



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست‌بوم گیاهان"

دوره هفتم، شماره پانزدهم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

کمی سازی روند تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از سنجش از دور (منطقه مورد مطالعه: استان فارس)

ملیحه بهرنگ منش^۱، حسن خسروی^{۲*}، حسین آذر نیوند^۳ و آلفانسو سناتور^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

^۲ دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

^۳ استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران

^۴ استاد، گروه مهندسی محیط زیست و شیمی، دانشگاه کالابریا، رند، ایتالیا

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۲۸

چکیده

بررسی پایداری روند تغییرات پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین موضوعات مدیریت پوشش گیاهی در راستای توسعه پایدار است. انجام مطالعاتی در این زمینه جهت انتخاب سیاست‌های مدیریتی مناسب برای سازگاری بیشتر با شرایط جدید ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق تغییرات روند پویایی پوشش گیاهی استان فارس با استفاده از شاخص $NDVI^2$ به دست آمده از MOD13Q1 در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. آزمون من کندال و تیل-سن در Earth Trends Modeler نرم افزار TerrSet و شاخص هورست^۳ در نرم افزار Arc GIS محاسبه، سپس نتایج با یکدیگر تلفیق شدند. روند Theil-Sen برای تحلیل آماری شیب تغییرات، همراه با آزمون Mann-Kendall برای معنی‌دار بودن این تغییرات، یک روش جدید برای بررسی روند تحلیل داده‌های سری زمانی $NDVI$ است. با تلفیق نتایج تجزیه و تحلیل روند و نتایج شاخص Hurst، پایداری آینده در روند تغییرات $NDVI$ نیز محاسبه شد. با توجه به تجزیه و تحلیل شاخص هورست، بیشتر تغییرات پوشش گیاهی در آینده مخالف با تغییراتی است که در گذشته اتفاق افتاده است. نتایج تحلیل روند تغییرات نیز بیانگر این است که رشد گیاه در مناطق کوهستانی به‌طور مداوم با نرخ بالاتر از مناطق دشت بهبود می‌یابد. در نهایت با تجزیه و تحلیل شاخص هورست و روند تغییرات پوشش گیاهی، بیشترین درصد تعداد پیکسل مربوط

*نویسنده مسئول: hakhosravi@ut.ac.ir

² Normalization different vegetation index

³ Hurst

به ماه می با ۴۱/۱٪ در کلاس B می‌باشد. کلاس B بیانگر این است که روند بهبود جایگزین روند تخریب در منطقه شده است و این روند در آینده ادامه نخواهد داشت. در این ماه نواحی شمالی و نوار جنوبی استان دارای مقدار ماکزیمم ارزش عددی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شاخص هورست، من_کندال، NDVI، تیل-سن

مقدمه

پوشش گیاهی، به علل مختلف و به مرور زمان در اثر عوامل طبیعی یا انسانی دچار تغییر شده که شرایط و عملکرد اکوسیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Pettoirelli et al., 2005). این به عنوان عامل تأثیرگذار بر تبادل انرژی و تبخیر آب بین سطح زمین و جو شناخته می‌شوند (Fraedrich et al., 1999; Bonan et al., 2002; Foley et al., 2005). و بر میزان تابش خورشیدی منعکس شده از سطح زمین، تفکیک تابش خالص در شار گرمایی محسوس و نهان، میزان بازیافت بارش، افزایش گردوخاک و دیگر ذرات معلق موجود در جو، رطوبت خاک، انتقال بخار آب و آب‌های زهکشی و جریان رواناب‌ها تأثیر می‌گذارد (Charney., 1977; Villegas et al., 2010; Rosenfeld et al., 2001). پوشش گیاهی نه تنها به عنوان یک شاخص مستقیم از وضعیت اکوسیستم‌های زمینی به کار گرفته می‌شود، بلکه تغییرات محیطی محلی و جهانی را نیز به نمایش می‌گذارد (Potter et al., 2008; Jiang et al., 2013). استفاده از داده‌های ماهواره‌ای جهت پایش فعالیت‌های گیاهی در یک منطقه بزرگ در مقایسه با مطالعات مبتنی بر روش‌های سنتی مزیت دارند (Pei et al., 2018). این تکنولوژی با اندازه‌گیری تشعشع خاص پوشش گیاهی، امکان شناخت تغییرات بازتاب را در گیاهان فراهم می‌سازد (Behrang manesh et al., 2018). یکی از پرکاربرترین شاخص‌ها NDVI است که به عنوان معیار پایه برای مطالعه تغییرات پوشش‌های گیاهی است (Kundu et al., 2016). تاکنون مطالعات زیادی درباره بررسی تغییرات پوشش گیاهی به وسیله سنجش از دور صورت گرفته‌است. به عنوان نمونه برینک و همکاران (Brink et al., 2009) در تحقیقی به بررسی تغییرات پوشش گیاهی شاحاران افریقا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مساحت نواحی کشاورزی و بایر افزایش و پوشش گیاهی نواحی جنگلی و غیر جنگلی تخریب شده است و علت این امر افزایش جمعیت می‌باشد. راوات و همکاران (Rawat et al., 2013) با استفاده از تصاویر لندست سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ در منطقه‌ای از هند به بررسی تغییرات کاربری اراضی و پوشش پرداختند. نتایج نشان داد کاربری‌های کشاورزی، پهنه‌های آبی و پوشش گیاهی روند کاهشی داشته و شنزارها و مناطق مسکونی در دوره ۲۰ ساله توسعه پیدا نموده است. شوکنخت (Schucknecht., 2013)، در ارزیابی تنوع پوشش گیاهی و تعیین روند آن در شمال شرقی برزیل (در بیوم نیمه‌خشک کاتینگا) با استفاده از AVHRR و NDVI گرفته‌شده از تصاویر MODIS در بازه زمانی ۲۰۰۶-۱۹۸۲، تغییرات ماهانه NDVI را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند،

