش رطوبت خاک و به دنبال آن افزایش فتوسنتز گیاه می‌شود. در مناطق خشک نیز رابطه مثبت بین بارش و NDVI و رابطه منفی بین دما و NDVI نشان داده شده است که مبین محدود شدن رشد گیاهی ناشی از قابلیت دسترسی به رطوبت است [۴۷].

پراکنش همبستگی NDVI با دمای سطح زمین نشان داد در بیشتر سطح استان رابطه بین دما و NDVI منفی است و در ۹۱/۴ درصد از سطح همبستگی منفی و ۸/۶ درصد همبستگی مثبت دارد. قوی‌ترین این همبستگی در اقلیم‌های فراخشک سرد در شمال شرق و مدیترانه‌ای معتدل که در شمال غرب استان واقع شده که بیشتر مساحت آن همبستگی منفی است. دما علاوه بر اینکه بر فتوسنتز گیاه و تنفس آن تأثیر می‌گذارد باعث افزایش تبخیر تعرق شده و کاهش رطوبت خاک و به دنبال آن

مطالعه حاضر با هدف روند تخریب اراضی با تأکید بر NDVI و متغیرهای اقلیمی صورت گرفت. روند NDVI در بیشتر اقلیم‌های استان روند خاصی ندارد و در مناطقی که شدت روند بالا و معنادار است، عموماً نقطه تغییر از سال ۲۰۱۰ به بعد است. نتایج پژوهش گندمکار و دهقانی [۴۰] و کشاورز [۴۱] نشان داد استان فارس طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ شاهد خشکسالی‌های فراگیری در اغلب اقلیم‌ها بوده است. مقدار AI جز در مناطق خشک و فراخشک جنوبی استان رو به کاهش است. به این معنا که در بیشتر مناطق فارس شاهد کاهش نسبت بارش به تبخیر بالقوه (افزایش تبخیر) هستیم و روند تخریب رو به افزایش خواهد بود. نتایج پژوهش اسکندری و همکاران [۴۲] نیز مؤید همین مطلب است. در مناطق جنوبی افزایش روند بارش و کاهش روند دما دلیل افزایش روند شاخص خشکی در این مناطق بودند و کاهش روند شاخص خشکی در مناطق مرکزی و شمالی به روند کاهشی بارش و روند افزایشی دما نسبت داده شده است. نتایج پژوهش اسکندری در فارس نشان داد روند دما در بخش‌های مرکزی و شمالی رو به افزایش است.

بررسی روند بارش نیز نشان داد در مناطق گرم و معتدل که بارش کاهش داشته و روند شاخص خشکی و دما نیز کاهش داشته در عین حال روند NDVI افزایشی بوده است، اما این افزایش روند معنادار نبوده است و در اقلیم‌های نیمه‌خشک گرم، خشک بیابانی گرم و معتدل و فراخشک گرم و معتدل که روند شاخص خشکی افزایشی است، یعنی خشکی کاهش یافته و روند بارش افزایشی و روند دمای سطح زمین کاهشی است و NDVI نیز در این مناطق طی ۲۰ سال روند افزایشی را نشان می‌دهد بیانگر آن است که بارش عامل مهمی در مناطق خشک‌تر است که منابع آب در آن کمبود نسبی دارند. هر مقدار از بارش در افزایش رشد گیاهان مؤثر نیست بارش کم به سرعت تبخیر می‌شود و ممکن است مقداری از آن تبدیل به رواناب شود و خاک اشباع شود. همچنین، شدت بارش نیز باعث ایجاد رواناب و اشباع شدن خاک و تخریب پوشش گیاهی شود [۴۳].

