



بررسی روند تغییرات زمانی- مکانی پوشش گیاهی و واکنش آن به عوامل محیطی در شمال استان فارس، ایران

ابوالفضل رنجبر^۱، عباسعلی ولی^۱، مرضیه مکرم^۲، فریده تازی پناه^۳

۱. دانشیار گروه علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

۲. دانشیار ژئومورفولوژی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز

۳. دانشجوی دکتری بیابان‌زایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۸/۱۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۲۲

چکیده

پوشش گیاهی، یکی از عوامل ضروری در ساختار و عملکرد اکوسیستم‌های خشکی و یکی از حلقه‌های اساسی زنجیر حیاتی آب-خاک-گیاه و اتمسفر^۱ است. مطالعات متعدد ثابت کرده است پوشش گیاهی به تغییرات عوامل اقلیمی و اداپتیکی حساس است. بر این اساس، تغییر در پوشش گیاهی و رابطه‌اش با عوامل مذکور، از اهمیت بسیاری برخوردار است. تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییرات پوشش گیاهی و عوامل موثر بر آن، در حوضه خارستان استان فارس انجام شد. در این رابطه، تصاویر برگرفته از سنجنده ETM لندست ۷، طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۰ و داده‌های اقلیمی حاصل از ۱۷ ایستگاه هواشناسی استان استفاده شد. با استفاده از این تصاویر، تغییرات زمانی و مکانی NDVI و آنومالی آن استخراج شد. به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی از روش طبقه بندی نظارت شده استفاده شد. در نهایت رابطه NDVI با عوامل اقلیمی، توپوگرافی و انسانی (کاربری اراضی) بررسی شد. رابطه بین این شاخص با عوامل اقلیمی و توپوگرافی بر مبنای روش‌های رگرسیون وزن‌دار فضایی^۱ و حداقل مربعات معمولی^۱ به دست آمد. در مجموع، تغییرات زمانی مبین روند افزایش آهسته NDVI بود. آنومالی NDVI در سال‌های قبل از ۲۰۰۸ روند مثبت و برای سال‌های بعد روند منفی را نشان داد. توزیع مکانی NDVI مبین یک روند افزایشی از شمال به سمت مرکز و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه بود. نتایج حاکی از تاثیر دو دسته عوامل طبیعی و انسانی بر تغییرات پوشش گیاهی بود. NDVI در اراضی کشاورزی و مرتعی افزایش، همچنین پوشش گیاهی طبیعی بیشتر از پوشش‌های دست کاشت (اراضی کشاورزی و باغی) تحت تاثیر عوامل اقلیمی قرار گرفته است. علاوه بر این تغییرات پوشش گیاهی بر حسب ارتفاع، جهت و شیب هم تفاوت داشت. به طوری که از ارتفاع بیشتر از ۲۵۰۰ متر مقدار NDVI کاهش، در شیب‌های کمتر از ۵°، مقدار این شاخص افزایش و در جهت‌های شمال و شرق بیشتر از دامنه‌های جنوبی بود. روند کلی، نشان‌دهنده افزایش دما و کاهش بارندگی در طول دوره مورد مطالعه بود. با توجه به نقش تعیین کننده بارش در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌توان گفت نقش کنترلی بارش بر NDVI بیشتر از دما است. حداکثر همبستگی مثبت و منفی، بین متوسط بارش سالیانه و NDVI با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۸۳ مشاهده شد. همچنین حداکثر همبستگی منفی و مثبت بین NDVI و دما به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۵ بود. بیشترین مقدار ضریب تبیین مکانی (Local R²) بین NDVI با بارندگی و دما به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴۴ بود که در بخش‌های مرکزی منطقه مشاهده شد. با توجه به نتایج، می‌توان اظهار داشت که عوامل محیطی نظیر ارتفاع، جهت، شیب، دما و بارش از فاکتورهای تاثیرگذار بر پوشش گیاهی در منطقه خارستان هستند.

کلید واژه‌ها: NDVI، عوامل توپوگرافی، کاربری اراضی، عوامل اقلیمی، رگرسیون وزن‌دار فضایی، مناطق خشک و نیمه‌خشک

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ایران، اصفهان، کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، کد پستی: ۸۷۳۱۷۵۴۱۵۳

Email: aranjbar@kashanu.ac.ir

۱- مقدمه

برای مطالعه روابط بین NDVI و عوامل محیطی عمدتاً از همبستگی و رگرسیون خطی استفاده می‌شود، اما مطالعات متعدد نشان داد که ممکن است رابطه بین این شاخص و عوامل محیطی به‌ویژه در مناطق ناهمگن پیچیده و غیر خطی باشد (Gao et al., 2012; Li et al., 2011). به همین دلیل، برای بررسی تغییرات مکانی پوشش گیاهی، قالبی از تکنیک‌های رگرسیون جهانی به نام رگرسیون وزن‌دار فضایی^۱ (GWR) توسعه یافته است (Fotheringham et al., 2002). این تکنیک کاربردهای متنوعی از جمله آشکار کردن و تحلیل متغیرها در مقیاس محلی دارد. مطالعات زیادی در زمینه‌های مختلف اکولوژیکی، هیدرولوژیکی و جغرافیای شهری برای بررسی روابط متغیرها با استفاده از این رگرسیون انجام شده است (Calvo and Escobar, 2001; Brunsdon et al., 2003). اما در زمینه بررسی ارتباط پوشش گیاهی با عوامل اقلیمی و توپوگرافی فقط در سال‌های اخیر مطالعات محدودی صورت گرفته است (Kayiranga et al., 2017; Shiao-fu et al., 2012; Gaughan et al., 2012). به طور کلی هدف از مطالعه حاضر: ۱) بررسی تغییرات زمانی- مکانی پوشش گیاهی در منطقه خارستان استان فارس و ۲) ارزیابی عوامل طبیعی و انسانی موثر بر توزیع پوشش گیاهی و در نهایت پاسخ شاخص پوشش گیاهی به تغییرات اقلیمی است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز خارستان یکی از زیرحوضه‌های آبخیز سد درودزن است که در محدوده جغرافیایی ۹° ۴۷' ۵۱" تا ۰۰' ۵۲" طول شرقی و ۳۰° ۴۷' ۳۰" عرض شمالی واقع شده و مساحت آن ۱۲۳۰۰ هکتار است. ارتفاع حداقل، حداکثر و متوسط به ترتیب ۱۹۰۰، ۳۰۴۰ و ۲۳۳۷ متر از سطح دریا و شیب متوسط ۲۵/۶۷ درصد است. متوسط بارندگی و دمای منطقه به ترتیب ۴۳۰ میلی‌متر و ۱۴/۴ درجه سانتی‌گراد، و اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن نیمه‌خشک است.

1. Normalized different vegetation index
2. Geographically Weighted Regression

نقش پوشش گیاهی به عنوان جزء اصلی اکوسیستم در تبادل انرژی، گردش آب و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در سطح زمین بر کسی پوشیده نیست (Peng et al., 2012). پوشش گیاهی به عنوان یک محرک در تغییر شرایط زیستگاهی و ترکیب گونه‌ای، یکی از مباحث مهم زیستی محسوب می‌شود (Rannow and Neuber, 2014). پوشش گیاهی از طریق تعادل عوامل محیطی، سبب حفاظت و پایداری محیط زیست می‌شود. با توجه به اهمیت پوشش گیاهی، محققان بسیاری بر شناخت رشد و الگوهای مکانی پوشش گیاهی در مناطق مختلف اقدام نموده‌اند (Jin et al., 2008; Sading et al., 2015). در میان شاخص‌های مختلف محیطی عوامل اقلیمی و توپوگرافی از عوامل اصلی کنترل‌کننده تغییرات پوشش خاک و میزان بارندگی هستند (Bachmair et al., 2012). از بین عوامل مختلف توپوگرافی، ارتفاع، جهت و شیب تاثیر زیادی بر توزیع و الگوی پوشش گیاهی به ویژه در مناطق کوهستانی دارند (Wood et al., 2011).

سنجش از دور از تکنیک‌های موثر جهت کمی‌سازی اثرات اقلیم و توپوگرافی بر الگوهای مکانی پوشش گیاهی است (Couteron et al., 2014). در میان شاخص‌های مختلف دورسنجی پوشش گیاهی، شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی^۱ (NDVI) مناسب‌ترین شاخص برای بررسی توزیع و تغییرات پوشش گیاهی است (Wu et al., 2017). در سطح جهانی و منطقه‌ای مطالعات زیادی بر اهمیت شاخص مذکور در نشان دادن ویژگی‌های مکانی و زمانی پوشش گیاهی تاکید کردند، به طور مثال تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی طی دوره هشت ساله با استفاده از NDVI و از طریق تجزیه و تحلیل روند و همبستگی جزئی در جنوب بیابان Mu Us (چین) مورد بررسی قرار گرفت (Li et al., 2017). همچنین در زمینه کمی‌سازی ارتباط بین این شاخص با عوامل محیطی (اقلیم و توپوگرافی) می‌توان به مطالعات (Kayiranga et al., 2017; Jin et al., 2009) اشاره کرد.

قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در نرم افزار 5.3 ENVI استخراج گردید. داده‌های اقلیمی برای دوره زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۷) از ۱۷ ایستگاه هواشناسی (محلی) دریافت شد. مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۳۰ متر از وب سایت زمین شناسی آمریکا به دست آمد. داده‌های مربوط به جهت، شیب و ارتفاع از DEM با استفاده از بخش آنالیز فضایی Spatial analysis در نرم افزار ArcGIS10.3 تهیه شد.

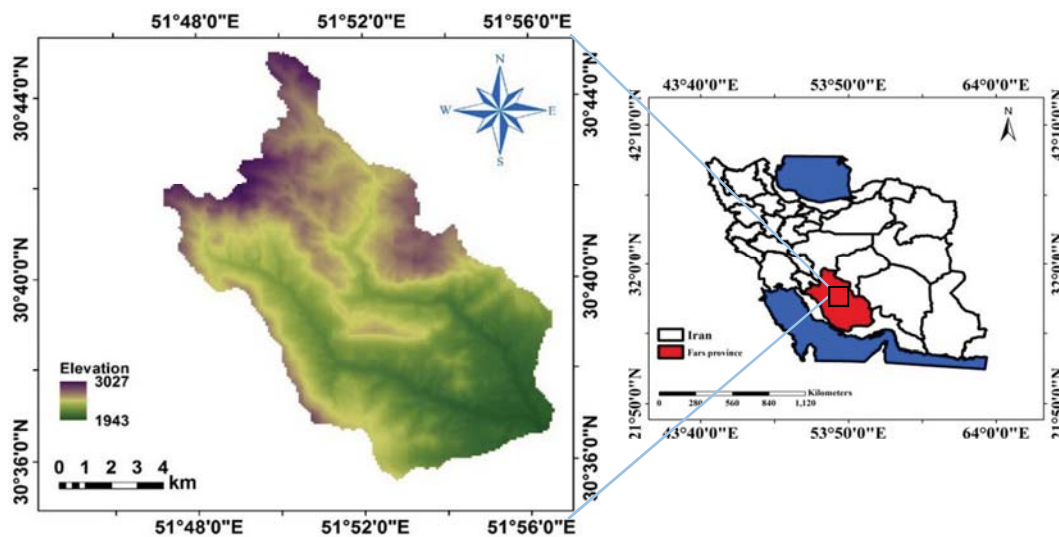
۲-۲- روش پژوهش

جهت بهبود کیفیت تصاویر از تصحیحات رادیومتریک^۴، اتمسفری دارک^۵ (تفریق تیرگی‌ها) و هندسی^۶ به ترتیب برای رفع خطاهای ناشی از سنسور یا ماهواره، رفع اثر ناشی از ذرات موجود در اتمسفر مانند بخار آب و رفع اعوججاتی چون جابجایی ماهواره از مسیر حرکت پیش‌بینی شده خود،