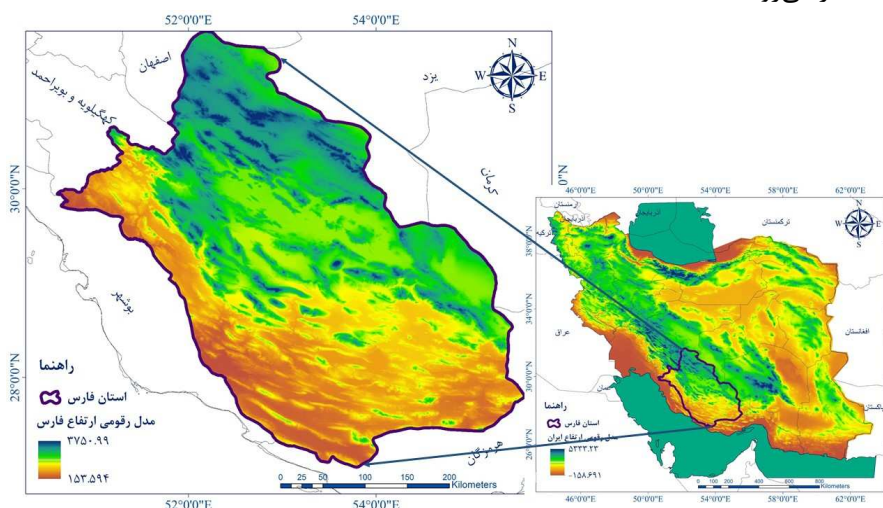
نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که بخش مرکزی به نمایندگی از بیوم کاتینگا کمترین مقادیر میانگین NDVI با بالاترین ضریب تغییرات را داشته است. همچنین حدود ۱۰٪ از این منطقه توسط روند منفی قابل توجه و در حدود ۲۸٪ توسط روند مثبت تحت تأثیر قرار گرفته‌اند. نتایج تحقیق جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2015) با عنوان تجزیه و تحلیل زمانی و مکانی تغییرات پوشش گیاهی در حوضه رودخانه زرد نشان داد که روند کلی پوشش گیاهی رودخانه زرد در جنوب شرقی و غرب منطقه بالا و در شمال غربی پایین و متوسط NDVI کل حوضه در محدوده ۰/۳ تا ۰/۴ از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ نوسان داشته است. عباس‌زاده تهرانی و صابری (۱۳۹۲) در ارزیابی الگوی تغییرات فصلی پوشش اراضی با تحلیل داده‌های سنجنش از دوری، پروفیل تغییرات پوشش گیاهی را با استفاده از محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس و محاسبه شاخص‌های NDVI و EVI در طول سال ۲۰۱۱ در منطقه حوضه آبریز انزلی، مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق افزایش، ثبات و سپس کاهش منطقی مقادیر شاخص‌ها را در طول بازه زمانی نشان داد که به شناسایی انواع پوشش از یکدیگر و انتخاب بازه زمانی مناسب اخذ تصویر جهت بررسی تغییرات پوشش در منطقه مورد مطالعه، کمک می‌نماید. به‌طور کلی پایش تغییرات پوشش گیاهی و تعیین مناطق آسیب‌پذیرتر با استفاده از سنجنش از دور می‌تواند به حفظ، مدیریت و احیای پوشش گیاهی کمک شایانی بکند. هدف از این مطالعه تعیین احتمال آسیب‌پذیری و پیش‌بینی تغییرات پویایی پوشش گیاهی در استان فارس با استفاده از تجزیه و تحلیل سه شاخص Hurst، من-کندال و تیل سن می‌باشد تا بتوان مناطق تخریب شده و احیا شده را تفکیک کرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان فارس به مرکزیت شهر شیراز، با وسعتی حدود ۱۲۳ هزار کیلومترمربع و بین مدارهای ۲۷ درجه و دو دقیقه و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه طول خاوری از نیمروز گرینویچ قرار گرفته است (شکل ۱). این استان از شمال با استان اصفهان و یزد، از باختر با استان‌های کهگیلویه و بویر احمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از خاور با استان کرمان همسایه است. متوسط دما در سردترین ماه سال بین ۷- تا ۲- درجه سانتی‌گراد و در گرم‌ترین ماه سال بین ۳۵ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد در نوسان است. استان پهناور فارس، منطقه‌ای چهار فصل بوده و از نظر آب و هوایی سه ناحیه آب و هوایی گوناگون در استان فارس وجود دارد. ناحیه کوهستانی شمال، شمال باختر و باختر دارای زمستان‌های سرد معتدل و پوشش گیاهی قابل توجه است. میزان بارندگی این ناحیه در حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است. ناحیه

مرکزی این ناحیه در زمستان‌ها آب و هوای نسبتاً معتدل توأم با بارندگی و در تابستان‌ها، هوایی گرم و خشک دارد. آب و هوای این ناحیه به علت بارندگی نسبی ارتفاعات، نسبت به شمال و شمال باختر وضعیتی کاملاً متفاوت دارد، میزان باران این ناحیه بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در سال است. شهرهای شیراز، کازرون، فسا و فیروزآباد در این ناحیه قرار گرفته‌اند. ناحیه جنوب و جنوب شرقی به علت کاهش ارتفاع و پهنای جغرافیایی و نحوه استقرار کوه‌ها، میزان بارندگی این ناحیه در فصل زمستان نسبت به دو فصل بهار و پاییز کم‌تر است. هوای این ناحیه در زمستان‌ها معتدل و در تابستان‌ها بسیار گرم و میزان بارندگی سالانه آن ۱۰۰ تا ۲۰۰ میلی‌متر است. شهرهای لار، اوز و خنج جزئی از این ناحیه خشک به شمار می‌روند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی، مدل رقومی ارتفاعی فارس

داده‌های جمع‌آوری شده در شش دوره ۱۶ روزه (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷)، ۴۵۸ تصویر مربوط به ماه‌های فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن و جولای در قالب Hdf با وضوح فضایی ۲۵۰ متری از سایت <https://search.earthdata.nasa.gov> دانلود شد. استان فارس در دو کاشی (tiling) h22, v5 و h22, v6 مودیس قرار می‌گیرد که جهت انجام پردازش‌ها و استخراج شاخص‌ها، ابتدا محصولات MODIS13Q1 در نرم افزار TerrSet وارد و فرایند موزایک کردن تصاویر دو کاشی انجام و فرمت اصلی Hdf به فرمت Geotiff تبدیل شد. با استفاده از روش میانگین، میانگین داده‌های سالانه NDVI برای از بین بردن تأثیر آب و هوای سالم غیر طبیعی بر وضعیت رشد پوشش گیاهی به دست آمد (Zhang et al., 2008). با وارد کردن سری زمانی به دست آمده در بخش Earth Trends Modeler نرم افزار TerrSet آزمون‌های من کندال و تیل سن انجام گرفت. سپس تصاویر NDVI وارد نرم افزار

ArcGIS و مرز حوزه مطالعاتی بر روی نقشه‌های شاخص پوشش گیاهی هر ماه ماسک و در ادامه شاخص هورست محاسبه و نتایج با یکدیگر تلفیق شدند. لازم به ذکر است که به دلیل نوع اقلیم حاکم در منطقه این شش ماه اکثر پوشش‌های گیاهی طبیعی در اوج شادابی خود قرار دارند (Heydari et al., 2018). در میان شاخص‌های متنوع و متعدد پوشش گیاهی، شاخص NDVI برای آماده نمودن دائمی اطلاعات مکانی و زمانی پوشش گیاهی به کار گرفته می‌شوند (Matsushita et al., 2007). NDVI یکی از شاخص‌های مهمی است که در تعیین تغییرات پدیده‌های زمینی استفاده می‌شود و در مطالعات پوشش گیاهی اهمیت فراوانی دارد. شاخص پوشش گیاهی NDVI یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که کارایی مفید آن در بسیاری از مطالعات توسط محققان مختلف گزارش شده است. این شاخص از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

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

در این فرمول NIR، باند مادون قرمز نزدیک و R باند قرمز است. دامنه‌ی آن از -۱ تا +۱ متغیر است. در حالتی که پوشش خیلی خوب و پر تراکم باشد این شاخص به +۱ نزدیک می‌شود و در حالت تخریب پوشش گیاهی و از بین رفتن آن کاهش پیدا می‌کند. با توجه به اینکه مقادیر NDVI، بین ۱ تا -۱ است این اعداد مطابق ضریب جدول MODIS در ۰/۰۰۰۱ ضرب می‌شود، به طوری که هر چه مقدار این شاخص، به -۱ نزدیک‌تر باشد، تخریب پوشش گیاهی در منطقه بیشتر است.

آزمون روند میانه تیل-سن

تجزیه و تحلیل روند میانه تیل-سن یک روش غیر پارامتریک آماری با ثبات^۴ است و شیب و عرض از مبدأ بین هر جفت داده‌ی مشاهداتی را محاسبه می‌کند (Sen., 1968; Theil., 1950). شیب میانه تیل-سن، میانه‌ی همه شیب‌ها است و از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{V_j - V_i}{t_j - t_i} \right), \quad j > i \quad \text{رابطه ۲}$$

β شیب میانه تیل-سن، Median میانه مجموعه ارزش‌ها، t_i و t_j نشان‌دهنده سال‌ها و V_i و V_j نشان‌دهنده ارزش شاخص پوشش گیاهی سال i است. اگر $\beta > 0$ باشد، روند شاخص پوشش گیاهی در حال افزایش و به معنای آن است که پوشش گیاهی در این دوره از زمان بهبود یافته است. دربارهِ $\beta < 0$ عکس این قضیه صادق است (Cao et al., 2014).

⁴ Robust

آزمون روند ناپارامتری من- کندال

آزمون من-کندال توسط من (Mann., 1945) ارائه و سپس توسط کندال (Kendall., 1975) تکامل یافت. این آزمون توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO⁵) به عنوان یک ابزار مؤثر برای ارزیابی روند سری‌های زمانی هواشناسی و هیدرولوژیکی توصیه می‌شود (Azizzadeh & Javan., 2018). این آزمون بر اساس معادلات زیر محاسبه می‌شود.

