

## مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره دهم، شماره سی و هفتم، پاییز ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۹/۰۴

دریافت مقاله: ۱۳۹۸/۰۶/۲۶

صص ۴۰-۵۲

### تحلیل تغییرات زمانی پوشش گیاهی مراتع غرب استان کرمان با استفاده از داده‌های

### سطح ۳ سنجنده‌ی مودیس و ارتباط آن با عوامل اقلیمی

زهرة ابراهیمی خوسفی، استادیار بیابان‌زدایی-دانشگاه جیرفت

فاطمه روستائی\*، استادیار بیابان‌زدایی-دانشگاه اردکان

مجتبی سلیمانی ساردو، استادیار بیابان‌زدایی-دانشگاه جیرفت

#### چکیده

پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین است که نقش مهمی در کاهش وقوع پدیده‌ی فرسایش بادی و کاهش انتشار ذرات گردوغبار، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارد. میزان توسعه و یا تخریب پوشش گیاهی یک منطقه، معمولاً تحت تأثیر عوامل اقلیمی در بازه‌های زمانی مختلف، تغییر می‌کند. هدف از تحقیق حاضر، تحلیل تغییرات زمانی پوشش گیاهی مراتع غرب استان کرمان و تعیین ارتباط آن با عوامل اقلیمی با استفاده از دقیق‌ترین مدل حاصل از برقراری روش حداقل مربعات معمولی (OLS) بین داده‌های هواشناسی و پوشش گیاهی است. بدین منظور از داده‌های ماهیانه‌ی شاخص نرمال‌شده‌ی تفاوت پوشش گیاهی سنجنده‌ی مودیس (NDVI) و متغیرهای هواشناسی (متوسط دما، بارندگی، سرعت باد، دمای حداکثر و دمای حداقل) مربوط به ماه‌های آوریل تا سپتامبر ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ استفاده شد. مدل‌ها با استفاده از سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و فاکتور تورم واریانس (VIF) با یکدیگر مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ارتباط بین NDVI با متوسط دماهای حداقل و حداکثر، سرعت باد و بارندگی به دلیل بالاتر بودن مقدار  $R^2$  (۰/۲۴) و پایین بودن مقادیر RMSE (۰/۱۹۶) و VIF (۳/۲) نسبت به سایر روابط از دقت بالاتری برخوردار است. بر اساس این رابطه، مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر تغییر وضعیت پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی به ترتیب متوسط دمای کمینه، بارش ماهیانه و سرعت وزش بادهای سطحی تعیین گردید. چنین نتایجی می‌تواند درک ما را نسبت به اثر تغییرات اقلیم بر وضعیت پوشش گیاهی مناطق خشک افزایش دهد.