شیب متوسط منطقه ۱۱/۲ درصد است که در منطقه‌ای کوهستانی واقع شده و اراضی مسطح به‌ندرت در آن دیده می‌شود. چینه‌های موجود در آن بر اساس قدمت از سازند هرمز، زون کمپلکس، پابده - گورپی، کشکان، آسماری و رسوب‌های آبرفتی Q_۴ تشکیل شده است. مهمترین فعالیت‌های کشاورزی رایج در منطقه باغداری و کشت محصولات دیم و آبی است. عمده کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه مرتع است و بر اساس پتانسیل تولید و ظرفیت چرای دام شامل درجات متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف است.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

جهت ارزیابی پوشش گیاهی از تصاویر چند زمانه لندست ۷ ETM استفاده شد. تصاویر از سایت زمین شناسی آمریکا^۱ و در شرایط بدون ابر با ردیف ۳۹ و مسیر ۱۶۳ دریافت شد. مقادیر NDVI از تصاویر با فاصله ۱۶ روزه و

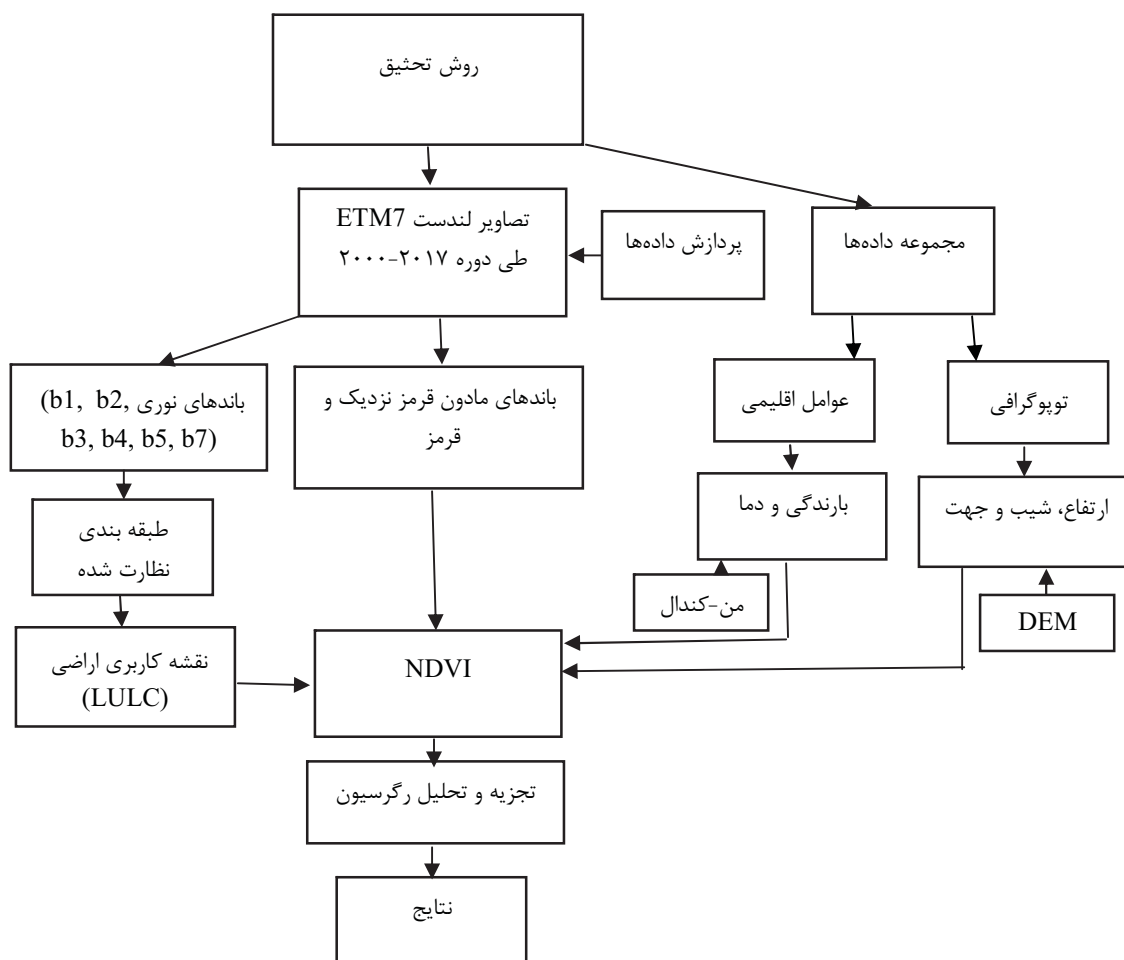


شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوضه خارستان)

1. The United States Geological Survey
2. The Environment for Visualizing Image
3. Digital elevation *model*
4. Radiometric calibration
5. Dark atmospheric correction
6. Geometric correction

به منظور ارزیابی اثر عوامل محیطی منطقه مورد مطالعه بر پوشش گیاهی سه دسته عوامل توپوگرافی، کاربری اراضی و اقلیمی مورد بررسی قرار گرفت. عوامل توپوگرافی و اقلیمی در نظر گرفته شده شامل ارتفاع، جهت، شیب دما و بارش بود. ارتباط بین این عوامل و پوشش گیاهی با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی^۱ (OLS) و رگرسیون وزن دار فضایی در نرم افزار ArcGIS انجام شد. شکل ۲، نمایی کلی از روش ارائه شده در این مطالعه را نشان می دهد:

حرکت زمین به دور خود در هنگام تصویربرداری و جابجایی های ناشی از اختلاف ارتفاع در پستی ها و بلندی ها، انجام شد. مقدار NDVI ماهیانه از ترکیب دو NDVI ۱۶ روزه در نرم افزار ArcGIS برای ماه های مه تا سپتامبر (اردیبهشت تا شهریور) در طول دوره مورد مطالعه ۲۰۱۷-۲۰۰۰ (۱۳۸۰-۱۳۹۶) به دست آمد. برآورد متوسط NDVI سالیانه بر مبنای متوسط ماهانه این شاخص انجام شد. نقشه کاربری اراضی با استفاده از طبقه بندی نظارت شده در نرم افزار ENVI تهیه و سپس در نرم افزار ArcGIS کلاس بندی شد.



شکل ۲. نمودار مراحل انجام پژوهش

1. Ordinary least squares

محاسبه عوامل اقلیمی

به منظور بررسی عوامل اقلیمی از آمار ۱۷ ایستگاه هواشناسی استفاده شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد نظر در جدول ۱ نشان داده شده است. داده‌های اقلیمی برای دوره زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۷) ۱۷ ایستگاه هواشناسی به صورت ماهانه تهیه شد. بر مبنای داده‌های ماهانه، میانگین بارندگی و دما سالیانه محاسبه شد. در نهایت با استفاده از الگوریتم درون‌یابی^۱ IDW در محیط نرم افزار ArcGIS 10.3، نقشه آنها استخراج شد.

روش درون‌یابی معکوس فاصله (IDW)

از مدل IDW برای درون‌یابی داده‌های پارامترهای اقلیمی استفاده شد. این روش بر این فرض استوار است که پدیده مورد نظر با فاصله، رابطه عکس دارد به‌طوری‌که با افزایش مسافت کاهش می‌یابد. به بیانی

دیگر، پدیده پیوسته در نقاط اندازه‌گیری نشده، بیشترین شباهت را به نزدیکترین نقاط برداشت شده دارد. بنابراین به منظور برآورد نقاط مجهول، نمونه‌های اطراف نسبت به نمونه‌های دورتر باید مشارکت بیشتری داشته باشند. به عبارتی، در این مدل از فاصله به عنوان وزن متغیر معلوم در پیش‌بینی نقاط اندازه‌گیری نشده استفاده می‌شود، زیرا نقش متغیر پیوسته در تأثیرگذاری با فاصله از مکان نقطه مجهول کاهش می‌یابد. قابل توجه است هر چه فاصله داده معلوم از نقطه مجهول افزایش یابد، لازم است وزن‌ها بر اساس فاصله کاهش یابد. بنابراین فاصله‌ها، معکوس می‌شود و به بیان دیگر از معکوس فاصله به عنوان وزن نقاط اندازه‌گیری شده در پیش‌بینی نقاط مجهول استفاده می‌شود. به همین دلیل است که این مدل Inverse Distance Wighted نامگذاری شده است.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده

ارتفاع	Y	X	نوع ایستگاه	نام ایستگاه
۲۰۱۰	۳۳۸۶۵۸۱	۵۹۱۴۲۲	بارانسجی	جمال بیگ
۲۱۸۱	۳۱۶۷۵۷۸	۵۹۸۰۸۹	بارانسجی	دهکده سفید
۱۶۹۰	۳۳۵۸۱۹۷	۶۱۶۹۳۵/۱	بارانسجی	منصور آباد
۲۱۲۰	۳۳۴۲۴۶۷	۵۹۸۰۸۷	بارانسجی	برغان
۲۰۴۶	۳۳۵۲۰۷۰	۶۴۱۱۱۴	بارانسجی	دشتک
۲۱۹۲	۳۳۹۹۱۴۱	۶۱۱۴۷۰	بارانسجی	سده
۱۸۴۰	۳۳۷۰۹۰۲	۶۰۵۷۰۳	بارانسجی	چمریز
۲۳۰۰	۳۴۱۹۶۶۲	۶۵۶۱۰۰	سینوپتیک	اقلید
۲۲۰۱	۳۳۴۵۸۱۱	۵۹۷۱۷۹	سینوپتیک	سپیدان
۱۶۴۲	۳۳۳۹۹۸۹	۶۳۹۵۹۹	سینوپتیک	دردوزن
۱۶۰۵	۳۳۱۳۶۲۳	۶۸۱۴۴۷	سینوپتیک	تخت جمشید
۲۱۴۰	۳۴۱۱۲۳۷	۵۴۵۲۸۹	سینوپتیک	سی سخت
۲۱۸۸	۳۴۹۰۰۰۳	۶۰۷۲۶۷	سینوپتیک	ایزدخواست
۲۲۵۱	۳۳۸۵۲۷۲	۶۹۹۷۶۸	سینوپتیک	خرم بید
۲۰۳۰	۳۴۵۱۱۱۶	۶۵۸۸۱۵	سینوپتیک	آباد
۲۲۳۷	۳۴۴۶۴۳۷	۵۵۶۷۲۲	سینوپتیک	سمیرم
۱۸۱۶	۳۳۹۳۱۸۹	۵۵۸۴۳۵	سینوپتیک	یاسوج

1. Inverse Distance Weighted Interpolation

می‌کند. فرض صفر این آزمون مبنی بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها است، در صورتی که فرض یک، وجود روند در سری داده‌ها را نشان می‌دهد. مراحل محاسبه این آزمون به شرح زیر است:

برای انجام این آزمون ابتدا باید رتبه‌بندی سری‌های زمانی انجام شود:

$$S_k = \sum_{i=1}^k r_i \quad (k = 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

در این رابطه K طول داده ثبت شده است. r_i نیز با استفاده از رابطه محاسبه می‌شود:

رابطه (7)

$$r_i = \begin{cases} 1 & x_i > x_j \\ 0 & x_i \leq x_j \end{cases} \quad (j = 1, 2, \dots, i)$$

به منظور تعیین تصادفی بودن یا روند داشتن سری‌های زمانی آماره Z به صورت زیر تعریف می‌شود:

رابطه (8)

$$Z_k = \frac{[S_k - E(S_k)]}{\sqrt{Var(S_k)}} \quad (k = 1, 2, \dots, n)$$

جایی که $E(S_k)$ و $Var(S_k)$ به ترتیب امید ریاضی و واریانس هستند.

$$E(S_k) = \frac{n(n-1)}{4} \quad (9)$$

تابع توزیع امید ریاضی در شرایطی که فرض صفر حاکم باشد از لحاظ مجانبی با میانگین و واریانس برابر است.

$$Var(S_k) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad (10)$$

اگر Z_k مثبت باشد، روند صعودی و در صورت منفی بودن آن روند نزولی است. این آزمون برای سطح معنی‌داری ۹۵ و ۹۹ درصد انجام می‌شود. در سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد مقدار Z به ترتیب ۱/۹۶ و ۲/۵۸ در نظر گرفته می‌شود.