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن مقادیر x_i و x_j داده‌های متوالی است، n طول سری زمانی است و تابع علامت نیز به ترتیب زیر قابل محاسبه است.

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۴}$$

میانگین $E(S)$ و واریانس $\text{Var}(S)$ آماره S به ترتیب زیر به دست می‌آید.

$$E(S) = 0 \quad \text{رابطه ۵}$$

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

که tp تعداد دنباله‌ها برای p امین مقدار p تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون Z_M از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad \text{رابطه ۷}$$

مقدار مثبت روند Z_M افزایشی و مقدار منفی Z_M روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. همچنین برای آزمودن روند افزایش را نشان می‌دهد. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اگر $|Z_M| > 1/96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت

⁵ World Meteorological Organization

فاقد روند ارزیابی می‌شود. برای این آزمون روی داده‌های NDVI استان فارس از Earth Trends Modeler در نرم افزار TerrSet استفاده شد. تغییرات در روند NDVI می‌تواند به‌طور مؤثر با ترکیب نتایج آزمایش من-کندال و تحلیل روند مداوم تیل سن درجه‌بندی شود (Jiang et al., 2015). نتایج به پنج کلاس تقسیم شدند (جدول ۱).

جدول ۱- درجه تغییرات روند تغییر NDVI (Jiang et al., ۲۰۱۵)

S _{NDVI}	Z	روند NDVI
< -۰/۰۰۱	≤ -۱/۹۶	تخریب قابل توجه
-۰/۰۰۱_ -۰/۰۰۰۱	-۱/۹۶_ ۱/۹۶	تخریب جزئی
-۰/۰۰۰۱_ ۰/۰۰۰۱	-۱/۹۶_ ۱/۹۶	پایدار یا بدون پوشش گیاهی
۰/۰۰۰۱_ ۰/۰۰۰۱	-۱/۹۶_ ۱/۹۶	بهبود جزئی
≥ ۰/۰۰۱	≥ ۱/۹۶	بهبود قابل توجه

روش‌های ناپارامتری در آزمون روند از کاربرد چشم‌گیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند (شیخ و همکاران، ۱۳۹۰). دلیل این امر را می‌توان نرمال نبودن توزیع نمودار در بازه زمانی طولانی مدت دانست که این امر، بستگی به نوع داده به کار گرفته شده دارد (Eltahir & Bras., 1996; Colditz et al., 2015; Teferi et al., 2015).

محاسبه شاخص Hurst

شاخص Hurst توسط یک هیدرولوژیست بریتانیایی در سال ۱۹۵۱ مطرح شد و توسط مندلیرو و والیس (Mandelbrot & Wallis., 1969) بهبود یافته است. در این مرحله از کار، ابتدا مرز حوزه مطالعاتی بر روی نقشه‌های شاخص‌های پوشش گیاهی به دست آمده از نرم افزار ترست، برای هرماه در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷ با استفاده از نرم افزار Arc GIS ماسک شد. سری‌های زمانی شاخص-های پوشش گیاهی، میانگین سالانه برای NDVI همراه محاسبه‌شده و در معادلات شاخص Hurst مورد استفاده قرار گرفت؛ که معادلات اصلی عبارت‌اند از:

سری‌های طولانی $\{NDVI(\tau)\}$ ($\tau = 1, 2, \dots, n$) را به τ زیر سری $X(t)$ تقسیم کرده و برای هر سری $t = 1, \dots, \tau$

برای هر سری حافظه بلندمدت سری زمانی متوسط NDVI تعریف شد.

$$\bar{NDVI}(\tau) = \frac{1}{\tau} \sum_{t=1}^{\tau} NDVI(t) \quad T = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۸}$$

محاسبه انحراف انباشته شده از هر میانگین NDVI

$$X_{(T,t)} = \sum_{t=1}^T (\text{NDVI}_{(t)} - \overline{\text{NDVI}}_{(T)}) \quad 1 \leq t \leq T \quad \text{رابطه ۹}$$

تعریف توالی محدوده R

$$R_{(T)} = \max_{1 \leq t \leq T} X_{(T,t)} - \min_{1 \leq t \leq T} X_{(T,t)} \quad T = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۱۰}$$

تعریف توالی انحراف استاندارد S

$$s_{(T)} = \left[\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (\text{NDVI}_{(t)} - \overline{\text{NDVI}}_{(T)})^2 \right]^{1/2} \quad T = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه ۱۱}$$

محاسبه شاخص Hurst

$$\frac{R_{(T)}}{s_{(T)}} = (CT) \quad \text{رابطه ۱۲}$$

مقدار H (معادله Hurst) با فرمول زیر به دست آمد:

$$\log(R/s)_n = a + H \times \log(n) \quad \text{رابطه ۱۳}$$

این شاخص در زمینه‌های هیدرولوژی، هواشناسی، اقتصاد، زمین‌شناسی و ژئوشیمی به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. برای تعیین سازگاری در روند تخریب NDVI، نتایج تحلیل کلی روند و شاخص هورست ترکیب شد (جدول ۲).

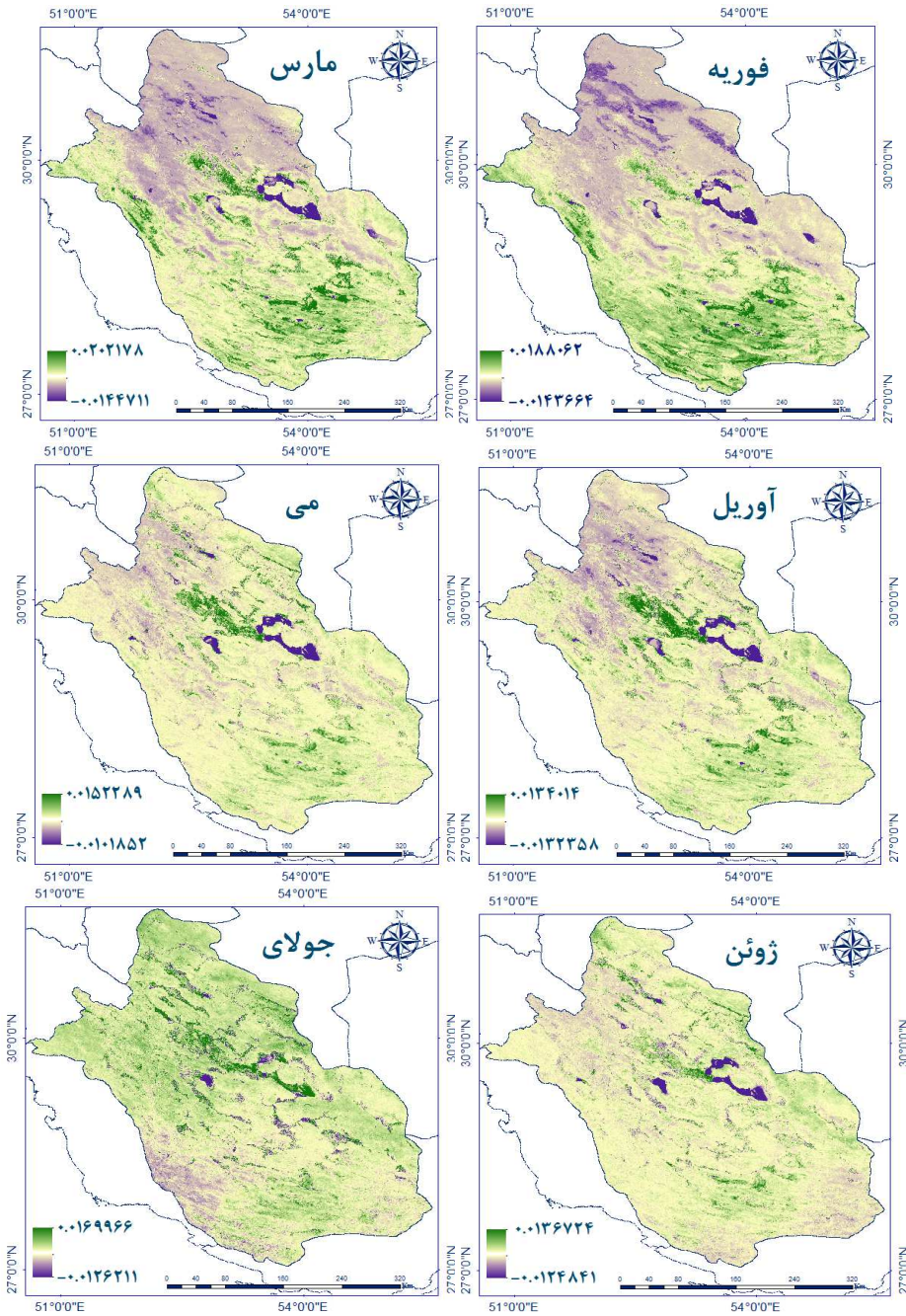
جدول ۲- طبقه‌بندی تجزیه و تحلیل آماری روند تخریب NDVI و شاخص هورست