الگوی مکانی روند NDVI نشان می‌دهد در ۲۱ درصد سطح استان کاهش روند مشاهده شده که بیشتر در مناطق

می‌کند [۵۰-۵۲]. پوشش گیاهی در معرض تغییرات اقلیمی است که باعث کاهش و تغییر مکانی و زمانی آن‌ها در شرایط طبیعی می‌شود. با این حال، مداخله انسان نیز بر روند تخریب تأثیرگذار است. خاک لخت و در معرض فرسایش، دامداری، چرای بیش از حد و استفاده از چوب به عنوان منبع انرژی (هیزم و زغال چوب) از جمله عوامل تأثیرگذار بر تخریب هستند. برخی از مطالعات نشان داده‌اند که چگونه شرایط آب‌وهوایی ممکن است به طور غیرمستقیم تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی مانند حذف پوشش گیاهی و استفاده نامناسب از زمین قرار گیرد [۵۳]. به دنبال تغییرات آب‌وهوایی تغییرات هیدرولوژیکی همراه خواهد شد که با افزایش دما، افزایش خشکی، کاهش رواناب و خاک‌های خشک تر همراه است. از این‌رو نظارت مستمر بر این متغیرها مهم است، زیرا اولین نشانه‌های این تغییرات رخ داده است. باید مراقب تغییرات آماری قوی در پارامترهای اصلی کلیدی مانند دما و بارندگی باشیم، که منابع محرک تغییرات اقلیمی هستند که ممکن است بر سیستم‌های اجتماعی و محیطی در آینده تأثیر بگذارند.

#### منابع

- [1]. Sanjuán, M. E., del Barrio, G., Ruiz Moreno, A., Rojo, L., Puigdefábregas, J., Martínez, A. Evaluación y seguimiento de la desertificación en España: Mapa de la Condición de la Tierra 2000-2010. 2014; 08.
- [2]. Alves TLB, de Azevedo PV, Costa dos Santos CA. Influence of climate variability on land degradation (desertification) in the watershed of the upper Paraíba River. Theoretical and Applied Climatology. 2017; 127(3), 741-751.
- [3]. Geist HJ, Lambin EF. Dynamic causal patterns of desertification. Bioscience. 2004; 54(9), 817-829.
- [4]. Wu S, Yin Y, Zheng D, Yang Q. Aridity/humidity status of land surface in China during the last three decades. Science in China Series D: Earth Sciences. 2005; 48(9), 1510-1518.
- [5]. Zhang Q, Xu YC, Zhang Z. Observed changes of drought/wetness episodes in the Pearl River basin, China, using the standardized precipitation index and aridity index. Theoretical and Applied Climatology. 2009; 98(1), 89-99.

کاهش رشد گیاه و پوشش گیاهی منطقه می‌شود. همچنین، افزایش دما باعث افزایش خشکی شده که رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و روند پوشش گیاهی را کم می‌کند [۴۸ و ۴۹].

در بیشتر سطح استان (۶۴ درصد) ضریب همبستگی NDVI و شاخص خشکی مثبت (افزایش AI سبب افزایش NDVI) و ۳۶ درصد همبستگی منفی مشاهده شد. بیشترین همبستگی مربوط به اقلیم فراهشک گرم و فراهشک معتدل. در تمامی اقلیم‌ها همبستگی مثبت بین NDVI و شاخص خشکی وجود دارد جز در اقلیم بیابانی فراسرد و خیلی مرطوب سرد و مرطوب معتدل که دارای همبستگی منفی است. در این مناطق نسبت بارش به تبخیر بالاتر بوده، اما عامل پایین بودن دما سبب کاهش رشد پوشش گیاهی شده است. در این اقلیم عموماً بارش‌ها از نوع برف است. در مناطق خشک یک رابطه مثبت بین بارش و یک رابطه منفی بین دما و نشان می‌دهد در این مناطق قابلیت دسترسی به رطوبت رشد گیاهی را محدود می‌سازد [۴۷].