به منظور تعیین نقاط جهش، می‌توان با رسم نمودار سری در برابر زمان نقطه جهش را حدس زد. اما این کار با استفاده از روش‌های آماری نیز امکان‌پذیر است. از این روش‌های آماری می‌توان به آزمون من-کندال دنباله‌ای اشاره کرد. این روش مقادیر آمار را در

از طرف دیگر، تأثیر شدت وابستگی مکانی در داده‌ها را با استفاده از توان در معکوس فاصله می‌توان اعمال کرد. مقدار فاکتور وزنی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\lambda_i = \frac{D_i^{-\alpha}}{\sum_{i=1}^n D_i^{-\alpha}} \quad (1)$$

به طوریکه D_i فاصله i امین نقطه مشاهده شده تا نقطه مورد تخمین، α توان وزنی دهی فاصله و n تعداد نقاط مجاور است.

محاسبه آنومالی بارش و دما

آنومالی بارش سالانه به معنی میزان تغییرات سالانه بارش از مقدار نرمال آن است که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_a = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \quad (2)$$

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (3)$$

در روابط فوق P_a آنومالی بارش، P مقدار بارش مشخص، \bar{P} میانگین درازمدت بارش، n طول دوره آماری و $i = 1, 2, \dots, n$ است.

$$T_a = \frac{T - \bar{T}}{\bar{T}} \quad (4)$$

$$\bar{T} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i \quad (5)$$

در رابطه ۵: T_a آنومالی دما، T مقدار دمای مشخص، \bar{T} میانگین دمای درازمدت، n طول دوره آماری و $i = 1, 2, \dots, n$ است.

تحلیل با استفاده از آزمون من-کندال

آزمون من-کندال، برای تعیین روند عناصر اقلیمی (دما و بارش) استفاده شد. همانند سایر آزمون‌های آماری، این آزمون بر مبنای مقایسه فرض صفر و یک بوده و در نهایت در مورد پذیرش یا رد فرض صفر تصمیم‌گیری

متداول (OLS) می‌توان از این رگرسیون استفاده کرد. در مطالعه حاضر محاسبه تغییرات NDVI در دوره مورد نظر در محیط نرم افزار ArcGIS10.3 انجام شد. معادله ۲، نشان‌دهنده شیب روند خطی است:

رابطه (۱۲)

$$\theta_{Slope} = \frac{n \times \sum_{i=1}^n NDVI_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n NDVI_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2}$$

n تعداد سال‌های مورد مطالعه (۱۸)، i عدد مربوط به هر سال (متلا برای سال ۲۰۰۰، i برابر ۱ است. NDVI_i متوسط NDVI برای سال i، θ_{slope} شیب رگرسیون خطی، نشان‌دهنده روند NDVI در طول دوره است. هنگامی که θ_{slope} < ۰، NDVI متوسط از سال ۲۰۱۷-۲۰۰۰ افزایش می‌یابد و بالعکس.

تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره^۲

برای تجزیه و تحلیل رابطه بین NDVI و عوامل اقلیمی از رگرسیون چند متغیره، به‌وسیله حداقل مربعات معمولی و رگرسیون وزن‌دار فضایی استفاده شد.

حداقل مربعات معمولی

برای تجزیه و تحلیل همبستگی بین NDVI و عوامل اقلیمی (دما و بارش) از رگرسیون خطی چند متغیره در محیط ArcGIS 10,3 استفاده شد. این روش که به کارل فردریک گوس نسبت داده شده است، از طریق حداقل کردن مجموع مربعات، بهترین خط رگرسیونی برای داده‌ها را ایجاد می‌کند. مدل خطی چند متغیره برای هر پیکسل به صورت زیر ایجاد می‌شود:

رابطه (۱۳)

$$NDVI = b_0 + b_1 \times Temperature + b_2 \times Precipitation + \varepsilon$$

در معادله فوق NDVI شاخص پوشش گیاهی سالانه، b₀ عرض از مبدأ، b₁ و b₂ ضریب رگرسیون به ترتیب برای دما و بارش، ε باقیمانده رگرسیون است. با بکارگیری این روش، می‌توان رابطه بین تغییرات NDVI و عوامل اقلیمی را به دست آورد.

سری‌های زمانی با روش رتبه دادن محاسبه می‌کند و همین عمل به صورت عکس نیز انجام می‌شود. اگر دنباله u و u' به صورت نمودار رسم شود، در حالت معناداری روند، در نقطه شروع پدیده این دو نمودار یکدیگر را قطع خواهند نمود. در حالتی که سری ایستا باشد، u و u' به صورت موازی هستند و یا با یکدیگر چند بار برخورد دارند اما به تغییر جهش منجر نمی‌شود. زمانی که a=۰/۰۵ و u بیشتر از ۱/۹۶ باشد روند معنی‌دار است. به عبارتی اگر u از خطوط بالا و پایین معناداری (۱/۹۶) خارج شود، روند وجود دارد. اگر u و u' در محدوده معناداری، تلاقی کنند اما خارج نشوند، فقط تغییر ناگهانی در میانگین اتفاق افتاده، اما روند وجود ندارد.

محاسبه آنومالی NDVI

از شاخص نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، می‌توان وضعیت پوشش گیاهی را از طریق محاسبه آنومالی NDVI برای هر پیکسل با استفاده از رابطه ۱۱، محاسبه کرد.

$$NDVI_{An} = \frac{NDVI_{max,i} - \overline{NDVI}}{NDVI_{max}} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

در رابطه ۱۱، NDVI_{An}: آنومالی NDVI، NDVI_{max,i}: مقدار حداکثر NDVI پیکسل در سال i، \overline{NDVI} : میانگین NDVI پیکسل، $\overline{NDVI_{max}}$: میانگین مقادیر حداکثر NDVI در طول دوره آماری است.

تحلیل روند خطی^۱

تحلیل روند خطی، تغییرات مکانی پوشش گیاهی را در طول دوره آماری (دوره مطالعاتی) منعکس می‌کند و می‌تواند پیکسل‌های سازمان یافته در یک شبکه را شبیه‌سازی کند (Song and Ma, 2008). روند تغییر برای یک دوره معین و پیکسل مربوطه توسط روش رگرسیون خطی تک متغیره (y = ax + b) قابل محاسبه است. در این معادله x تعداد سال‌های دوره آماری و y میانگین سالانه مقدار NDVI است. برای تعیین روند NDVI در مقیاس پیکسل بر اساس حداقل مربعات

1. Trend line analysis

2. Multivariate Regression Analysis

$$SS_E = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$SS_T = (y_i - \bar{y}_i)^2 \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

n تعداد مشاهدات، y_i مشاهده i ام، \hat{y}_i مقدار برآورد شده مشاهده i ام و \bar{y}_i میانگین مشاهدات است. در این مطالعه، تجزیه و تحلیل و تهیه نقشه‌های GWR، با استفاده از نرم افزار ArcGIS10,3 انجام شد.

استخراج نقشه کاربری اراضی

به منظور تشخیص هر چه بهتر عوارض، با استفاده از سه روش ترکیب رنگی، بسط کنتراست و نسبت‌گیری طیفی، تصاویر آشکارسازی شدند. پس از آشکارسازی تصاویر اقدام به طبقه‌بندی آنها با استفاده از روش نظارت‌شده از طریق الگوریتم حداکثر احتمال شد. این الگوریتم نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی قویتر است. در طبقه بندی نظارت‌شده با استفاده از مراحل شش گانه شامل تعیین نمونه‌های تعلیمی و رقومی کردن محدوده آن‌ها، استخراج نشان طیفی ویژه هر یک از کاربری‌ها از طیف‌های تصویر، بررسی قابلیت جداسازی نشان‌های طیفی کاربری‌ها و پوشش، انتخاب یک طبقه بندی کننده، طبقه بندی تصویر و بررسی گزارش صحت طبقه بندی، به ترتیب کاربری‌ها و تیپ پوششی بر روی تصویر شناسایی و طبقه بندی انجام شد. در این ماتریس، مشخصات آماری شامل صحت تولید کننده، صحت مصرف کننده، صحت کل و شاخص کاپا برای هر یک از طبقات نمایش داده می‌شود.

صحت تولیدکننده، معادل نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به مجموع پیکسل‌های همان ستون و صحت کاربر، معادل نسبت پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده به مجموع پیکسل‌های همان سطر است. بر اساس دو صحت یاد شده، دو خطای حذف یا Omission و ارتکاب (اضافه) یا Commission تعریف می‌شوند.

این دو خطا نیز بر اساس اطلاعات ماتریس خطا،

۲-۲-۳-۲- رگرسیون وزن دار فضایی

رگرسیون وزن دار فضایی یکی از انواع توسعه یافته رگرسیون‌های مرسوم نظیر حداقل مربعات معمولی (OLS) است که پارامترها را در مقیاس منطقه‌ای بیشتر از جهانی برآورد می‌کند (Fotheringham et al., 2002). مدل رگرسیون وزن دار فضایی (GWR) برای مشاهدات نقطه‌ای اجرا می‌شود که به صورت زیر بیان می‌شود:

رابطه (۱۴)

$$y_i = \beta_0(\mu_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(\mu_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i$$

(μ_i, v_i) مختصات نقطه‌ای i نشان‌دهنده تعداد متغیر مستقل، y_i متغیر وابسته، x_{ik} متغیر مستقل و ε_i خطای تصادفی در موقعیت i ، $\beta_0(\mu_i, v_i)$ عرض از مبدا نقطه‌ای i و $\beta_k(\mu_i, v_i)$ ضریب شیب برای متغیر مستقل x_{ik} است. ضرایب رگرسیون از طریق رابطه زیر به دست می‌آید:

رابطه (۱۵)

$$\beta(\mu_i, v_i) = (X^T W(\mu_i, v_i) X)^{-1} X^T W(\mu_i, v_i) y$$

جاییکه، $\beta(\mu_i, v_i)$ ارزیابی ضریب رگرسیون، $W(\mu_i, v_i)$ گویای ماتریس وزن است تا اطمینان حاصل شود مشاهدات در نزدیکی نقطه خاص دارای وزن بیشتری هستند و X و Y ماتریس‌های مربوط به متغیر مستقل و وابسته هستند. وزن هسته هم از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\omega_{ij} = \exp\left(-\frac{d_{ij}^2}{b^2}\right) \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

در معادله فوق ω_{ij} نشان‌دهنده وزن مشاهدات j در نقطه i ، d_{ij} فاصله اقلیدسی بین نقاط i و j و b پهنای باند هسته است. چنانچه مشاهدات j با i برابر شود، مقدار وزن برابر یک و اگر فاصله بیشتر از پهنای باند هسته باشد، وزن به صفر نزدیک می‌شود. خروجی GWR شامل پارامترهای متعددی است که در میان این پارامترها معمولاً ضریب تبیین R^2 به کار می‌رود. این پارامتر از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R^2 = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

۲۰۰۸ به بعد تقریباً یک روند صعودی داشته، که بیشترین مقدار مشاهده شده مربوط به سال ۲۰۱۷ است (شکل ۳a). در مطالعاتی مشابه، Hou et al., (2015) در جنوب غرب چین و Dai et al. (2011) در شمال غربی چین نشان دادند که NDVI سالیانه، به ترتیب در طی دوره ۳۲ و ۲۵ ساله روند صعودی داشته است. تغییرات آنومالی شاخص پوشش گیاهی^۱ نشان داد که این متغیر در طول سال‌های قبل از ۲۰۰۸ دارای روند کاهشی و از ابتدای سال ۲۰۰۹ تا پایان دوره مطالعه روند افزایشی دارد (شکل 3b). وقوع دوره‌های خشکسالی قبل از ۲۰۰۸ می‌تواند دلیل مهمی برای این موضوع باشد (اورنگی و همکاران، ۲۰۱۱). بر اساس گزارش عرفانیان و همکاران (۱۳۹۳)، استان فارس طی دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰ در فصل رشد گیاهان دچار خشکسالی با شدت‌های متفاوت بوده است. گرم شدن آب و هوا با تسریع تبخیر و تعرق باعث کمبود آب، تشکیل لایه خاک خشک، محدود کردن فتوسنتز و در نتیجه باعث کاهش سرعت رشد پوشش گیاهی می‌شود (Zhiijia te al., 2018).