**واژگان کلیدی:** سنجنده‌ی مودیس، متغیرهای اقلیمی، رگرسیون حداقل مربعات معمولی، منطقه‌ی خشک.

\* Email: froustaei@ardakanu.ac.ir

## ۱- مقدمه

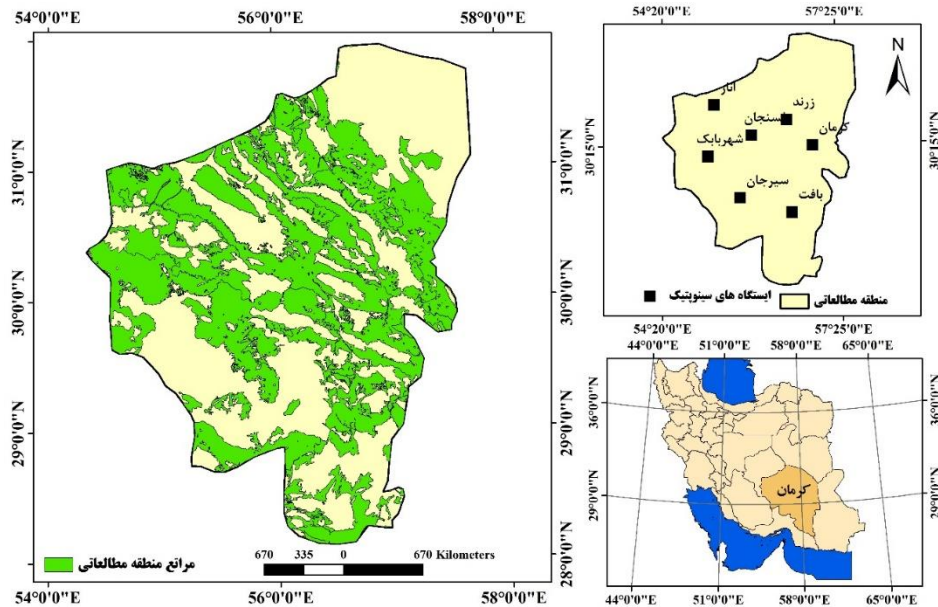
پوشش گیاهی یکی از عناصر حیاتی زیست‌بوم‌های طبیعی و یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی سطح زمین است که نقش مهمی در کاهش وقوع پدیده‌ی فرسایش بادی در مناطق مختلف و به‌ویژه در مناطق خشک دارد (Mayaud et al., 2017: 12001; Miri et al., 2017: 875). وضعیت پوشش گیاهی یک منطقه به‌طور مستقیم و غیرمستقیم از تغییرات اقلیمی تأثیر می‌پذیرد (Zewdie et al., 2017: 168; Shi et al., 2018: 3964). تخمین و پایش خصوصیات پوشش گیاهی یک چالش بزرگ برای اقلیم‌شناسان، هیدرولوژیست‌ها و متخصصین کشاورزی و منابع طبیعی است (ابراهیمی خوسفی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱). ارتباط بین پوشش گیاهی و تغییرات اقلیمی اولین بار در سال ۱۹۳۶ توسط کوپن مطرح شد. او انواع اقلیم مبتنی بر پوشش گیاهی را بر اساس دو عامل بارش و دما معرفی کرد. بعدازآن، محققین به بررسی ارتباط پوشش گیاهی با دیگر پارامترهای اقلیمی پرداختند. در حال حاضر تصاویر ماهواره‌ای به‌طور منظم و با دقت تفکیک مکانی بالا، از سطح زمین تهیه می‌شوند. از جمله تصاویر ماهواره‌ای که سطح وسیعی از زمین را تصویربرداری می‌کند، از قدرت تفکیک زمانی بالایی برخوردار است و به‌صورت رایگان در اختیار کاربران قرار می‌گیرند، تصاویر و محصولات سنجنده‌ی مودیس هستند. یکی از کارآمدترین و اصلی‌ترین محصولات این سنجنده، شاخص نرمال‌شده‌ی تفاوت پوشش گیاهی (NDVI) است (Xulu et al., 2018: 402). این شاخص می‌تواند تغییرات کمی توزیع پوشش گیاهی و تغییرات آن را در مقیاس جهانی و نیز توانایی فتوسنتز و تولید گیاهی را از طریق اندازه‌گیری تفاوت بین بازتاب باند مادون‌قرمز نزدیک (۰/۸۵ میکرومتر) و باند قرمز (۰/۶۵ میکرومتر) نشان دهد (Guo et al., 2018: 10-11). همچنین این شاخص می‌تواند اطلاعات لازم را برای بازه‌ی زمانی درازمدت در اختیار کاربر قرار دهد و به همین دلیل، قابلیت مقایسه‌ی شرایط پوشش گیاهی با تغییرات اقلیمی را داراست (Piedallu et al., 2019: 2883). نظر به اینکه پوشش گیاهی یک منطقه محل تلاقی اقلیم، خاک و سایر عوامل انسانی است، لذا استخراج اطلاعات تغییرات پوشش گیاهی می‌تواند بیانگر تغییرات بیابان‌زایی آن منطقه