S _{NDVI}	Z	H	روند NDVI
- > ۰/۰۰۱	- > ۱/۹۶	< ۰/۵	تخریب قابل توجه و پایدار
- ۰/۰۰۱ - ۰/۰۰۰۱	- ۱/۹۶ - ۱/۹۶	< ۰/۵	تخریب جزئی و پایدار
≤ - ۰/۰۰۰۱	- ۱/۹۶ - ۱/۹۶	> ۰/۵	از بهبودی به تخریب تغییر یافته و روند ناسازگار
- ۰/۰۰۰۱ - ۰/۰۰۱	- ۱/۹۶ - ۱/۹۶	-	پایدار یا بدون پوشش گیاهی
≥ ۰/۰۰۰۱	- ۱/۹۶ - ۱/۹۶	> ۰/۵	از تخریب به بهبود تغییر یافته و روند ناسازگار
۰/۰۰۰۱ - ۰/۰۰۱	- ۱/۹۶ - ۱/۹۶	< ۰/۵	بهبود جزئی و پایدار
≥ ۰/۰۰۱	≥ ۱/۹۶	< ۰/۵	بهبود قابل توجه و پایدار

نتایج

نتایج آزمون تیل-سن:

با توجه به شکل (۲) روند تیل-سن برای پوشش گیاهی در ماه فوریه و مارس در شمال کوه‌های زاگرس که جهت‌های شمال غربی و جنوب شرقی استان فارس را به صورت منطقه ویژه کوهستانی درآورده است کاهش یافته است و به معنای آن است که پوشش گیاهی در این دوره از زمان بهبودی نیافته است که در مناطق سردسیری با تأخیر در فصل رویش گیاه، میزان پوشش گیاهی در ماه‌های سرد سال دارای کمترین مقدار است که هرچه به سمت ماه‌های گرم پیش می‌رویم این مناطق دارای بیشترین بهبودی در وضعیت پوشش گیاهی است. اینکه غرب و جنوب استان در مناطق گرمسیری قرار گرفته و

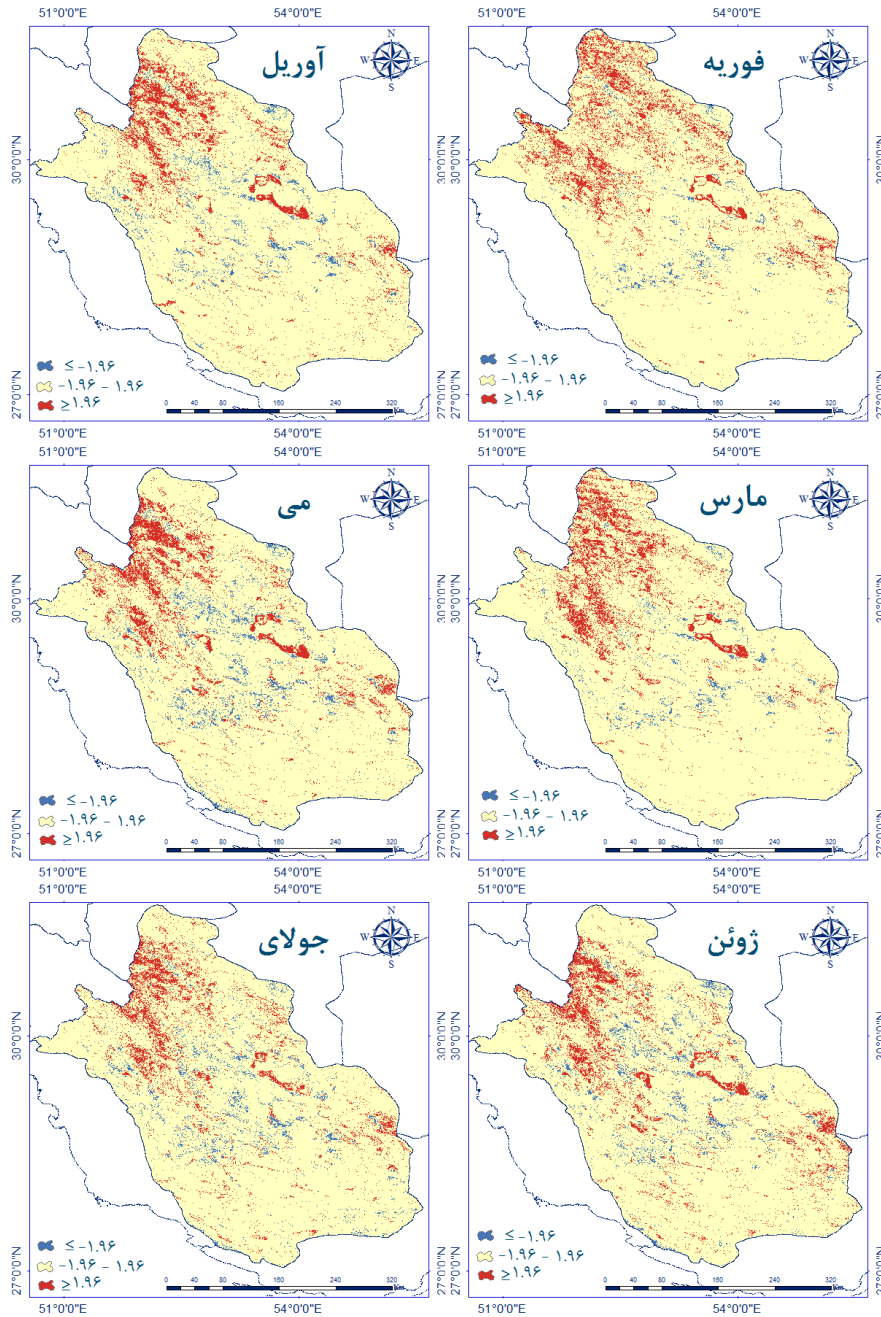


شکل ۲- نقشه‌ی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از آزمون تیل-سن

از طرفی فصل رویش پوشش گیاهی در ماه فوریه بوده که زودتر از مناطق سردسیری است، میزان پوشش گیاهی در فصل رشد زیادتر بوده که با افزایش دما میزان این روند در ماه‌های بعد کمتر می‌شود.