۲-۱-۳- تغییرات مکانی NDVI

شبیه سازی روند شبکه‌های رستری بر مبنای تجزیه و تحلیل خطی گویای ویژگی‌های تغییرات مکانی پوشش گیاهی است. توزیع مکانی NDVI در شکل ۴a ارائه شده است. تغییرات مقدار NDVI در محدوده عددی ۰/۱۸ تا ۰/۶ است، مناطق با NDVI کمتر از ۰/۵ در جنوب، شمال و غرب و مناطق با NDVI بزرگتر از ۰/۵ (شامل اراضی کشاورزی و باغی) در مرکز حوضه واقع شده است. شکل ۴b نقشه تغییرات مکانی میزان NDVI را طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۰ نشان می‌دهد. مقادیر NDVI از شمال به سمت مرکز و جنوب غرب روند افزایشی داشته است، به طوری که حداکثر این افزایش در مرکز و جنوب غرب منطقه مورد مطالعه

برای هر طبقه مجزا محاسبه می‌شود. خطای ارتکاب که بر اساس صحت کاربر محاسبه می‌شود، معادل آن درصد از پیکسل‌هایی است که متعلق به طبقه مورد نظر نیستند ولی طبقه‌بندی کننده، آن‌ها را جزء آن طبقه خاص در نظر گرفته است. خطای حذف، مربوط به آن درصد از پیکسل‌هایی است که در واقعیت مربوط به طبقه مورد نظر است ولی جزء طبقه‌های دیگر طبقه بندی شده‌اند. یکی دیگر از پارامترهای صحت که از ماتریس خطا استخراج می‌شود، ضریب کاپا است. این ضریب، صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی، تصادفی محاسبه می‌کند و از معروف‌ترین برآوردهای کاپا، با استفاده از عناصر ماتریس خطا بر اساس رابطه ۲۰ به دست می‌آید.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}}{N^2 - \sum_{i=1}^r X_{i+} X_{+i}} \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

در این رابطه N ، تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، X_{i+} مجموع عناصر سطر i ام و X_{+i} مجموع عناصر ستون i ام است. مقدار ضریب کاپا، بین ۰-۱ متغیر است، به طوری که مقدار صفر به این معنی است که طبقه‌بندی بدون هیچ ضابطه‌ای و کاملاً تصادفی انجام شده است؛ در صورتیکه مقدار ۱، نشان‌دهنده طبقه‌بندی کاملاً صحیح بر اساس نمونه‌های گرفته شده است (فاطمی و رضایی، ۱۳۹۱).

۳. نتایج و بحث

۳-۱- تغییرات پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه

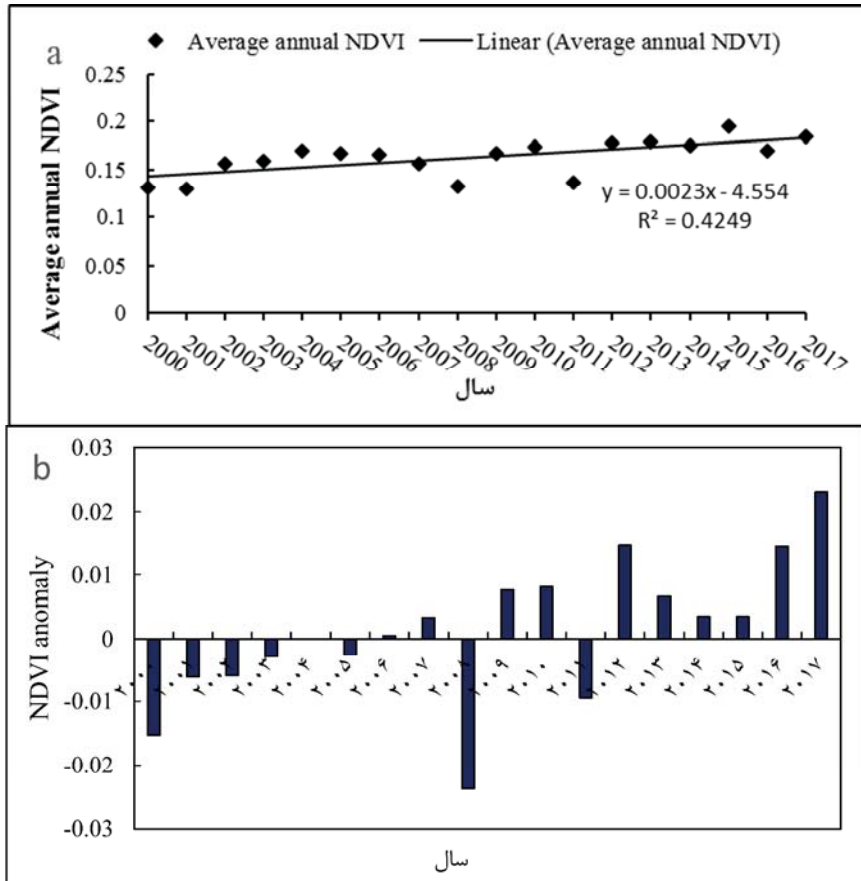
۳-۱-۱- تغییرات زمانی NDVI

تغییرات NDVI در طول دوره مطالعه (۲۰۱۷-۲۰۰۰) از یک روند صعودی برخوردار بود (شکل ۳). در این دوره زمانی ضریب افزایش سالیانه NDVI، ضریب همبستگی و ضریب تغییرات به ترتیب مقادیر ۰/۰۲۳، ۰/۶۱۲ و ۰/۰۸۴ را نشان داد. روند نوسانات مقدار NDVI نشان داد این پارامتر از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۴ افزایش، در طول سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۸ کاهش و از

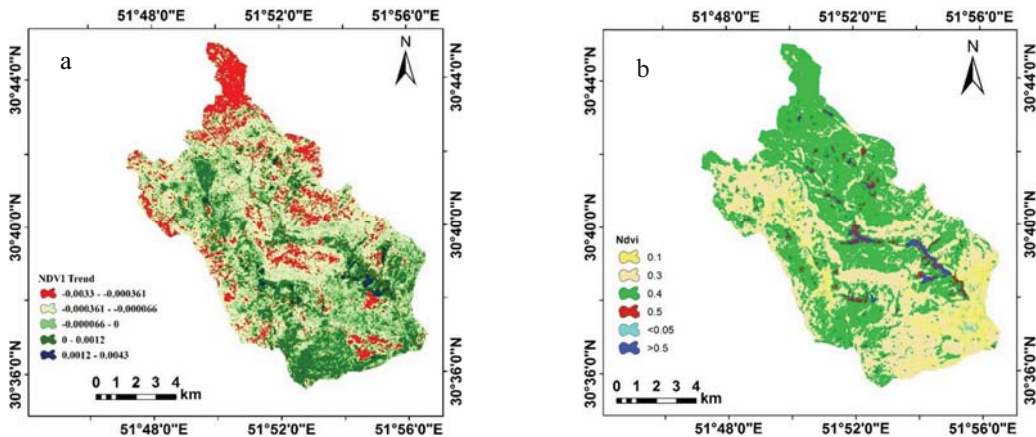
1. NDVI anomaly

کاهش پوشش گیاهی در این مناطق است. در تحقیق حاضر، نتایج یافت شده درباره تغییرات مکانی NDVI متوسط سالیانه با یافته‌های گزارش شده توسط Song and Ma, 2008; Dai et al., 2011; Hou et al., 2015 همخوانی دارد.

مشاهده شد. افزایش مقادیر NDVI در بخش‌های جنوب، غرب و مرکز حوضه بیشتر از ۰/۰۱۲ است که نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی در این مناطق است. از سوی دیگر در قسمت‌های شمال، غرب و شرق حوضه مقادیر NDVI کمتر از ۰/۰۰۶۶- بود که بیانگر



شکل ۳. تغییر مقادیر NDVI (a) و آنومالی شاخص نرمال شده پوشش گیاهی NDVI anomaly (b) در طول دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۰



شکل ۴. الگوهای تغییرات مکانی مقادیر متوسط سالیانه NDVI (a) روند NDVI (b) در طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۰

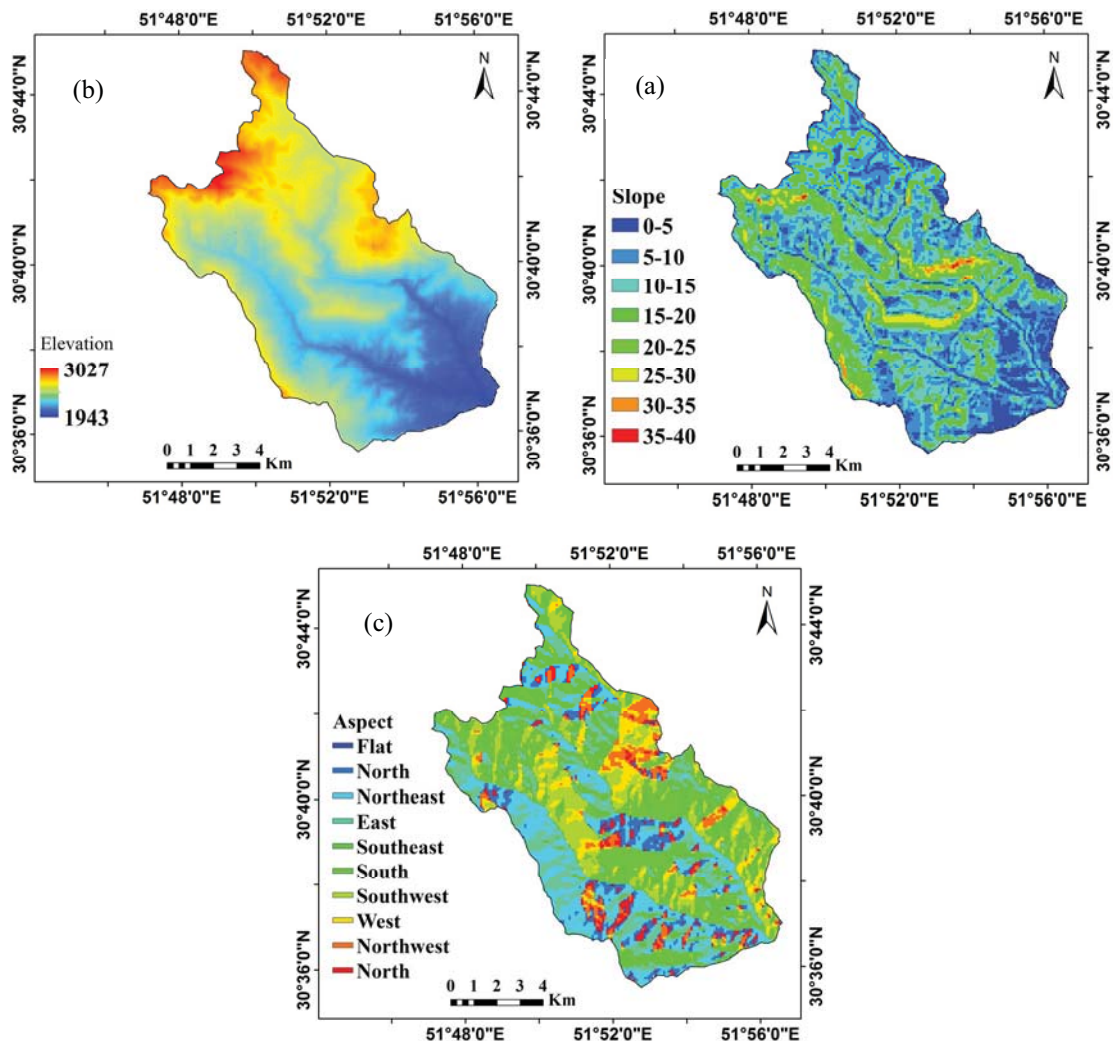
ارتفاع ۲۱۰۰ تا ۲۳۰۰ روند نزولی، در دامنه ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ مقدار NDVI تقریباً ثابت و با افزایش ارتفاع به بیش از ۲۵۰۰ متر، این روند مجدداً کاهش یافته است. تغییرات دما و بارندگی در ارتفاعات مختلف می‌تواند بر روی تغییرات روند NDVI موثر باشد (Dai et al., 2011).