باشد (Shekoohizadegan et al., 2017: 158). از این‌رو، شناسایی عوامل مؤثر بر این‌گونه تغییرات از اهمیت زیادی برخوردار است. مطالعات زیادی در این زمینه توسط محققین متعدد با به‌کارگیری تکنیک‌ها و تحلیل‌های آماری مختلف انجام شده است. برای مثال Xulu و همکاران (۲۰۱۸)، تأثیر پارامترهای اقلیمی را در زمان وقوع ال‌نینو بر پوشش گیاهی شمال آفریقا با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه موردبررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد در دوره‌ای که ال‌نینو قوی در سال ۲۰۱۵ اتفاق افتاده، پوشش گیاهی کاهش یافته و در نتیجه NDVI کاهش پیدا کرده است و با افزایش بارش‌ها در سال ۲۰۱۶ پوشش گیاهی افزایش یافته است. Pang و همکاران (۲۰۱۷) نشان دادند که اثر توأم افزایش بارندگی و دما در ماه‌های فصل رویشی گیاهان منجر به افزایش پوشش گیاهی در فلات تبت شده است. نتایج بررسی Zhao و همکاران (۲۰۱۵) نشان دادند که تأثیر بارندگی بر تغییرات پوشش گیاهی بیش‌تر از تأثیر دما در منطقه‌ی مطالعاتی آن‌ها بوده است. Song و Ma (۲۰۱۱)، ارتباط بین عوامل اقلیمی و شاخص NDVI را بر اساس روش رگرسیون چند متغیره موردبررسی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که افزایش دما بیش‌تر از بارندگی توانسته است وضعیت پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه‌ی آن‌ها را تحت تأثیر قرار دهد. میرزایی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵)، پایش و پیش‌بینی تغییرات تراکم پوشش گیاهی را با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و زنجیره‌ی مارکوف برای حوضه‌ی آبخیز ونیت در استان ایلام انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که در صورت ادامه‌ی روند فعلی، در آینده‌ی نزدیک سطح اراضی فاقد پوشش گیاهی نسبت به گذشته حدود ۲۰٪ افزایش خواهد یافت. علمیرادی و همکاران (۲۰۱۷)، پویایی پوشش گیاهی استخراج‌شده از تصاویر سنجنده‌ی AVHRR را در رابطه با دما و بارش با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون، برای مراتع حوضه‌ی کارون موردبررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که بر اساس تغییرات دمای هوا و بارش، ۱۶٪ تغییرات پوشش گیاهی قابل تبیین است. در بررسی رابطه‌ی عناصر اقلیمی با پوشش گیاهی مراتع استان هرمزگان با استفاده از رگرسیون چندمتغیره، نقش مؤثر بیشینه‌ی دمای سالانه بر پوشش