#### ۵. نتیجه‌گیری

یکی از جنبه‌های مهم این مطالعه، تحلیل مؤلفه‌های اقلیم به عنوان تأثیر متغیر بارندگی و شاخص خشکی و دما بر روند تخریب پوشش گیاهی و تخریب اراضی (بیابان‌زایی) در استان فارس است. نتایج حاصل از روند ۲۰ ساله نقشه پوشش گیاهی نشان داد در بخش‌های مرکزی شاهد تخریب پوشش گیاهی بودیم که این تخریب متأثر از مؤلفه‌های اقلیمی بودند، به طوری که در بخش مرکزی و شمالی استان روند خشکی افزایش قابل توجهی داشته و روند بارش در این منطقه کاهشی و روند دما نیز طی دوره افزایشی بوده است. در حالی که در بخش جنوبی استان که دارای اقلیم خشک بیابانی و فراهشک گرم است، شاهد افزایش روند بارش و کاهش روند LST و خشکی بودیم و روند پوشش گیاهی در این مناطق طی دوره افزایشی بود. الگوی مکانی روند بارندگی و شاخص خشکی که حداقل مقادیر بارندگی با حداکثر مقادیر خشکی منطبق است. ترکیبی از عوامل مانند کاهش بارندگی؛ افزایش خشکی؛ استفاده بیش از حد از زمین برای کشاورزی یا دامداری؛ و حذف پوشش گیاهی فرایند تخریب زمین را تقویت



- [6]. Liu X, Zhang D, Luo Y, Liu C. Spatial and temporal changes in aridity index in northwest China: 1960 to 2010. *Theoretical and Applied Climatology*. 2013; 112(1), 307-316.
- [7]. Wu S, Yi Y, Zheng D, Yang Q. Moisture conditions and climate trends in China during the period 1971–2000. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*. 2006; 26(2), 193-206.
- [8]. Wu S, Gao X, Lei J, Zhou N, Wang Y. Spatial and temporal changes in the normalized difference vegetation index and their driving factors in the desert/grassland biome transition zone of the Sahel region of Africa. *Remote Sensing*. 2020; 12(24), 4119.
- [9]. Liu H, Zheng L, Yin S. Multi-perspective analysis of vegetation cover changes and driving factors of long time series based on climate and terrain data in Hanjiang River Basin, China. *Arabian Journal of Geosciences*. 2018; 11(17), 1-16.
- [10]. Chakraborty A, Seshasai M.V.R, Reddy C.S, Dadhwal V.K. Persistent negative changes in seasonal greenness over different forest types of India using MODIS time series NDVI data (2001–2014). *Ecological Indicators*. 2018; 85, 887-903.
- [11]. Guo B, Zang W, Zhang R. Soil salinization information in the Yellow River Delta based on feature surface models using Landsat 8 OLI data. *IEEE Access*. 2020; 8, 94394-94403.
- [12]. Sun G, Guo B, Zang W, Huang X, Han, B., Yang, et al. Spatial-temporal change patterns of vegetation coverage in China and its driving mechanisms over the past 20 years based on the concept of geographic division. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*. 2020; 11(1), 2263-2281.
- [13]. Fensholt R, Proud S R. Evaluation of earth observation based global long term vegetation trends—Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *Remote sensing of Environment*. 2012; 119, 131-147.
- [14]. Guo B, Wen Y. An optimal monitoring model of desertification in naiman banner based on feature space utilizing landsat8 OLI image. *IEEE Access*. 2020; 8:4761–4768.
- [15]. Kern A, Marjanović H, Barcza Z. Spring vegetation green-up dynamics in Central Europe based on 20-year long MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2020; 287, 107969.
- [16]. Liu Y, Wan, X, Guo, M., Tani H, Matsuoka, N, Matsumura S. Spatial and temporal relationships among NDVI, climate factors, and land cover changes in Northeast Asia from 1982 to 2009. *GIScience & Remote Sensing*. 2011; 48(3), 371-393.
- [17]. Ding M, Zhang Y, Liu L, Zhang W, Wang Z, Bai W. The relationship between NDVI and precipitation on the Tibetan Plateau. *Journal of Geographical Sciences*. 2007; 17(3), pp.259-268.
- [18]. Prince SD. “Satellite Remote Sensing of Primary Production: Comparison of Results for Sahelian Grassland 1981–1988,” *International Journal of Remote Sensing*. 1991; 12:1301–1312.
- [19]. Guo B, Zhou Y, Wang SX, Tao HP. 2014. Relationship between Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Climate Factors in the semi-arid region: a case study Yalu Tsangpo River Basin of Qinghai-Tibet Plateau. *Journal of Mountain Science*. 2014; 11(4), 926-940.
- [20]. Barbosa HA, Huete AR, Baethgen WE. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast Region of Brazil. *J Arid Environ*. 67(2):288–307.
- [21]. Verbesselt J, Hyndman R, Newnham G, Culvenor D. “Detecting Trend and Seasonal Changes in Satellite Image Time Series,” *Remote Sensing of Environment*. 2010; 114:106–115.
- [22]. Chuai XW, Huang XJ, Wang WJ, Bao G. NDVI, temperature and precipitation changes and their relationships with different vegetation types during 1998–2007 in Inner Mongolia, China. 2013; *International journal of climatology*, 33(7), 1696-1706.
- [23]. Yang L, Wei W, Wang T, Li L. Temporal-spatial variations of vegetation cover and surface soil moisture in the growing season across the mountain-oasis-desert system in Xinjiang, China. 2021; *Geocarto International*, 1-29.
- [24]. Nasserzadeh MH, Hejazizadeh Z, Gholampour Z, Alijani B. Spatiotemporal Response of MODIS Derived Vegetation index to climatic condition Case study: Kohgiluyeh O Boirahmad Province of Iran. *Scientific Journals Management System*. 2020; 20 (57), 355-370.[Persian]
- [25]. Ghanbari Motlagh M, Amraei B. Detecting the Spatiotemporal Relationship of Vegetation Changes with Climatic Elements in Mazandaran