رگرسیون خطی (θ_{Slope})، بین NDVI و درجات شیب در شکل ۶b ارائه شده است. در شیب کمتر از ۵ درجه به دلیل وجود اراضی کشاورزی NDVI دارای بیشترین مقدار، در ارضی مستقر روی شیب‌های ۶ تا ۳۰ درجه NDVI روند کاهشی و در اراضی با شیب

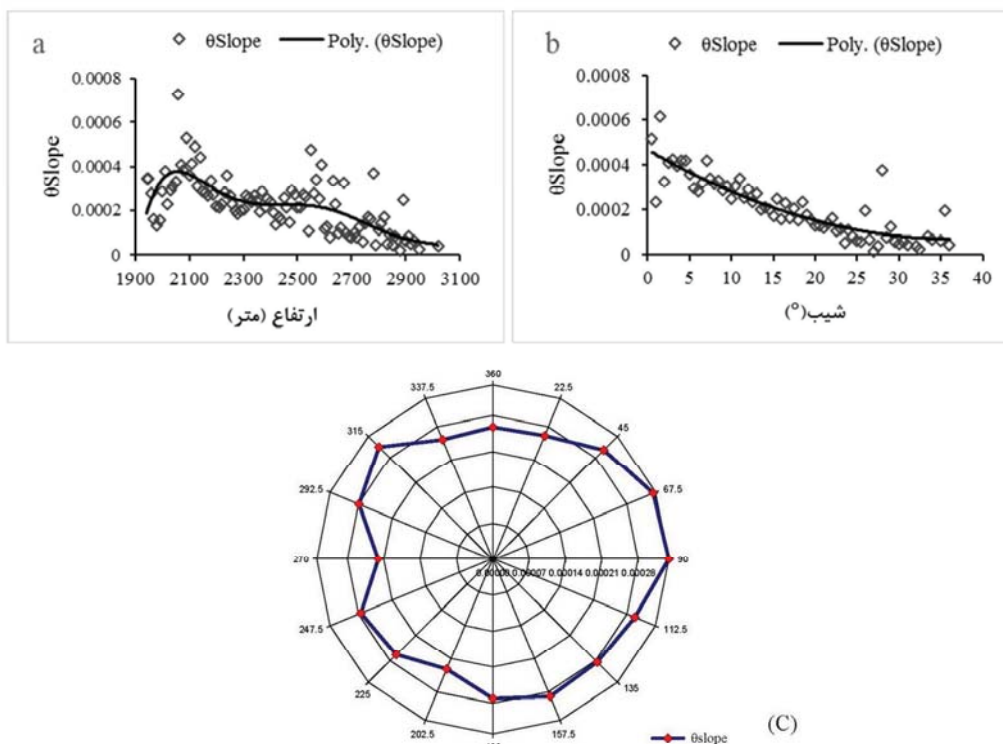
۳-۲- عوامل موثر بر تغییرات مکانی و زمانی NDVI

۳-۲-۱- عوامل توپوگرافی

توپوگرافی، تحت تاثیر سه پارامتر مهم ارتفاع، شیب و جهت قرار دارد. شکل ۵، لایه‌های ارتفاع، جهت شیب و شیب منطقه خارستان را نشان می‌دهد. تغییرات روند NDVI با عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت و شیب) در شکل ۶، نشان داده شده است. نتایج نشان‌دهنده تاثیر عوامل توپوگرافی بر تغییرات NDVI است. شکل ۶a دامنه رگرسیون خطی در ارتفاعات مختلف را نشان می‌دهد. در این شکل، مناطقی که در ارتفاع کمتر از ۲۱۰۰ متر قرار دارند NDVI روند صعودی، در دامنه



شکل ۵. نقشه ارتفاع (a)، شیب (b) و جهت‌های شیب (c)



شکل ۶. تغییرات θ slope در ارتفاعات مختلف (a)، شیب (b) و جهت‌های شیب (c)

دمای زمین، زمان تابش، تبخیر و دیگر شرایط تعیین می‌شود (Zhuo et al., 2004). در جهت‌های شمال شرقی، شمال غرب و شرق، تغییرات NDVI بیشتر از دامنه‌های جنوبی است. در جهت‌های شمالی دما و میزان تبخیر کمتر است و در نتیجه توزیع و رشد پوشش گیاهی بیشتر است (Jin et al., 2009; Shiao-fu et al., 2013). از آنجا که دامنه‌های شمالی و جنوبی دارای بارندگی تقریباً یکسان بوده و از یکدیگر فاصله چندانی ندارند، بنابراین می‌توان اظهار کرد، تابش خورشید می‌تواند دلیل اصلی تفاوت در تغییرات پوشش گیاهی باشد (Dai et al., 2011; Liu and Li, 2009).

۳-۲-۲- عوامل انسانی

کاربری اراضی

پوشش گیاهی در کاربری‌های مختلف تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی قرار دارد. به منظور تجزیه و تحلیل NDVI، انواع کاربری اراضی در منطقه مورد

بیشتر از ۳۰ درجه روند تغییرات تقریباً ثابت (حدود ۰/۰۰۰۱) بود. در شیب کمتر از ۵ درجه به دلیل وجود اراضی کشت‌شده کشاورزی و باغات حداکثر مقدار روند NDVI وجود دارد. در اراضی مستقر روی شیب‌های کم به دلیل بالا بودن ظرفیت نگهداری آب در خاک و آب قابل دسترس گیاه مقدار NDVI زیادتر و از سوی دیگر در شیب‌های بالا، به این دلیل که آب، بیشتر به صورت رواناب از دسترس گیاه خارج می‌شود، مقدار NDVI کاهش می‌یابد (Fu and Gong, 2015).

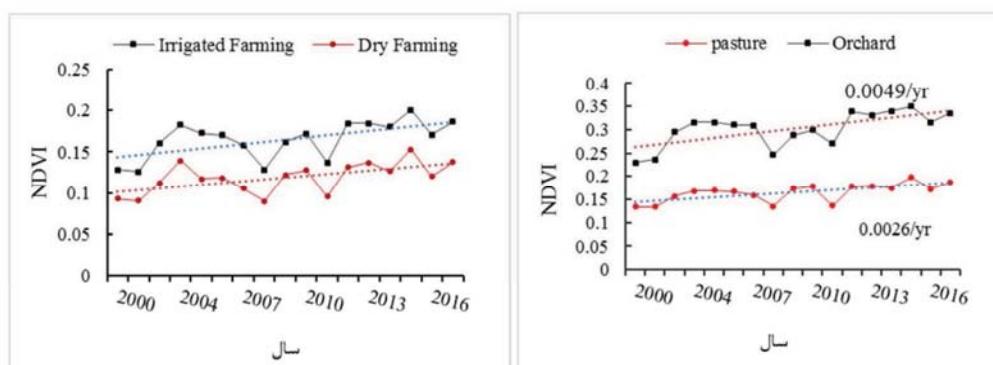
نتایج شکل ۶c نشان می‌دهد که در جهت‌های شمال شرقی، شمال غرب و شرق تغییرات NDVI بیشتر از دامنه‌های جنوبی است. بیشترین مقدار θ slope در جهت‌های شرقی (۰/۰۰۰۳۴)، کمترین مقدار آن در دامنه‌های غربی و جنوبی به ترتیب برابر ۰/۰۰۰۲۲ و ۰/۰۰۰۲۳ بود. در مناطق خشک و سرد توزیع جغرافیایی، پوشش گیاهی تحت تاثیر جهت شیب قرار دارد. اثر جهت شیب از طریق شدت تابش خورشید،

هر کاربری را طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ نشان می‌دهد. طی دوره مذکور، مقدار متوسط سالیانه NDVI در اراضی کشاورزی دیم ۰/۰۲۲، اراضی مرتعی ۰/۰۲۶، اراضی کشاورزی آبی ۰/۰۲۷ و اراضی باغی بیشترین مقدار و برابر با ۰/۰۴۹ در سال افزایش یافته است (شکل ۶). نتایج حاصله با یافته‌های (Xu et al., 2007; Yang et al., 2009) مطابقت دارد. نامبردگان، علت افزایش NDVI را به افزایش وسعت اراضی تحت کشت (زراعی و باغی) نسبت داده‌اند.

مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. افزایش متوسط NDVI سالیانه در اراضی با کاربری کشاورزی و مرتعی در طی این دوره، قابل مشاهده است. داده‌های ارائه شده در این جدول، نشان می‌دهد پوشش گیاهی طبیعی، بیشتر از پوشش‌های اهلی (اراضی کشاورزی و باغی)، تحت تاثیر عوامل اقلیمی قرار گرفته است. در سال‌های اخیر، توسعه اراضی کشاورزی، موجب افزایش NDVI شده است. شکل ۷، روند تغییرات NDVI

جدول ۲. تغییرات کاربری اراضی در طی دوره ۲۰۱۷-۲۰۰۰

نوع کاربری اراضی	مساحت در سال ۲۰۰۰ (ha)	مساحت (%)	مساحت در سال ۲۰۱۷ (ha)	مساحت (%)	میزان متوسط تغییرات (%)
Irrigated farming کشاورزی آبی	۲۷۲۴/۳۹۰	۲۲/۲۰۷۹۶	۲۱۴۰/۵۶	۱۷/۴۲۹۷۹	۴/۷۸
Bare soil خاک لخت	۱۰۵/۴۸	۰/۸۵۹۸۲۴	۶۷۶/۹۷	۵/۵۱۲۴	۴/۶۵
Orchard باغ	۶۲/۱	۰/۵۰۶۲۱	۴۹۹/۴۱	۴/۰۶۶۵۱۲	۳/۵۶
Dry farming کشاورزی دیم	۱۰۸۹/۰۹	۸/۸۷۷۷۵۴	۵۵۳/۰۵	۴/۵۰۳۲۳۸	۴/۳۷
Residential مسکونی	۴۴۹/۰۱	۳/۶۶۰۱۲	۵۶۱/۲	۴/۵۶۹۹۷۱	۰/۹۱
Pasture مرتع	۷۸۳۷/۵۶	۶۳/۸۸۸۱۳	۷۸۴۹/۸	۶۳/۹۱۸۰۴	۰/۰۳۸
مجموع	۱۲۳۰۰		۱۲۳۰۰		



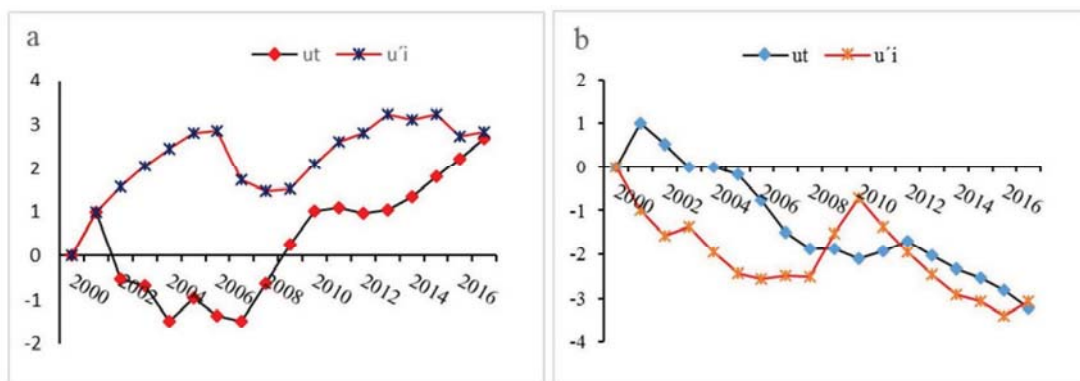
شکل ۷. تغییرات NDVI در کاربری‌های مختلف در طی ۲۰۱۷-۲۰۰۰