نتایج آزمون روند ناپارامتری من- کندال:

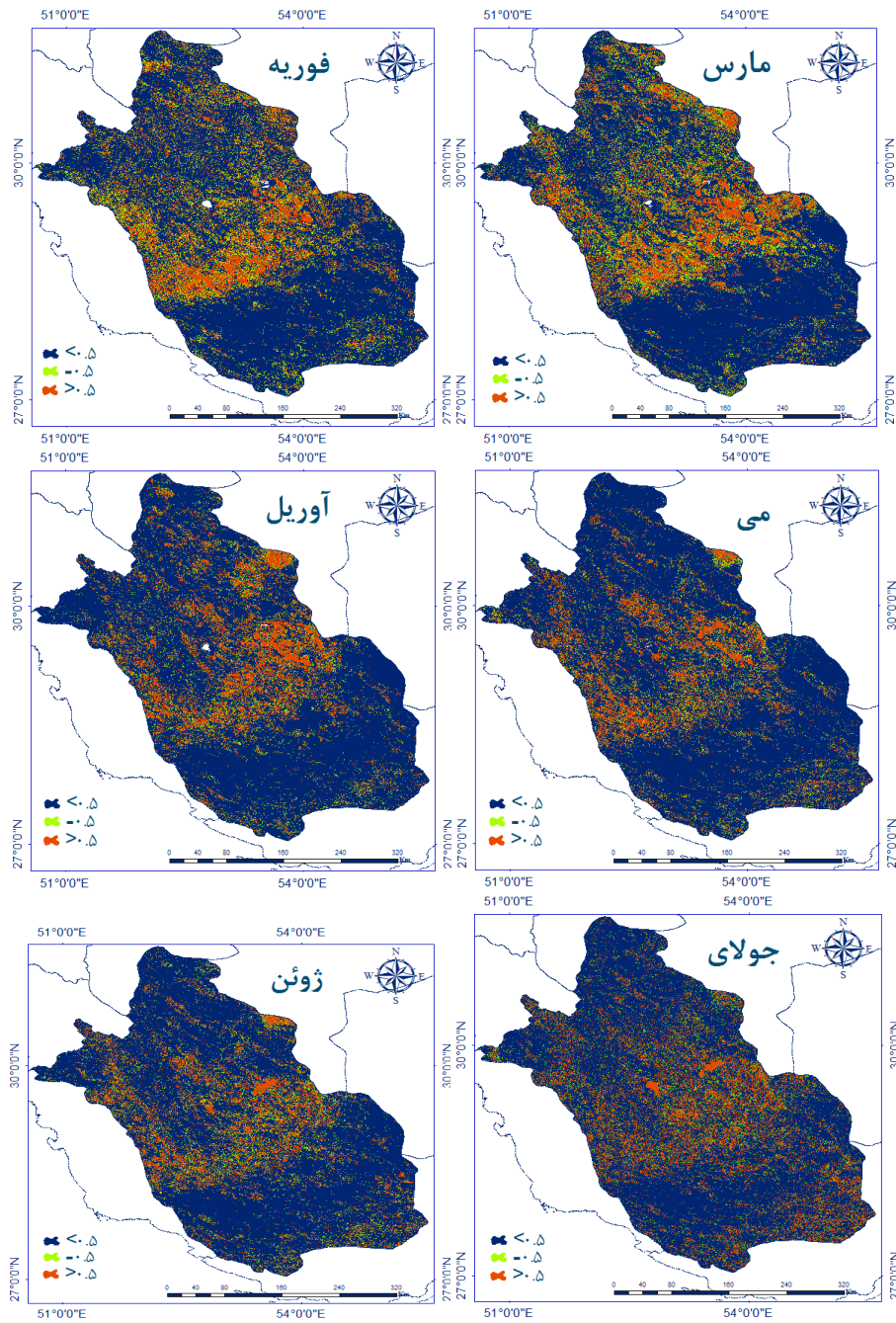
شکل (۳) نتایج بررسی روند تغییرات شاخص NDVI را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است کلاسی که در آن پارامتر ZM آزمون من کندال از ۱/۹۶- کوچک‌تر بوده روند شاخص NDVI به احتمال ۹۵ درصد کاهشی است در نتیجه کلاس روند تخریبی، همچنین کلاسی که در آن پارامتر ZM آزمون من کندال از ۱/۹۶+ بزرگ‌تر بوده روند شاخص NDVI به احتمال ۹۵ درصد افزایشی است و روند بهبودی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۲) روند معنی‌دار افزایشی در تمامی ماه‌ها در مناطق شمالی و شمال غربی و همچنین تالاب‌های استان دیده می‌شود که روند تغییرات شاخص NDVI نشان می‌دهد که با گذشت زمان این شاخص در حال افزایش است. روند معنی‌دار کاهشی در ماه فوریه با کمترین مقدار و در گرم‌ترین ماه سال دارای بیشترین مقدار است.



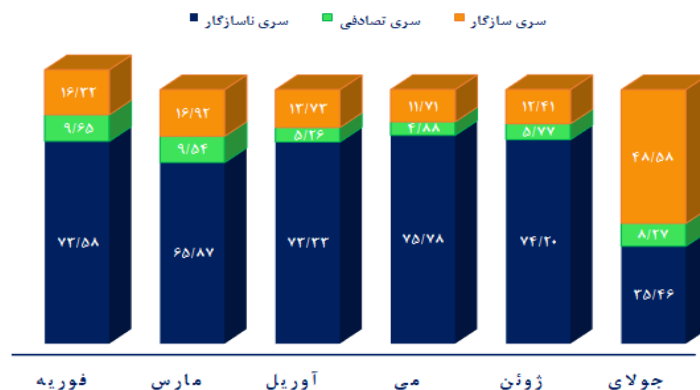
شکل ۳- نقشه‌ی تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از آزمون من کندال

روند سازگاری پویایی پوشش گیاهی:

شکل ۴ الگوهای پیش‌بینی رشد گیاهان را بر اساس شاخص هورست ارائه می‌دهد؛ که درصد مساحت مناطق رویشی برای مناطق با هورست بیش از ۰/۵، کمتر از ۰/۵ و نزدیک به ۰/۵ برای هر ماه به صورت نموداری در شکل ۶ آورده شده است. هنگامی که مقدار شاخص هورست نزدیک به ۰/۵ باشد، سری زمانی NDVI یک سری تصادفی است که نشان می‌دهد روند آینده مستقل از آن در دوره تحقیق است. هنگامی که مقدار شاخص هورست بیش از ۰/۵ است، سری زمانی یک سری سازگار است که نشان می‌دهد روند آینده با آن در دوره مطالعه سازگار خواهد بود. در نهایت، هنگامی که مقدار شاخص هورست کمتر از ۰/۵ است، سری زمانی یک سری ناسازگار است که نشان می‌دهد که روند گذشته به احتمال زیاد مخالف روند آینده است.



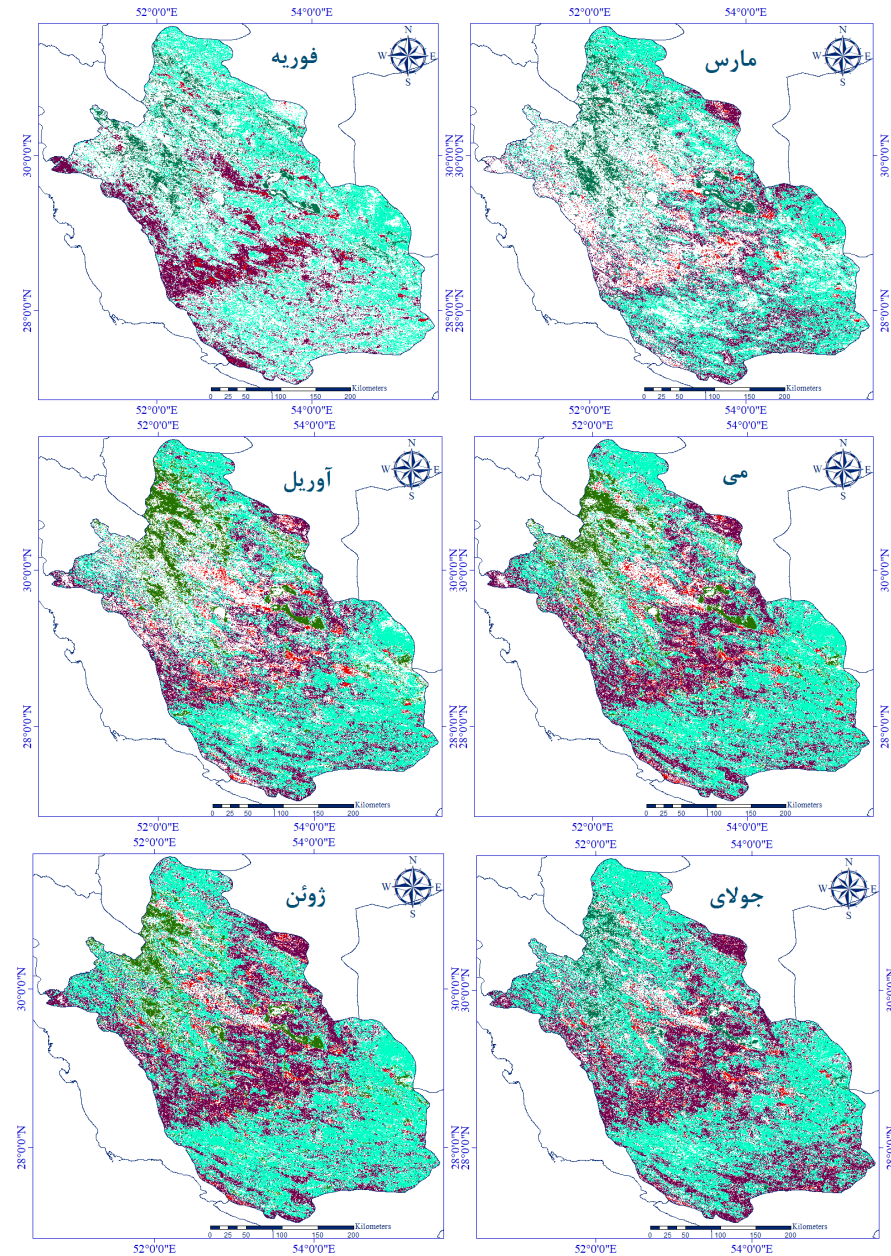
شکل ۴- توزیع فضایی روند پویایی پوشش گیاهی