گیاهی این منطقه به اثبات رسیده است. هادیان و همکاران (۲۰۱۴)، با بررسی و پایش تغییرات پوشش گیاهی در چهار تیپ مرتعی و یک تیپ جنگلی در بخشی از جنوب اصفهان و جنوب شرقی استان چهارمحال و بختیاری نشان دادند که پوشش گیاهی در مناطق مرتعی بیشترین همبستگی را با بارش فصل بهار و در منطقه‌ی جنگلی با بارش سالیانه داشته است. در مطالعه‌ی فرج‌زاده و همکاران (۲۰۱۱)، همبستگی پوشش‌های گیاهی متراکم با متغیرهای اقلیمی ماهانه‌ی بارش، رطوبت نسبی و دما (متوسط، حداکثر و حداقل) در مراتع متراکم ایران مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این بررسی نشان داد که همبستگی NDVI با رطوبت نسبی (میانگین و حداکثر) و دمای حداکثر بالاتر از همبستگی بارش و دمای حداقل بوده است. در مطالعه‌ی عسکری‌زاده و همکاران (۱۳۹۷) نوسانات شاخص NDVI و روند کلی کاهشی آن در مراتع استان البرز به دلیل وقوع خشک‌سالی‌های اخیر به اثبات رسیده است.

بررسی پژوهش‌های گذشته نشان می‌دهد که در اغلب مطالعات، ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های مبین وضعیت پوشش گیاهی بر اساس روش‌های رگرسیون چندمتغیره و یا فقط با استفاده از تحلیل همبستگی پیرسون، بدون در نظر گرفتن اثر هم‌خطی بین متغیرهای اقلیمی موردبررسی قرار گرفته است. نظر به اینکه این موضوع از اهمیت زیادی برخوردار است و وجود اثر هم‌خطی شدید بین متغیرهای اقلیمی می‌تواند منجر به تخمین‌های غیرواقعی از ضریب تعیین شود و نیز با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ی جامعی راجع به بررسی وضعیت پوشش گیاهی مراتع غرب استان کرمان و تعیین مهم‌ترین پارامترهای اقلیمی مؤثر بر آن انجام نشده است، در این پژوهش سعی گردید که به این موضوع پرداخته شود. در این راستا، اهداف اصلی تحقیق حاضر عبارت‌اند از: (۱) بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی در ماه‌های فصول رویشی گیاهان (آوریل تا سپتامبر) در منطقه‌ی مطالعاتی برای بازه‌ی زمانی (۲۰۱۷-۲۰۰۰)؛ (۲) محاسبه‌ی مدل‌های رگرسیونی مختلف با تغییر پارامترهای ورودی به آن‌ها و ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس آماره‌های  $R^2$ ، RMSE و VIF و (۳) انتخاب دقیق‌ترین مدل و شناسایی مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر تغییرات پوشش گیاهی.

## ۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مطالعاتی تحقیق حاضر، مراتع واقع در نیمه‌ی غربی استان کرمان می‌باشند. استان کرمان با مساحت ۱۸۵۶۷۵ کیلومترمربع در جنوب شرقی کشور قرار دارد و پهناورترین استان کشور محسوب می‌شود بر اساس آمار طولانی‌مدت ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در غرب استان کرمان (۲۰۱۷-۲۰۰۰)، میزان بارندگی سالیانه به‌طور متوسط ۱۲۰-۱۸۰ میلی‌متر است. ریزش نزولات جوی از آبان‌ماه شروع و تا اردیبهشت‌ماه سال بعد ادامه دارد و بیش‌ترین میزان آن از دی تا اردیبهشت است. متوسط دمای سالیانه و سرعت متوسط وزش بادهای سطحی در این منطقه به ترتیب ۱۷/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد و ۲/۹ متر بر ثانیه است. بر اساس روش دومارتن، اقلیم منطقه‌ی مطالعاتی گرم و خشک است. پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک و مراتع واقع در منطقه‌ی مطالعاتی در شکل (۱) نشان داده شده است.

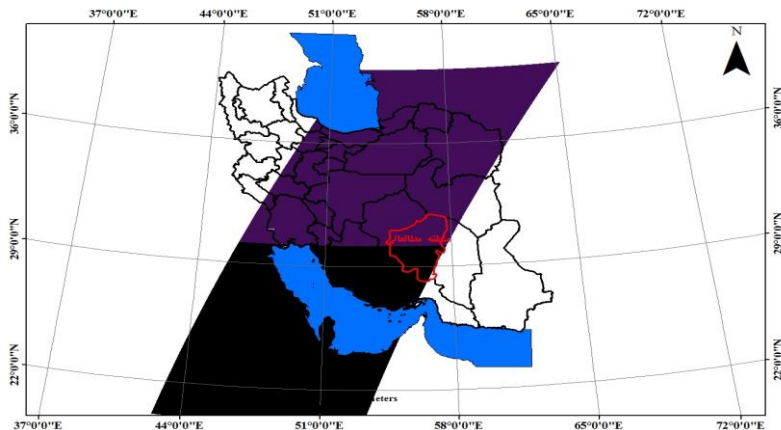


شکل ۱: پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک و مراتع واقع در منطقه‌ی مطالعاتی

### ۳- مواد و روش‌ها

#### ۳-۱- داده‌های تحقیق

در تحقیق حاضر، از داده‌های ماهیانه مربوط به شش پارامتر مهم اقلیمی شامل میانگین دمای ماهیانه، مجموع بارش ماهیانه، میانگین سرعت باد ماهیانه، بیشینه‌ی دمای ماهیانه، کمینه‌ی دمای ماهیانه و سرعت بیشینه‌ی بادهای سطحی طی بازه‌ی زمانی ۱۸ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۷) استفاده شد. اطلاعات مذکور برای ایستگاه‌های سینوپتیک کرمان، زرنند، رفسنجان، شهراباک، سیرجان، انار و بافت که در غرب استان کرمان واقع شده‌اند (شکل ۱)، تهیه گردید. منبع اخذ داده‌های اقلیمی، وبسایت سازمان هواشناسی کشور است. داده‌های متوسط ماهیانه، مربوط به شاخص نرمال‌شده-ی تفاوت پوشش گیاهی سنجنده‌ی مودیس (MOD13A3) از دیگر داده‌های مورد استفاده در این پژوهش است که برای ماه‌های فصل رویش و سبزی‌نگی گیاهان (بهار و تابستان) در بازه‌ی زمانی ذکر شده تهیه گردید. منبع اخذ این داده‌ها، آرشیو سایت کاوشگر زمین (<http://earthexplorer.usgs.gov>) است. با توجه به اینکه منطقه‌ی مطالعاتی بر روی ۲ فریم از تصاویر سنجنده‌ی مودیس واقع شده است (شکل ۲)، در مجموع تعداد ۲۱۶ تصویر ماهواره‌ای دانلود شد. قدرت تفکیک مکانی محصولات اخذ شده یک کیلومتر و قدرت تفکیک زمانی ۱ ماهه است.