۳-۳- رابطه بین NDVI و عوامل اقلیمی

۳-۳-۱- تغییرات دما و بارندگی

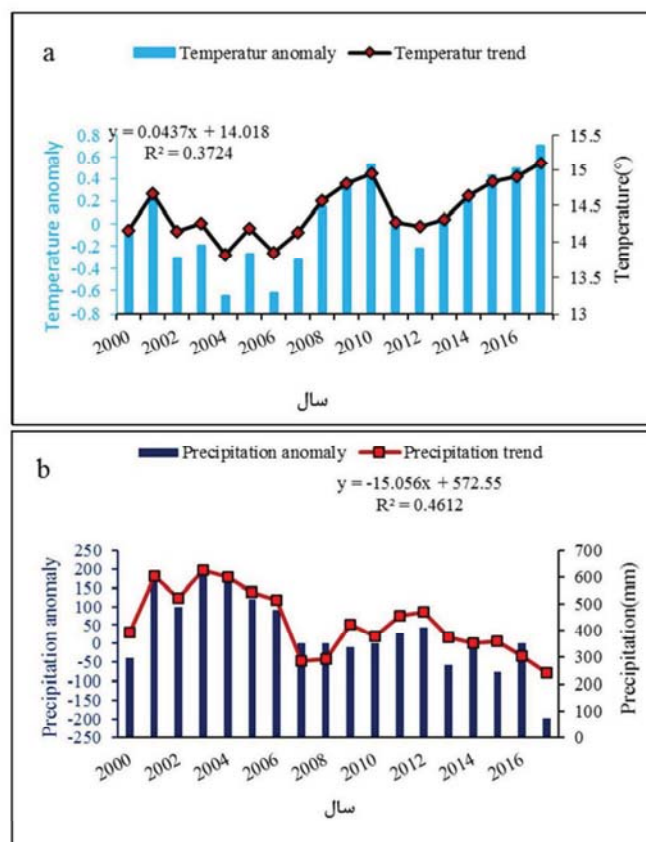
بررسی آزمون نموداری من-کندال بر روی داده‌های سالانه دما نشان داد u و u' در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ در داخل محدوده بحرانی $\pm 1/96$ هم‌دیگر را قطع کرده‌اند که نشان‌دهنده تغییرات ناگهانی در این سال‌ها است و روند مشخصی را نشان نمی‌دهد، اما در سال ۲۰۱۷ هم‌دیگر را قطع کرده که روند افزایشی دما را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه نمودار u در سال ۲۰۱۶ از محدوده $2/58$ عبور کرده، سری‌های زمانی در سطح معنی‌داری، ۱ درصد دارای روند صعودی است (شکل ۸a). شکل ۸b آزمون نموداری من-کندال بر روی داده‌های سالانه بارندگی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه u و u' در محدوده بحرانی $\pm 1/96$ هم‌دیگر را قطع کرده‌اند، جهش وجود دارد. این خطوط ۲۰۱۱ و ۲۰۱۷ در خارج از محدوده بحرانی هم‌دیگر را قطع کرده‌اند که روند کاهش بارندگی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه نمودار u در سال ۲۰۱۷ از محدوده $-2/58$ عبور کرده، سری‌های زمانی در سطح معنی‌داری، ۱ درصد دارای روند نزولی است.

نتایج به دست آمده، نشان داد در طول دوره مطالعاتی بارندگی روند کاهشی و دما روند افزایشی دارد، شکل ۹a نشان می‌دهد که متوسط دمای سالانه به میزان $0/43$ درجه سانتی‌گراد در سال افزایش داشته و آنومالی دما^۱ در سال‌های مختلف متغیر است. آنومالی دما بین $-0/6$ تا $0/8$ درجه سانتی‌گراد است، به‌طوریکه در طول سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۷ روند کاهشی و از ۲۰۰۷ به بعد روند افزایشی است. این روند با تغییرات آنومالی NDVI منطبق است. روند کلی تغییرات بارندگی در شکل ۹b ارائه شده است. نتایج بیانگر کاهش بارندگی به میزان ۱۵ میلیمتر در سال است. از نظر زمانی، این روند به ترتیب دارای سه دوره ۲۰۰۰-۲۰۰۶، ۲۰۱۱-۲۰۰۶ و ۲۰۱۱-۲۰۱۷ است. متوسط بارندگی در دوره اول بیشتر از خط پایه است اما برای دو دوره دیگر، زیر خط پایه قرار دارد. رابطه بین NDVI با بارش قویتر از دما است، این با ویژگی مناطق خشک و نیمه خشک مطابقت دارد. زیرا در نواحی مذکور بارش عامل اصلی کنترل رشد و توسعه پوشش گیاهی است (Gao et al., 2014; Zhou et al., 2014; Wang et al., 2015).



شکل ۸. تغییرات دما (a) و بارندگی (b) در منطقه مورد مطالعه با روش من-کندال

1. Temperature anomaly



شکل ۹. روند تغییرات و آنومالی دما (Temperature anomaly) و بارندگی به ترتیب شکل های (a) و (b)

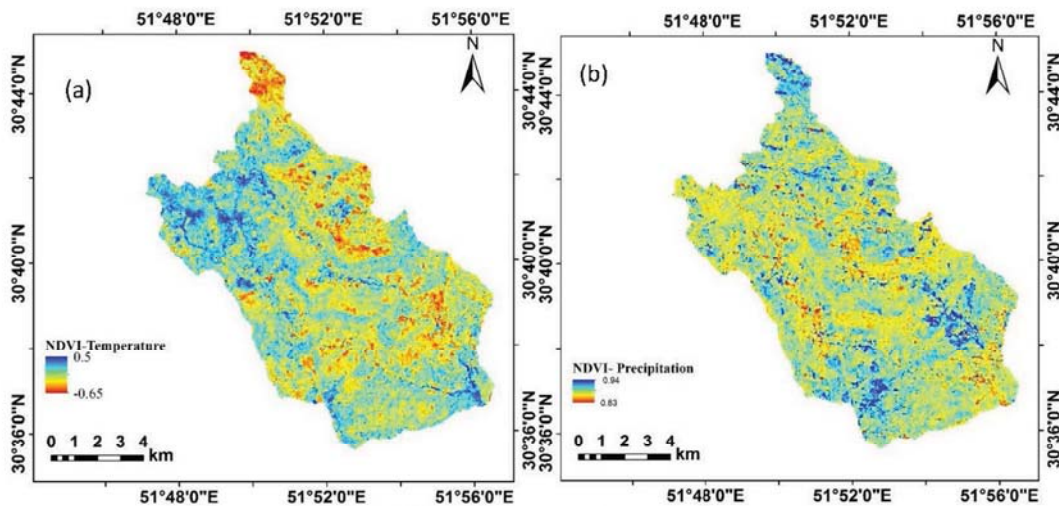
ترتیب (۰/۶۵) در شمال، جنوب شرق و شرق و (۰/۵) در بخش شمال غربی قابل مشاهده است (شکل ۱۰b). بررسی اثر عوامل اقلیمی بر NDVI، توسط تجزیه و تحلیل رگرسیون چند متغیره انجام شد. الگوهای فضایی ضریب رگرسیون چند متغیره برای NDVI و شاخص‌های اقلیمی مورد مطالعه (بارش و دما) با سطح احتمال ۹۵ درصد در شکل ۱۱a ارائه شده است. در کل مقدار همبستگی برآورد شده بین دما و NDVI، ۸۱ درصد است که شامل ۴۰٪ همبستگی خیلی ضعیف، ۲۹٪ ضعیف، ۹٪ متوسط و ۳٪ همبستگی قوی است. سطوحی که از همبستگی قوی بین دما و NDVI برخوردار است در بخش‌های مرکزی حوضه واقع شده است. در اغلب مناطقی که کاربری مرتع دارد ضریب رگرسیون دما نسبتاً کم است. الگوی مکانی ضریب

تجزیه و تحلیل رابطه NDVI با عوامل اقلیمی

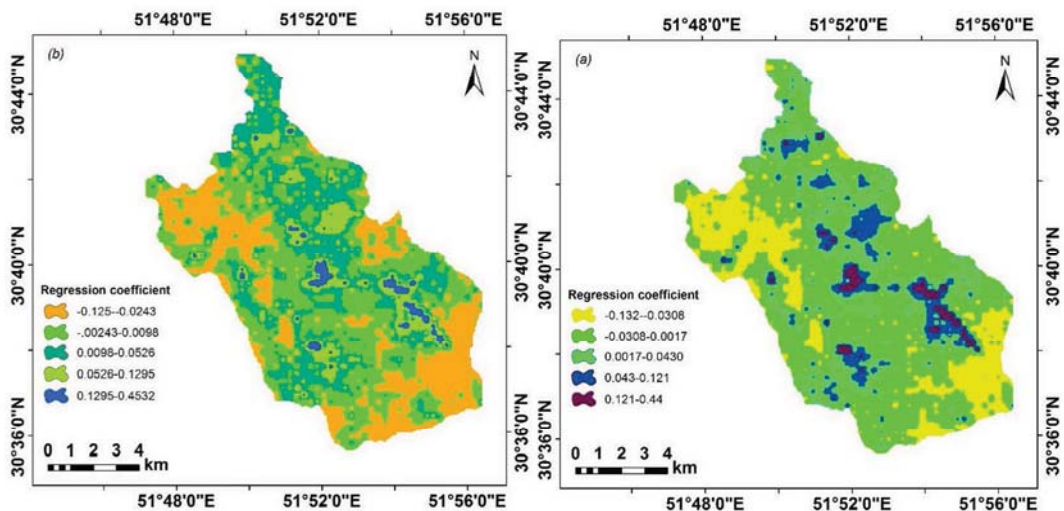
با توجه به نقش تعیین کننده بارش در مناطق خشک و نیمه خشک می توان بیان کرد که نقش کنترلی بارش بر NDVI بیش از دما است. نتایج حاصل از برآورد همبستگی OLS در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داد که از مقدار همبستگی بین متوسط بارش سالیانه و NDVI، ۷۵٪ رابطه مثبت و ۲۵٪ رابطه منفی است (شکل ۱۰a). همچنین از مقدار همبستگی بین متوسط دمای سالیانه و NDVI، ۳۵٪ مثبت و ۶۴٪ منفی است. حداکثر مقدار همبستگی مثبت و منفی بین NDVI و بارندگی، به ترتیب (۰/۹۳) که در بخش‌های جنوب شرق و شمال و (۰/۸۳) در جنوب و مرکز منطقه مورد مطالعه واقع شده است. همچنین حداکثر همبستگی منفی و مثبت بین NDVI و دما به

تجزیه و تحلیل روابط مکانی NDVI، بارش و دما با استفاده از رگرسیون وزن دار فضایی
 برای شناخت بهتر رابطه مکانی بین NDVI، و شاخص‌های اقلیمی (بارش و دما)، رگرسیون وزن دار فضایی (GWR) نیز محاسبه شد. رابطه بین NDVI و دما در بخش‌هایی از منطقه مورد مطالعه مثبت است (بخش‌های زرد و نارنجی) (شکل ۱۲a). میزان همبستگی بین NDVI و دما در بخش‌های شمال غربی

رگرسیون بارش در شکل ۱۱b ارائه شده است. نتایج حاصله، نشان داد بین NDVI و بارش، ۷۴٪ همبستگی مثبت و ۲۶٪ منفی است. سطوح دارای همبستگی منفی در بخش‌های شمال غرب و جنوب حوضه واقع است. در مناطقی که بین بارش و NDVI، همبستگی مثبت است، از درجات مختلف همبستگی شامل ۲۶٪ همبستگی منفی، ۳۶٪ همبستگی خیلی ضعیف، ۲۶٪ ضعیف، ۹٪ متوسط و ۳٪ قوی برخوردارند.