شکل ۵- درصد مساحت برای مناطق رویشی با سری سازگار، ناسازگار و تصادفی برای هر ماه

بررسی تغییرات روند کلی تخریب NDVI

شکل ۶ الگوهای تغییرات روند NDVI در ۶ ماه طی بازه‌ی زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ را نشان می‌دهد. در ماه فوریه اکثر مناطق روند رو به بهبودی را در رشد پوشش گیاهی نشان دادند که این مناطق به میزان ۳۲/۱۷٪ از پیکسل‌ها و ۱۵/۰۹٪ از پیکسل‌ها تخریب را نشان می‌دهند. در طی این سال‌ها در ماه فوریه اکثر مناطق دارای روندی پایدار یا اینکه این مناطق فاقد پوشش گیاهی بوده است. کاهش روند تخریب شدید در این ماه مارس نسبت به ماه فوریه را نمی‌توان نادیده گرفت. ماه آوریل تخریب شدید در قسمت‌های غرب، مرکز و افزایش بهبودی قابل توجه در قسمت شمال غربی را نشان می‌دهد. ماه می، ژوئن و جولای روند رشد پوشش گیاهی در مناطق شمال غربی کاهش یافته و تخریب در مناطق جنوبی و غربی روند افزایشی دارد.

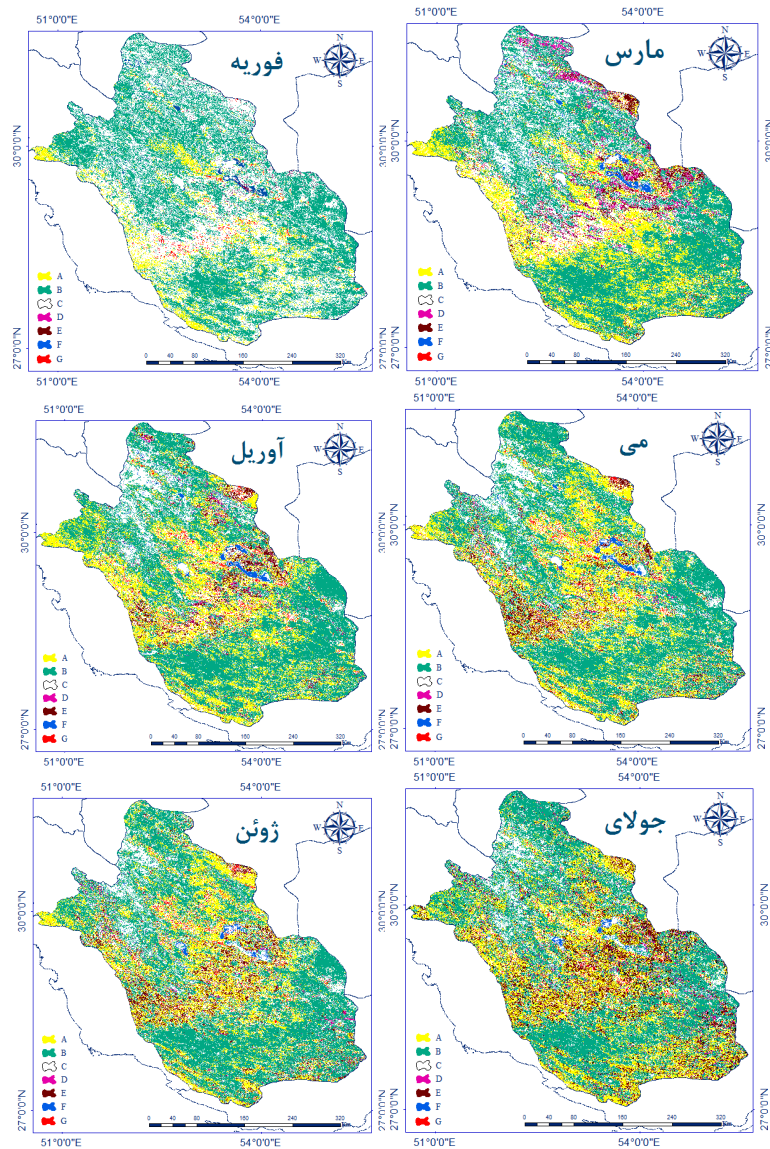


■ تخریب جزئی ■ تخریب قابل توجه ■ بهبودی جزئی ■ بهبودی قابل توجه پایدار یا بدون پوشش گیاهی