شکل ۲: موقعیت منطقه‌ی مطالعاتی بر روی تصاویر سنجنده‌ی MODIS

## ۳-۲- روش تحقیق

در تحقیق حاضر ابتدا مقادیر متوسط پارامترهای اقلیمی (میانگین دمای ماهیانه، مجموع بارش ماهیانه، میانگین سرعت باد ماهیانه، بیشینه دمای ماهیانه، کمینه دمای ماهیانه و سرعت بیشینه بادهای سطحی) برای نیمه‌ی غربی استان کرمان محاسبه گردید. سپس جهت پردازش محصولات NDVI، پارامتر اصلاحی ویژه‌ی این تصاویر که معادل  $0/0001$  است، بر روی آن‌ها اعمال گردید. در مرحله‌ی بعد، مقادیر متوسط ماهیانه‌ی شاخص NDVI برای مراتع واقع در نیمه‌ی غربی استان کرمان در مقیاس زمانی ۱۸ ساله، محاسبه گردید. مبنای محاسباتی این شاخص، اختلاف انعکاس طیفی محدوده‌ی مادون قرمز نزدیک (NIR) و باند قرمز (R) به مجموع مقادیر مربوط به انعکاس طیفی این باندهاست (رابطه‌ی ۱).

$$NDVI = \frac{B_{NIR} - B_R}{B_{NIR} + B_R} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

دامنه‌ی تغییرات این شاخص بین -۱ تا +۱ است. برای پوشش‌های گیاهی متراکم، مقدار این شاخص به‌سوی عدد ۱ میل می‌کند و بر عکس ابرها، برف و آب ارزش‌های منفی NDVI را تولید می‌نمایند و سنگ‌ها و خاک بایر که واکنش‌های طیفی مشابهی در این دو باند دارند، مقادیر کوچک مثبت یا منفی و یا مقادیر نزدیک به صفر دارند (Carlson et al., 1997: 244-246).

با در نظر گرفتن مقادیر متوسط داده‌های اقلیمی به‌عنوان متغیرهای مستقل و مقادیر شاخص تفاضل نرمال شده‌ی پوشش گیاهی به‌عنوان متغیر وابسته، وضعیت نرمال و یا عدم نرمال بودن متغیرها با استفاده از آزمون کولموگراف اسمیرنوف (آزمون K-S) در نرم‌افزار SPSS20 مورد بررسی قرار گرفت. پس از حصول اطمینان از نرمال بودن داده‌ها ( $P\text{-value} > 0.05$ )، با استفاده از رابطه‌ی (۲) اقدام به استانداردسازی داده‌ها شد (Mohamad et al., 2013: 3230).

$$Z = \frac{X - \text{Min}(X)}{\text{Max}(X) - \text{Min}(X)} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