- Province. Geography and Environmental Sustainability. 2020; 10(2), 37-55.[Persian]
- [26]. Lu D, Mausel P, Brondizio E, Moran E. Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin. Forest ecology and management. 2004; 198(1): 149-167.
- [27]. Wessels KJ, Van Den Bergh F, Scholes RJ. Limits to detectability of land degradation by trend analysis of vegetation index data. Remote sensing of Environment. 2012; 125: 10-22.
- [28]. Eckert S, Hüsler F, Liniger H, Hodel, E. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. Journal of Arid Environments. 2015; 113, 16-28.
- [29]. Nikpour N, negaresh H, Fotoohi S, Hosseini S Z, Bahrani S. Monitoring the trend of vegetation changes one of the most important indicators of land degradation (in Ilam province). jsaeh 2019; 5 (4) :21-48.[Persian]
- [30]. Azare A, Rafien Sardeie E, Barkhori S. Investigating the trend of vegetation changes using the NDVI index and MODIS sensor images. Contemporary Agricultural and Sustainable Natural Resources. 2019.[Persian]
- [31]. Rahimi, J., Ebrahimpour, M., & Khalili, A. Spatial changes of extended De Martonne climatic zones affected by climate change in Iran. Theoretical and Applied Climatology, 2013 ;112(3-4).[Persian]
- [32]. Hashemi Dareh Badami S, Nouraeisefat I, Karimi S, Nazari S. Development trend analysis of urban heat island regarding land use/cover changes using time series of landSat images. Journal of RS and GIS for Natural Resources. 2015; 6(3), 15-28.[Persian]
- [33]. Tucker, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. Remote sensing of Environment, 1979; 8(2), 127-150.
- [34]. Cihlar J, Laurent LS, Dyer JA. Relation between the normalized difference vegetation index and ecological variables. Remote sensing of Environment, 35(2-3). 1991; 279-298.
- [35]. Fuller DO. Trends in NDVI time series and their relation to rangeland and crop production in Senegal, 1987-1993. International Journal of Remote Sensing. 1998; 19(10), 2013-2018.
- [36]. Zarch MAA, Sivakumar B, Malekinezhad H, Sharma A. Future aridity under conditions of global climate change, J. Hydrol. 2017; 554, 451-469.
- [37]. UNEP: World atlas of desertification, Edward Arnold, London, 1992.
- [38]. Wu D, Wu H, Zhao X, Zhou T, Tang B, Zhao W, Jia, K. Evaluation of Spatiotemporal Variations of Global Fractional Vegetation Cover Based on GIMMS NDVI Data from 1982 to 2011. Remote Sensing. 2014; 6: 5. 4217-4239
- [39]. Pettitt AN. A non-parametric approach to the change-point problem. Journal of the Royal Statistical Society. Series C (Applied Statistics). 1979; 28(2):126-135.
- [40]. Gandomkar, A., Dehghani, R. Study of Temperature Changes in Fars Province. World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering. 2012; 6 (3), 127-129.
- [41]. Keshavarz, M., Karami, E., Zibaei, M. Adaptation of Iranian farmers to climate variability and change. Regional environmental change. 2014; 14 (3), 1163-1174. [Persian]
- [42]. Eskandari Damaneh H, Gholami H, Mahdavi R, Khoorani A, Li J. Evaluation of land degradation trend using satellite imagery and climatic data (Case study: Fars province). DEEJ 2019; 8 (24):49-64. [Persian]
- [43]. Andales, A.A., Derner, J.D., Ahuja, L.R. & Hart, R.H. Strategic and tactical prediction of forage production in northern mixed-grass prairie. Rangeland Ecology Management. 2006; 59:576-584.
- [44]. Nemani, R. R., C. D. Keeling., H. Hashimoto., W. M. Jolly., S. C. Piper., C. J. Tucker., R. B. Myneni., and S. W. Running.. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. 2003; Science 300: 1560-1563 .
- [45]. Nicholson, S. E., M. L. Davenport., and A. R. Malo. A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR. Climate Change. 1990; 17: 209-241.
- [46]. Le Hourou, H.N., Bingham, R.L. & Skerbek, W. Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. Journal of Arid Environments. 1988; 15: 1-18.
- [47]. Los, S.O., G. J. Collatz., L. Bounoua., P. J. Sellers., and C. J. Tucker. Global interannual variations in sea surface temperature and land surface vegetation, air temperature, and