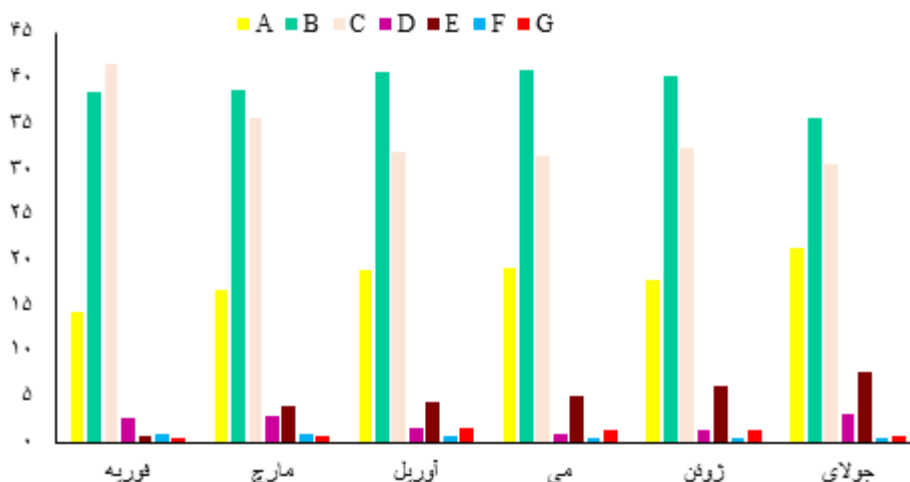
شکل ۶- نقشه روند کلی تغییرات تخریب NDVI

تعیین پویایی روند تخریب NDVI

همان‌طور که شکل (۷) نشان می‌دهد اکثر مناطق طی این ۱۷ سال در ماه فوریه از روند صعودی رشد پوشش گیاهی به عبارتی روندی سمت بهتر شدن برخوردار بوده است و طبق پیش‌بینی شاخص هورست این روند در آینده در این مناطق ادامه خواهد داشت. روند رشد گیاهان در مناطق غربی استان در این ماه تصادفی بوده که این به این معنی است که روند رشد در آینده ممکن است بهبود یا تخریب باشد، این احتمال نیز وجود دارد که این نواحی بدون پوشش گیاهی باشند. در ماه مارس پوشش گیاهی مناطق غربی با تغییر روند بهبود به سمت تخریب همراه بوده است و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد در آینده روند تخریبی نخواهند داشت. در ماه آوریل تخریب جزئی در کنار مناطقی که روند بیابان‌زایی را پیش‌گرفته‌اند مشاهده می‌شود که این روند در آینده ادامه خواهد داشت. مناطقی از شمال شرقی، قسمت‌هایی از نواحی مرکزی و حاشیه غربی تخریب شدید وجود دارد که در آینده نیز با همین روند همراه خواهد بود. ماه می با افزایش روند تخریب جزئی در مناطق غربی و کاهش روند تغییر یافته به سمت تخریب همراه است که این روند پایدار است. در ماه ژوئن و جولای و نیز افزایش روندهای رو به تخریب وجود دارد. به طور کلی بیشتر گیاهان در مناطق شمالی و قسمت‌هایی از مناطق جنوبی و جنوب شرقی در وضعیت سازگار قرار دارند. نتایج نشان داد ماه فوریه با ۴۱/۸٪ در کلاس C، ماه می با ۴۱/۱٪ در کلاس B، ماه جولای با ۲۱/۸٪ در کلاس A، ۳/۲٪ در کلاس D و ۷/۷٪ در کلاس E، ماه فوریه و مارس با ۱٪ در کلاس F و ماه می با ۱/۵٪ در کلاس G بیشترین تعداد پیکسل را در هر کلاس در بر می‌گیرد.



شکل ۷- نقشه تعیین سازگاری روند تغییرات تخریب NDVI (که روند بهبودی به تخریبی تغییر یافته و مخالف آینده A، روند تخریبی به وضعیت بهبودی تغییر یافته و مخالف آینده B، پایدار یا بدون پوشش گیاهی C، روند بهبودی جزئی و سازگار با آینده D، روند تخریب جزئی و سازگار با آینده E، روند بهبودی قابل توجه و سازگار با آینده F، روند تخریب قابل توجه و سازگار با آینده G مشخص شده است)



شکل ۸- نمودار میله‌ای درصد مساحت مربوط به کلاس‌های سازگاری روند تغییرات تخریب NDVI (که روند بهبودی به تخریبی تغییر یافته و مخالف آینده با A، روند تخریبی به وضعیت بهبود تغییر یافته و مخالف آینده B، پایدار یا بدون پوشش گیاهی C، روند بهبود جزئی و سازگار با آینده D، روند تخریب جزئی و سازگار با آینده E، روند بهبودی قابل توجه و سازگار با آینده F، روند تخریب قابل توجه و سازگار با آینده با G مشخص شده است)

بحث و نتیجه‌گیری

گیاهان نقش اساسی را در فراهم کردن نیازهای اساسی انسان دارند (Khajoei Nasab & Khosravi., 2014). در این تحقیق روند تغییرات پوشش گیاهی در استان فارس با استفاده از شاخص NDVI در بازه زمانی (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۷) مورد مطالعه قرار گرفته است. داده‌های ۲۵۰ متری MODIS-NDVI می‌توانند اطلاعات دقیق‌تر مربوط به سطح زمین را از داده‌های AVHRR-NDVI و VGT-NDVI فراهم آورند، بنابراین اطلاعات پوشش گیاهی با MODIS-NDVI دقیق‌تر نشان داده شده است (Jiang et al., 2015). تجزیه و تحلیل شیب Theil + Sen، همراه با آزمون Mann-Kendall، یک روش جدید برای بررسی روند تحلیل داده‌های سری زمانی NDVI است. این تجزیه و تحلیل ترکیبی از رگرسیون خطی و تجزیه و تحلیل همبستگی، سودمندتر است و مزایای اصلی آن عبارتند از: داده‌های مورد استفاده نیازی به اطمینان از یک توزیع خاص ندارند، توانایی قوی برای جلوگیری از خطا و تست میزان اهمیت نیز پایه محکمی در نظریه آماری دارد (Cai et al., 2009). به همین دلیل برای بررسی تغییرات روند در تمامی شاخص‌های پوشش گیاهی، از ترکیب دو روش ناپارامتری، روند میانه (تیل-سن) برای تحلیل آماری شیب تغییرات و من-کندال برای معنی‌دار بودن این تغییرات استفاده شد. تغییرات ویژگی‌های توزیع فضایی روند NDVI در هر پیکسل را می‌توان به طور مؤثر با

استفاده از تجزیه و تحلیل روند متوسط تیل سن و تست من کندال نشان داد که نتایج تحلیل روند بیانگر این است که رشد گیاه در مناطق کوهستانی به طور مداوم با نرخ بالاتر از مناطق دشت بهبود می‌یابد و تفاوت در پوشش گیاهی را افزایش می‌دهد. پوشش گیاهی در ماه‌های جولای، ژوئن و می در شمال کوه‌های زاگرس که جهت‌های شمال غربی و جنوب شرقی استان فارس را به صورت منطقه ویژه کوهستانی در آورده است در اکثر مناطق قابل توجه است، زیرا روند بهبود پوشش گیاهی در فصل رشد رو به افزایش است که همسو با نتایج جیانگ و همکاران (Jiang et al., 2017)، هو و همکاران (Hou et al., 2012) می‌باشد.

تجزیه و تحلیل شاخص Hurst در استان فارس نشان می‌دهد، بیشتر تغییرات پوشش گیاهی مشاهده شده، غیر تصادفی است به این معنی که روند گذشته به احتمال زیاد مخالف روند آینده است که با تحقیقات پنگ و همکاران (Peng et al., 2012) مطابقت دارد. همچنین در این تحقیق با استفاده از نتایج تجزیه و تحلیل روند و نتایج محاسبات شاخص Hurst، پایداری آینده در روند NDVI بررسی شد. نتایج نشان داد که اندازه‌گیری روند پوشش گیاهی در آینده، با استفاده از تجزیه و تحلیل روند و محاسبات شاخص Hurst امکان‌پذیر است. بیشترین درصد سازگاری روند تغییرات تخریب NDVI در میان کلاس‌ها مربوط به کلاس B برای ماه‌های مختلف می‌باشد. کلاس B بیانگر این است روند بهبود جایگزین روند تخریب در منطقه شده است که این روند در آینده ادامه نخواهد داشت. به طور کلی، روند پوشش گیاهی در استان بهبود چشمگیری داشته است اما در آینده نزدیک ادامه نخواهد یافت، زیرا بیشترین درصد پیکسل‌ها شاخص شیب مثبت (β) و شاخص Hurst کمتر از $0/5$ است. باید به تغییرات پوشش گیاهی مناطقی که دارای روند تخریبی سازگار با آینده و مناطق ناشناخته است توجه دائمی شود. اگر چه این روش به دلیل عدم توانایی منعکس نمودن ویژگی‌های غیرخطی در فرآیند پویایی پوشش گیاهی موردانتقاد قرار گرفته (Li et al., 2008) اما به دلیل سادگی و استحکام آن در مطالعات دینامیکی در سطح گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرد (Rasmus et al., 2009). این کار، اساسی برای مدیریت بهتر اکوسیستم‌های منطقه‌ای است که به طور دقیق تجزیه و تحلیل می‌کند و دینامیک فضایی و زمانی پوشش گیاهی را آشکار می‌سازد. در مقایسه با مطالعات موردی در زمینه تغییرات پویایی پوشش گیاهی که در ایران صورت گرفته، مطالعه‌ای با این روش صورت نگرفته است. با این حال، برای تجزیه و تحلیل تغییرات گیاهی در بسیاری از انواع پوشش گیاهی کار دقیق‌تر لازم است برای بررسی دقیق این موضوع باید نوسان و تغییر سال به سال بارندگی که یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی است و تغییر کاربری اراضی را بر تغییرات مساحت طبقات مختلف پوشش گیاهی بررسی کرد.