در این رابطه Z مقدار استاندارد شده‌ی متغیر مورد بررسی، X: مقدار مشاهده‌ای متغیر مورد بررسی و Min(X) و Max(X) به ترتیب حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده‌ای در سری زمانی مورد بررسی می‌باشند. در گام بعد، جهت برقراری روابط رگرسیونی بین متغیرهای مستقل و وابسته از رگرسیون خطی چندگانه به روش حداقل مربعات معمولی (OLS) بهره گرفته شد. گرچه جهت بررسی ارتباط بین چندین متغیر مستقل و یک متغیر وابسته روش‌های متعدد دیگری نظیر روش حداقل مربعات تعمیم‌یافته<sup>۱</sup> (GLS) و ریج نیز وجود دارد، اما نظر به اینکه کارایی خوب این مدل در مطالعات متعدد به اثبات رسیده است، در تحقیق حاضر، از این روش به‌منظور ارزیابی روابط مختلف رگرسیونی و انتخاب مدل بهینه استفاده شده است. در روش OLS، پارامترهای مجهول از طریق کمینه کردن اختلاف بین متغیرهای پاسخ مشاهده‌شده در مجموعه داده تخمین زده می‌شوند. ارتباط خطی بین متغیرهای مستقل  $X_1$ ،  $X_2$ ، ...  $X_n$  و متغیر Y در این روش به شرح زیر است (White, 1980: 165-170):

$$Y = a_0 + a_1x + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + e \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

در این رابطه،  $a_0$  عرض از مبدأ و پارامترهای  $a_1, a_2, \dots, a_n$  ضرایب رگرسیونی می‌باشند (Kilmer and Rodríguez, 2017: 6) با توجه به تعداد متغیرهای مستقل به‌کاررفته در تحقیق حاضر (۶ متغیر اقلیمی)، در مجموع ۲۷ مدل رگرسیونی خطی چندگانه (از سه متغیره تا ۷ متغیره) محاسبه گردید. به‌منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد مدل‌های به‌دست‌آمده از روش OLS، علاوه بر دو معیار میانگین مربعات خطا (رابطه‌ی ۴) و ضریب تعیین (رابطه‌ی ۵)، از فاکتور

تورم واریانس<sup>۲</sup> (رابطه‌ی ۶) نیز استفاده شد؛ زیرا این فاکتور بیانگر وجود و یا عدم وجود وابستگی خطی قوی بین متغیرهای مستقل ورودی به مدل است. حد آستانه‌ی مجاز برای این فاکتور، ۱۰ است (Thompson et al., 2017: 88). این بدان معناست که چنانچه ضریب تورم واریانس مربوط به یک متغیر بیش‌تر از حد آستانه شود، آن متغیر به‌عنوان متغیری شناخته می‌شود که باعث ایجاد اثر هم‌خطی شدید شده (Daoud, 2017) و نمی‌توان به نتایج به‌دست‌آمده از روابطی که این متغیرها در آن دخیل‌اند، استناد کرد. به همین دلیل در تحقیق حاضر، جهت اعتبارسنجی مدل‌های پیش‌بینی‌کننده از سه معیار  $R^2$ ، RMSE و VIF استفاده شده است تا مدل یا مدل‌های بهینه با ضریب اطمینان بالاتری انتخاب شوند. درنهایت بر اساس مدل منتخب، مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر تغییر وضعیت پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی شناسایی گردید.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_o - Q_e)^2}{N}} \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

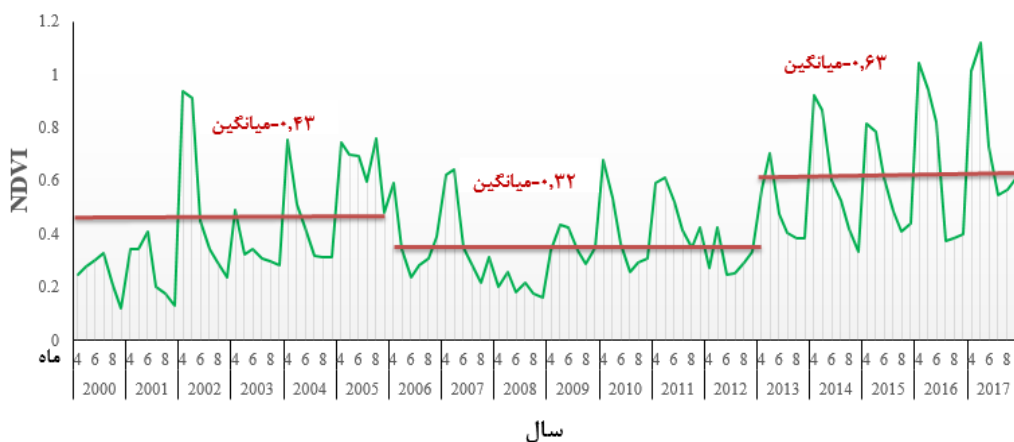
$$R^2 = \frac{(\sum_i^n (Q_o - \bar{Q}_o)(Q_e - \bar{Q}_e))^2}{\sum_i^n (Q_o - \bar{Q}_o)^2 \sum_i^n (Q_e - \bar{Q}_e)^2} \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

$$VIF_K = \frac{1}{(1 - R_K^2)} \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