شکل ۱۰. نقشه توزیع همبستگی NDVI و بارندگی (a)، دما (b) در طول دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۷



شکل ۱۱. ضریب رگرسیون چند متغیره دما (a)، بارندگی (b) با NDVI در طول دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۷

زراعی و باغی منطقه هستند. مناطق شمال و غرب حوضه مورد مطالعه، نسبت به سایر مناطق، پوشش گیاهی بیشتری دارند. این وضعیت به دلیل واقع شدن این مناطق در ارتفاع بیشتر از ۲۵۰۰ متر و دریافت بارندگی بیشتر نسبت به سایر مناطق است. مناطق جنوبی و شرقی حوضه، دارای پوشش کمتر از ۱۵٪ هستند. این مناطق در ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر واقع شده که نسبت به مناطق مرتفع، بارندگی کمتر و دمای بیشتری دارند. کمترین میزان درصد پوشش گیاهی، مربوط به مناطقی است که مدیریت غیراصولی انسان باعث از بین رفتن پوشش گیاهی شده است.

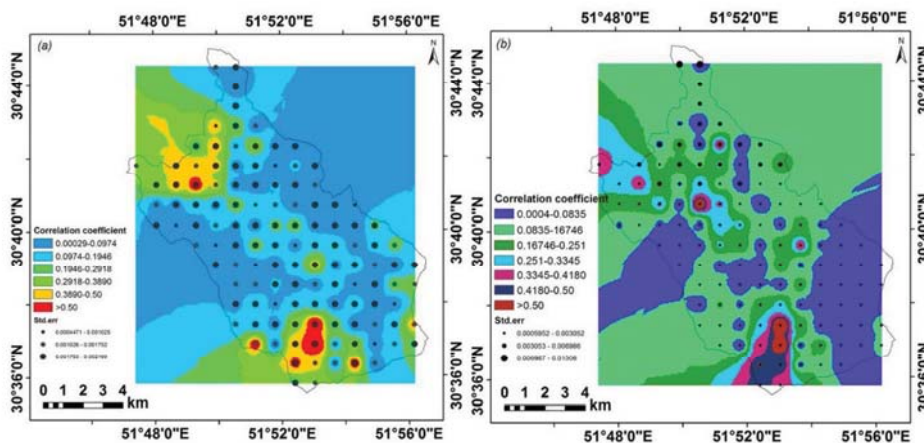
۴- نتیجه گیری

در این مطالعه، تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و عوامل موثر بر آن شامل عوامل اقلیمی (دما و بارش) و عوامل توپوگرافی (ارتفاع، جهت و شیب) در طی دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. در همین راستا، از تصاویر ماهواره لندست ETM7 استفاده شد. به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی و ارتباط بین تغییرات NDVI با عوامل اقلیمی و توپوگرافی از روش رگرسیون خطی، تجزیه و تحلیل همبستگی جزئی، حداقل مربعات معمولی و رگرسیون وزن دار فضایی برای بررسی رابطه بین تغییرات شاخص NDVI، دما و بارندگی استفاده شد.

و جنوب بیشتر از ۰/۳ و در مناطق شرقی و میانی کمتر از ۰/۳ است. همبستگی بین NDVI و بارندگی در دامنه جنوبی بیشتر از ۰/۳۵ و در بخش‌های جنوب شرقی به دلیل وجود مناطق مسکونی کمتر از ۰/۰۵ است (شکل ۱۲b). به علاوه، حداکثر مقدار همبستگی NDVI بین بارندگی و دما در شکل ۱۲، به ترتیب ۰/۸۷ (قرمز تیره) و ۰/۷۵ (قرمز روشن) نشان داده شد. این نتایج نشان می‌دهد که مقدار همبستگی در منطقه مورد مطالعه، بین NDVI و بارندگی به دلیل خشک بودن منطقه بیشتر از دما است که با یافته‌های Zhao et al., (2015) همخوانی دارد. Zhang et al., (2017) نیز در مطالعه خود در چین، مقدار همبستگی بین بارندگی و NDVI را بیشتر از میزان همبستگی NDVI با دما گزارش کردند.

رابطه NDVI با درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده

رابطه بین مقادیر NDVI و درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده در منطقه مورد مطالعه ($R^2=0.88$) در شکل ۱۳، نشان داده شده است. با افزایش درصد پوشش گیاهی، میزان NDVI افزایش می‌یابد، بنابراین این شاخص می‌تواند بیانگر پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه باشد. بیش از ۹۵ درصد حوضه مورد مطالعه، دارای پوشش کمتر از ۳۰٪، و ۵٪ باقیمانده مناطقی با بیش از ۳۰٪ پوشش هستند که جزء اراضی

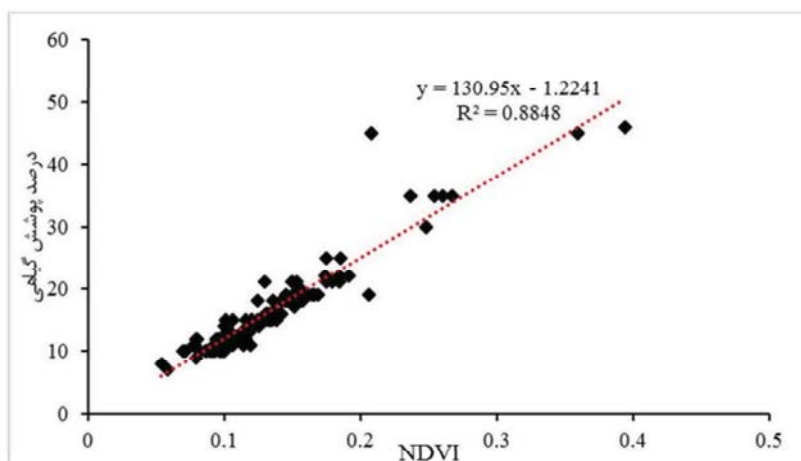


شکل ۱۲. آنالیز رگرسیون وزن دار فضایی بین NDVI و عوامل اقلیمی در طول دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۷.

ضریب رگرسیون برای دما (a)، ضریب رگرسیون برای بارندگی (b).

سنجش از دور و GIS ایران

سال یازدهم = شماره چهارم = زمستان ۱۳۹۸



شکل ۱۳. رابطه بین NDVI و درصد پوشش گیاهی اندازه‌گیری شده در منطقه خارستان

پوشش گیاهی در جهت‌های شمال، شرق و شمال شرق مشاهده شد.

۳) بررسی روند تغییرات عوامل اقلیمی با استفاده از روش من_کندال، نشان‌دهنده روند صعودی دما و نزولی بارندگی بود، به طوری که متوسط دمای سالیانه به میزان ۰/۰۴۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و روند کلی بارندگی، نشان‌دهنده کاهش به میزان ۱۵/۰۵ میلی‌متر در سال است. همبستگی بین عوامل اقلیمی (بارندگی و دما)، با استفاده از رگرسیون وزن‌دار فضایی، نشان‌دهنده این است که بیشترین مقدار R^2 برای دما ۰/۸۷ و بیشترین مقدار R^2 برای بارندگی ۰/۷۵ بود.

۵- منابع

فاطمی، ب، رضایی، ی، ۱۳۹۱. **مبانی سنجش از دور**. چاپ سوم، ویرایش دوم. انتشارات آزاده، تهران، ۲۹۶ صفحه.

عرفانیان، م، وفایی، ن، رضاییان زاده، م، ۱۳۹۳، ارائه یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشکسالی استان فارس و داده‌های TRMM با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره Terra/MODIS سنجنده NDVI شاخص پوشش گیاهی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، سال ۴۶، شماره ۱، صص. ۹۳-۱۰۸.

نتایج این تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌شود:

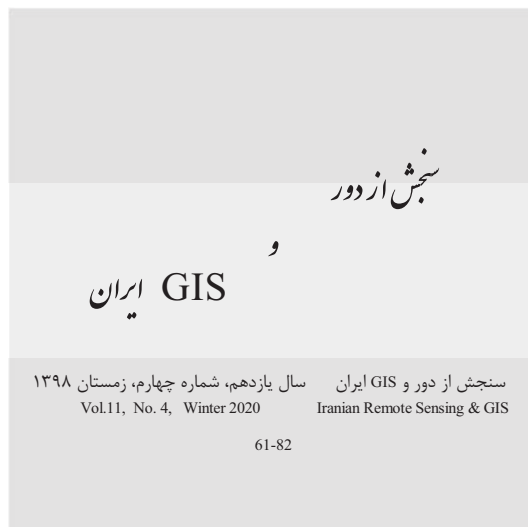
۱) نتایج نشان داد متوسط NDVI سالیانه برای این دوره ۱۸ ساله، افزایش داشته است. مناطق با NDVI کم در بخش‌های جنوبی و شمال‌غربی و مناطق با NDVI بزرگتر از ۰/۵ که بیشتر مربوط به اراضی کشاورزی و باغی است، در مرکز حوضه واقع شده است. توزیع مکانی NDVI، یک روند افزایشی را از شمال به سمت مرکز و جنوب غرب نشان می‌دهد. شیب خط روند NDVI بیشتر از ۰/۱۲۰۰ در قسمت‌های جنوب غرب و مرکز حوضه مشاهده شده است که نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی در این مناطق است. از سوی دیگر، شیب خط روند NDVI کمتر از ۰/۰۰۰۶۶- در قسمت‌های جنوب و شمال غرب حوضه مشاهده شده که نشان‌دهنده کاهش پوشش گیاهی در این مناطق است.

۲) نتایج این مطالعه، همچنین نشان‌دهنده تاثیر عوامل طبیعی و انسانی بر تغییرات پوشش گیاهی بود، تغییرات پوشش گیاهی در ارتفاع، جهت و شیب متفاوت بود. در ارتفاع زیر ۲۱۰۰ متر افزایش روند NDVI کم بود، اما از ارتفاع ۲۳۰۰ تا ۲۵۰۰ افزایش یافته و بعد از ۲۵۰۰، دوباره کم می‌شود. در شیب کمتر از ۵ درجه، به دلیل وجود مناطق مسکونی، یک روند کاهشی در NDVI و از سوی دیگر در این مناطق به دلیل وجود اراضی کشت‌شده کشاورزی و باغ، حداکثر مقدار روند NDVI وجود دارد. بیشترین توزیع