منابع

- شیخ، و.، بهره‌مند، ع.، موشخیان، ی. ۱۳۹۰. مقایسه روند متغیرهای هیدرولوژیکی حوزه آبخیز اترک با استفاده از آزمون‌های ناپارامتری. پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۸(۲): ۱-۲۱.
- عباس‌زاده تهرانی، ن.، صابری، ن. ۱۳۹۲. ارزیابی الگوی تغییرات فصلی پوشش اراضی با تحلیل داده‌های سنجنش از دوری، سومین کنفرانس ملی روز جهانی محیط زیست ۱۳۹۲.
- Azizzadeh, M.R., Javan, K. 2018. Trends of Extreme Temperature over the Lake Urmia Basin, Iran, During 1987-2014. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43 (4): 55-72.
- Behrang Manesh, M., Heidary Alamdarlo, E., Ahmadi Jazi, N. 2018. Assessing the Reclamation and Destruction of Vegetation Using Remote Sensing (Case Study: Tehran Province). *International Conference on Society and Environment*, Tehran, University of Tehran.
- Bonan, G.B. 2002. *Ecological climatology: concepts and applications*. Cambridge University Press.
- Brink, A., Eva, H. 2009. Monitoring 25 years of land cover changes dynamics in Africa: a sample based remote sensing approach. *Applied geography*, 29: 501-512.
- CAI, B.f, Rong, YU. 2009. Advance and evaluation in the long time series vegetation trends research based on remote sensing. *Journal of Remote Sensing*, 13 (6): 1170-1186.
- Cao, R., Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Lv, Z., Chen, Z. 2014. Inter-annual variations in vegetation and their response to climatic factors in the upper catchments of the Yellow River from 2000 to 2010. *Journal of Geographical Sciences*, 24 (6): 963-979.
- Charney, J.G., Quirk, W.J., Chow, S., Kornfield, J. 1977. A comparative study of the effects of albedo change on drought in the semiarid regions. *Journal of Atmospheric Sciences*, 34: 1366-1385.
- Colditz, R.R., Ressler, R.A., Bonilla-Moheno, M. 2015. Trends in 15-year MODIS NDVI time series for Mexico. In *Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (Multi-Temp)*. Eighth International Workshop on the IEEE. 1-4.
- Eltahir, E.A.B., Bras, R.L. 1996. Precipitation recycling, *Reviews of Geophysics*. 34 (3): 367-378.
- Foley, J.A., Defries, R., Asner, G.P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S.R., Chapin, F.S., Coe, M.T., Daily, G.C., Gibbs, H.K., Helkowski, J.H., Holloway, T., Howard, E.A., Kucharik, C.J., Monfreda, C., Patz, J.A., Prentice, I.C.,

- Ramankutty, N., Snyder, P.K. 2005. Global Consequences of Land Use. *Science*, 309 (5734): 570–574.
- Fraedrich, K., Kleidon, A., Lunkeit, F. 1999. A Green Planet versus a Desert World: Estimating the Effect of Vegetation Extremes on the Atmosphere, *Climatic Change*, 12 (10): 3156–3163.
- Heydari Alamdarloo, E., Behrang Manesh, M., Khosravi, H. 2018. Probability assessment of vegetation vulnerability to drought based on remote sensing data. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190:702.
- Hou, X., Ting, W., Liangju, Y., Song, Qian. 2012. Characteristics of multi-temporal scale variation of vegetation coverage in the Circum Bohai Bay Region, 1999–2009. *Acta Ecologica Sinica*, 32 (6): 297-304.
- Hurst, H.E. 1951. Long-term storage capacity of reservoirs. *Transactions of American Society of Civil Engineers*, 116: 770.
- Jiang, D.J., Fu, X.F., Wang, K. 2013. Vegetation dynamics and their response to freshwater inflow and climate variables in the Yellow River Delta, China. *Quaternary International*, 304: 75–84.
- Jiang, L., Jiapaer, G., Bao, A., Guo, H., Ndayisaba, F. 2017. Vegetation dynamics and responses to climate change and human activities in Central Asia. *Science of the Total Environment*. 599-600: 967-980.
- Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Cao, R., Zhang, Y., Shen, W. 2015. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin. *Ecological Indicators*, 51: 117-126.
- Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Cao, R., Zhang, Y., Shen, W. 2015. Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River basin. *Ecological Indicators*, 51: 117–126.
- Kendall, M. 1975. *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin.
- Khajoei Nasab, F., Khosravi, A. R. 2014. Ethnobotanical study of medicinal plants of Sirjan in Kerman Province, Iran. *Journal of ethno pharmacology*, 154 (1): 190-197.
- Kundu, A., Dwivedi, S., Dutta, D. 2016. Monitoring the vegetation health over India during contrasting monsoon years using satellite remote sensing indices. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (2): 144.
- Li, S., Zhao, Z., GAO, Y., Wang, Y. 2008. Determining the predictability and the spatial pattern of urban vegetation using recurrence quantification analysis: A case study of Shenzhen City. *Geographical Research*, 27: 1243-1251.
- Mandelbrot, B., Wallis, J.R. 1969. Robustness of the rescaled range R/S in the measurement of noncyclic long run statistical dependence. *Water Resources Research*, 5: 967–988.
- Mann, H.B. 1945. Non-parametric tests against trend. *Econometrica*. 13: 245–259.
- Matsushita, B., Yang, W., Chen, J., Onda, Y., & Qiu, G. 2007. Sensitivity of the Enhanced Vegetation Index (EVI) and Normalized Difference Vegetation Index

- (NDVI) to Topographic Effects: A Case Study in High-density Cypress Forest. *Sensors* (Basel, Switzerland), 7 (11): 2636-2651.
- Pei, F., Wu, C., Liu, X., Li, X., Yang, K., Zhou, Y., Xia, G. 2018. Monitoring the vegetation activity in China using vegetation health indices. *Agricultural and Forest Meteorology*, 248: 215-227.
- Peng, J., Liu, Zh., Liu, Y., W, J., Han, H. 2012. Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent. *Ecological Indicators*, 14 (1): 28-39.
- Pettorelli, N., Vik, O., Mysterud, A., Gaillard. J.M., Tucker. C.J., Stenseth, N.C. 2005. Using the satellite derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology and evolution*, 9 (20): 503-510.
- Potter, C., Boriah, S., Steinbach, M., Kumar, V., Klooster, S. 2008. Terrestrial vegetation dynamics and global climate controls. *Climate Dynamics*, 31 (1): 67-78.
- Rasmus, F., Rasmussen, K., Theis, Th-N., Mbow, C. 2009. Evaluation of earth observation based long term vegetation trends — Intercomparing NDVI time series trend analysis consistency of Sahel from AVHRR GIMMS, Terra MODIS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113 (9): 1886-1898.
- Rawat, J.S., Biswas, V., Kumar, M. 2013. Changes in land use/cover using geospatial techniques: A case study of Ramnagar town area, district Nainital, Uttarakhand, India, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, 16: 111-117.
- Rosenfeld, D., Rudich, Y., Lahav. R. 2001. Desert dust suppressing precipitation: A possible desertification feedback loop. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America (PNAS)*, 98 (11): 5975-5980.
- Schucknecht, A., Erasmi, S., Niemeyer, I., Matschullat1, J. 2013. Assessing vegetation variability and trends in northeastern Brazil using AVHRR and MODIS NDVI time series, *European Journal of Remote Sensing*, 46: 40-59.
- Teferi, E., Uhlenbrook, S., Bewket, W. 2015. Inter-annual and seasonal trends of vegetation condition in the Upper Blue Nile (Abay) Basin: dual-scale time series analysis. *Earth System Dynamics*, 6 (2): 617-636.
- Thiel, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. In *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie, van Weinschatpen A*. 53: 1397-1412
- Villegas, J.C., Breshears, D.D., Zou, C.B., Royer, P.D. 2010. Seasonally pulsed heterogeneity in microclimate: phenology and cover effects along deciduous grassland-forest continuum. *Vadose Zone Journal Abstract*, 9 (3):537-547.

Zhang, Y., Zhao, Z., Li, S., Meng, X. 2008. Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China. *Geographical Research*, 27 (4): 745-754.