- precipitation. *Journal of Climate*.2001; 14: 1535–1549
- [48]. Mallick, K., Bhattacharya, B.K., Patel, N.K. Estimating volumetric surface moisture content for cropped soils using a soil wetness index based on surface temperature and NDVI. *Agricultural and Forest Meteorology*.2009; 149, 1327–1342.
- [49]. Zhu, W.Q., Pan, Y.Z., Liu, X. & Wang, A.L. Spatio-temporal distribution of net primary productivity along the northeast China transect and its response to climatic change. *Journal of Forestry Research*.2006; 17(2): 93-98
- [50]. Odorico P, Bhattachan A, Davis KF, Ravi S, Runyan CW. Global desertification: drivers and feedbacks. *Adv. Wat. Res*.2013; 51:326–344.
- [51]. Schucknecht A, Matschullat J, Erasmi S. Spatial and temporal variability of vegetation status in Paraíba, Northeastern Brazil. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*.2012; 32–35.
- [52]. Xu D, Li C, Song X, Ren H. The dynamics of desertification in the farming-pastoral region of North China over the past 10 years and their relationship to climate change and human activity. *Catena*. 2014; 123:11–22.
- [53]. Marland G, Pielke RA, Apps M, Avissar R, Betts RA, Davis KJ, et al. The climatic impacts of land surface change and carbon management, and the implications for climate-change mitigation policy. *Clim Pol*.2003; 3:149–157.