- Bachmair, S. & Weiler, M., 2012, **Hillslope characteristics as controls of subsurface flow variability**, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16: 3699–3715.
- Bai, Y., Broersma, K., Thompson, D. & Ross, T.J., 2004, **Landscape-level dynamics of grassland-forest transitions in british Columbia**, *J. Range Manag.*, 57: 66–75.
- Bao, G., Qin, Z.H., Bao, Y.H., Zhou, Y., Li, W.J. & Sanjjav, A., 2014, **NDVI-based long-term vegetation dynamics and its response to climatic change in the Mongolian Plateau**, *Remote Sens.*, 6: 8337–8358.
- Birtwistle, A. N., Laituri, M., Bledsoe, B. & Friedman, J. M., 2016, **Using NDVI to measure precipitation in semi-arid landscapes**, *J. Arid Environ.*, 131: 15–24.
- Brang, P., Schonenberger, W., Ott, E. & Gardner, B., 2003, **Forests as Protection from Natural Hazards**, John Wiley and Sons, Inc: New York, NY, USA.
- Brunsdon, C., McClatchey, J. & Unwin, D., 2001, **Spatial variations in the average rainfall–altitude relationship in Great Britain: an approach using geographically weighted regression**, *Int J Climatol.*, 21(4):455–466.
- Calvo, E. & Escolar, M., 2003, **the local voter: a geographically weighted approach to ecological inference**, *Am J Polit Sci.*, 47(1):189–204.
- Chen, T., Liang, S.H. & Qian, K.Z., et al, 2008, **Regularity and cause of vegetation coverage changes in the headwaters of the Changjiang River over the last 22 years**, *Earth Science Frontiers*, 15(6): 323–331
- Couteron, P., Hunke, P., Bellot, J., Estrany, J., Martínez-Carreras, N., Mueller, E.N., Papanastasis, V.P., Parmenter, R.R. & Wainwright, J., 2014, **characterizing patterns, In Patterns of Land Degradation in Drylands**, Springer, New York, NY, USA, 211–245.
- Dai, S.P., Zhang, B., Wang, H.J., Wang, Y.M., Guo, L.X., Wang, X.N. & Li, D., 2011, **Vegetation cover change and the driving factors over northwest China**, *J. Arid Land*, 3: 25–33.
- Fotheringham, A. S., Brunsdon, C. & Charlton, M., 2002, **Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships**, Wiley, Chichester.
- Gao, J. & Li, S., 2011, **Detecting spatially non-stationary and scale-dependent relationships between urban landscape fragmentation and related factors using geographically weighted regression**, *Appl Geogr.*, 31(1):292–302.
- Gao, Q., 2012, **Prblems and Countermeasures of ecological management in Hanjiang River Basin**, *Shaanxi Agricultural Sciences*, 3: 192–195.
- Gaughan, A. E., Stevens, F. R., Gibbes, C., Southworth, J. & Binford, M. W., 2012, **Linking vegetation response to seasonal precipitation in the Okavango-Kwando-Zambezi catchment of southern Africa**, *Int J Remote Sens.*, 33(21):6783–6804.
- Guo, B., Zhou, Y., Wang, S. X. & Tao, H. P., 2014, **The relationship between NDVI and climate factors in the semi-arid region: A case study in YaluTsangpo River basin of Qinghai-Tibet Plateau**, *J. Mt.Sci.*, 11: 926–940.
- Hou, W., Gao, J., Wu, S. & Dai, E., 2015, **Interannual Variations in Growing-Season NDVI and Its Correlation with Climate Variables in the Southwestern Karst Region of China**, *Remote Sens.*, 7: 11105–11124.
- Hwang, T., Song, C., Vose, J. M. & Band, L. E., 2011, **Topography-mediated controls on local vegetation phenology estimated from modis vegetation index**, *Landsc. Ecol.*, 26: 541–556.
- Jin, X., Zhang, Y., Schaepman, M., Clevers, J. & Su, Z., 2008, **Impact of elevation and aspect on the spatial distribution of vegetation in the qilian mountain area with remote sensing data**, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci.*, 37: 1385–1390.
- Karczwarczyk, G. & Renman, A., 2011, **Phosphorus accumulation Pattern in a subsurface constructed wetland treating residential wastewater**, *Water.* 3: 146–156.

- Kayiranga, A., Ndayisaba, F., Nahayo, L., Karamage, F., Nsengiyumva, J. B., Mupenzi, C. & Nyesheja, E. M., 2017, **Analysis of Climate and Topography Impacts on the Spatial Distribution of Vegetation in the Virunga Volcanoes Massif of East-Central Africa**, *Geosciences*, 7.
- Li, M.J., Hou, X.Y., Ying, L.L., Lu, X. & Zhu, M.M., 2011, **Spatial- Temporal Dynamics of NDVI and Its Response to Temperature and Precipitation in the Yellow River Delta during the Period 1998–2008**, *Resource Science*, 33, 322–327.
- Li, X.H., Shi, Q.D. & Chang, S.L., et al, 2008, **Change of NDVI based on NOAA image in northwest arid area of China in 1981–2001**, *Arid Land Geography*, 31(6): 940–945.
- Li, Y.C. & Liu, C.X., 2009, **Driving forces of the changes of land use/cover in northern China: 1987–2006**, *Arid Land Geography*, 32(1): 37–46.
- Liu, D., Wang, X., Huang, Q., Meng, X. & Lin, M., 2017, **Study on the evolution law of the vegetation index in the southern Maowusu Desert**, *Journal of Water Resources and Water Engineering*, 28: 5–9.
- Luo, M., Jiapaer, G., Guo, H., Zhang, P.-f., Meng, F.-h. & Liu, T., 2017, **Spatial-temporal Variation of Growing-season NDVI and Its Responses to Hydrothermal Condition in the Tarim River Basin from 2000 to 2013**, *Journal of Natural Resource*, 32: 50–63.
- Mao, D., Wang, Z., Luo, L. & Guang, Y., 2012, **Correlation Analysis between NDVI and Climate in Northeast China based on AVHRR and GIMMS Data Sources**, *Remote Sensing Technology and Application*, 27: 77–85.
- Marchetti, Z.Y., Minotti, P.G., Ramonell, C.G., Schivo, F. & Kandung, P., 2016, **NDVI patterns as indicator of morphodynamic activity in the middle Paraná River floodplain**, *Geomorphology*, 253: 146–158.
- Owringi, M. A., Adamowski, J., Rahnamaei, M., Mohammadzadeh, A. & Sharifan, R.A., 2011, **Drought Monitoring Methodology Based on AVHRR Images and SPOT Vegetation Maps**, *Journal of Water Resource and Protection*, 3: 325-334.
- Peng, J., Liu, Z., Liu, Y., Wu, J. & Han, Y., 2012, **Trend analysis of vegetation dynamics Downloaded from in Qinghai–Tibet Plateau using Hurst Exponent**, *Ecological Indicators* 14(1): 28- 39.
- Pringle, M.J., Denham, R.J., Devadas, R., 2012, **Identification of cropping activity in central and southern Queensland, Australia, with the aid of MODIS MOD13Q1 imagery**, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19: 276- 285.
- Purkis, S.J., Klemas, V.V., 2011, **Remote Sensing and Global Environmental Change**, John Wiley & Sons: New York, NY, USA.
- Rannow, S. & Neubert, M., 2014, **Managing protected areas in central and eastern Europe under climate change**, 322p.
- Song, Y. & Ma, M.G., 2008, **Variation of AVHRR NDVI and its relationship with climate in Chinese arid and cold regions**, *Journal of Remote Sensing*, 12(3): 499–505.
- Suding, K.N., Farrer, E.C., King, A.J., Kueppers, L. & Spasojevic, M.J., 2015, **Vegetation change at high elevation: Scale dependence and interactive effects on niwot ridge**, *Plant Ecol. Divers*, 8: 713–725.
- Wang, Z.S., Huang, M., Yan, H.M., Wang, J.B. & Yue, X.L., 2015, **Spatiotemporal variations of vegetation and climate impacts on it in Ghana from 1982–2006**, *J. Geo. Inform. Sci*, 17: 78–85.
- Wood, S.W., Murphy, B.P. & Bowman, D.M., 2011, **Firescape ecology: How topography determines the contrasting distribution of fire and rain forest in the south-west of the Tasmanian wilderness world heritage area**, *J. Biogeogr.*, 38: 1807–1820.
- Wu, C., Peng, D., Soudani, K., Siebicke, L., Gough, C. M., Arain, M. A., Bohrer, G., Lafleur, P. M., Peichl, M., Gonsamo, A., Xu, S., Fang, B. & Ge, Q., 2017, **Land surface phenology derived from normalized**

- differencevegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites**, Agr. Forest Meteorol, 233: 171-182.
- Xin ,Z.B. & Xu, J.X., 2007, **Spatial and temporal evolution of vegetation cover in the Loess Plateau and its response to climate change**, Progress in Natural Science, 17(6): 770-778.
- Xu, X.K., Chen, H. & Zhang, F., 2007, **Temporal and spatial change of vegetation cover in the Northwest of China and factors analysis influencing on vegetations variation**, Environmental Science, 28(1): 41-47.
- Yang, G. H., Bao, A. M. & Chen, X., et al., 2009, Study of the vegetation cover change and its driving factors over Xinjiang during 1998-2007, **Jounal of Glaciology and Geocryology**, 31(3): 436-445.
- Zhao, Z., GaoM J., Wang, Y., Liu, J. & Li, S.H., 2015, Exploring spatially variable relationships between NDVI and climatic factors in a transition zone using geographically weighted regression, **Theor Appl Climatol**, 120:507-519.
- Zhang, B., Cui, L., Shi, J. & Wei, P., 2017, **Vegetation Dynamics and Their Response to Climatic Variability in China**, Hindawi Advances in Meteorology Volume 2017, Article ID 8282353, 10 pages
- Zhang, Y., Zhao, Zh., Li, Sh. & Meng, X., 2008, **Indicating variation of surface vegetation cover using SPOT NDVI in the northern part of North China**, Geographical Research, 27: 745-755, 2008.
- Zhijia, G., Xingwu, D., Yandong, S., Ya, L. & Xi, P., 2018, **Spatiotemporal variation in vegetation coverage and its response to climatic factors in the Red River Basin, China**, Ecological Indicators, 93: 54-64.
- Zhou, X.Y., Shi, H.D. & Wang, X.R., 2014, **Impact of climate change and human activities on vegetation coverage in the Mongolian Plateau**, Arid Zone Res, 31: 604-610.



Analyzing of the spatio-temporal changes of vegetation and its response to environmental factors in north of Fars province, Iran

Ranjbar, A.^{1*}, Valia, A.¹, Mokarramb, M.², Taripanahc, F.³

1. Associate Professor at Desert Management Department, University of Kashan, Iran;

2 Assitant Professor at Range and Watershed Management Department, Darab Compass, Shiraz University, Iran;

3. Ph.D. Student of Desertification Combating, Desert Control and Management Department, University of Kashan, 9Iran

Abstract

Vegetation is one of the essential factors in structure and function of terrestrial ecosystem and it is one of the principal loops in water-soil-plant-atmosphere continuum. Several studies have demonstrated that vegetation covers are sensitive to alteration of climatic, edaphic, topographic and human activities. Thus, alteration in vegetation and its relation with the mentioned factors are important of high importance. In order to investigation of vegetation changes and its effective factors, the current study was conducted in Kharestan region placed in Fars province, Iran. In this regard, the images obtained from ETM Landsat 7 (2000-2017) and meteorological data gained from local and 17 regional meteorological stations were used. Using these images, temporal and spatial changes NDVI and NDVI anomaly were studied. A supervised classification method was used to extract land use map. Finally, the relationship of NDVI with climatic, topographic and anthropogenic factors was investigated. Relationship between NDVI and climatic and topographic factors was estimated using GWR and OLS methods, respectively. Generally, temporal variations showed a slow increasing trend in NDVI value. NDVI anomaly was mostly negative before 2008 but it turned to positive after 2009. NDVI spatial distribution showed an increasing tendency from north toward center and continued to south-west of the study area. The study shows that the vegetation cover change was caused by both natural factors and human activities. NDVI increased in agricultural and pasture lands. Also, natural vegetation has been affected by climatic factors more than irrigated vegetation (agricultural and gardens). Furthermore, vegetation variation influenced by topographic factors likes height, slope and aspect. Also, with an altitude over than 2500 m, NDVI showed a decreasing trend, on slopes lower than 5° it increased. NDVI values in north and east directions were higher than in southern aspects. The overall trend indicates an increase in temperature and a decrease in precipitation during the study period. The maximum positive and negative correlation between mean annual precipitation and NDVI using ordinary least squares method were 0.93 and 0.83, respectively. Also the maximum negative and positive correlation between NDVI and temperature were 0.65 and 0.5, respectively. The highest local R2 values between NDVI with precipitation and temperature were 0.45 and 0.44, respectively, which was observed in the central parts of the region. According to the obtained results through the present study, it can be stated that environmental factors like precipitation, altitude, slope and aspect are the Influential factors controlling vegetation in Kharestan (Fars province, Iran).

Keywords: NDVI, Topographic factors, Land use, Climatic factors, Geographical Weighted Regression, arid and semi-arid regions