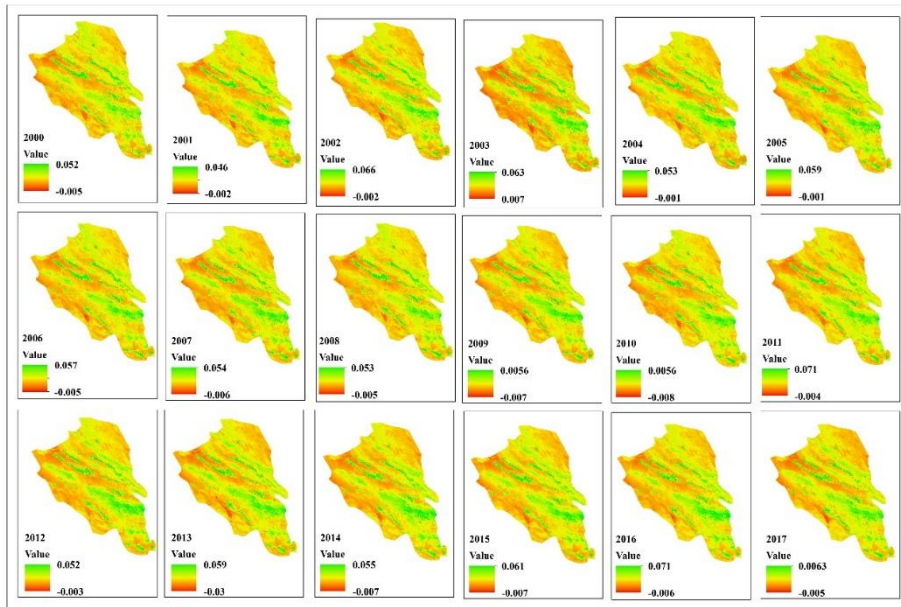
در روابط (۴ و ۵)،  $N$  بیانگر تعداد مشاهدات،  $Q_o$  مقدار مشاهده‌ای متغیر وابسته،  $Q_e$  مقدار تخمینی متغیر وابسته،  $\bar{Q}_o$  میانگین مقادیر تخمینی و  $\bar{Q}_e$  میانگین مقادیر مشاهده‌ای متغیر وابسته می‌باشند. در رابطه‌ی (۶)،  $R_K^2$  مقدار ضریب تعیین چندگانه بین متغیرهاست؛ زمانی که متغیر  $X$  را روی سایر متغیرها برگشت داده شوند (Thompson et al., 2017: 7). با توجه به رابطه‌ی بالا چنانچه  $R_K^2 = 0$  باشد، آنگاه مقدار  $VIF_k = 1$  است و بیانگر عدم وجود رابطه‌ی خطی بین متغیرهاست.

#### ۴- نتایج و بحث

مقادیر حداقل و حداکثر شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال‌شده در اواسط فصل رویش و روند تغییرات آن در ماه‌های آوریل تا سپتامبر بازه‌ی زمانی موردبررسی (۲۰۱۷-۲۰۰۰) در شکل‌های (۳) و (۴) نشان داده شده است.



شکل ۳: نمودار سری زمانی شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال‌شده در بازه‌ی زمانی موردبررسی (۲۰۱۷-۲۰۰۰)



شکل ۴: شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال شده‌ی منطقه‌ی مطالعاتی در ماه ژوئن (۲۰۰۰-۲۰۱۷)

همان‌گونه که در شکل (۳) و (۴) نشان داده شده، مقادیر متوسط پوشش گیاهی در سال‌های ابتدایی (۲۰۰۵-۲۰۰۰)، میانی (۲۰۱۲-۲۰۰۶) و انتهایی (۲۰۱۷-۲۰۱۳) بازه‌ی زمانی مورد بررسی به ترتیب ۰/۴۳، ۰/۳۲ و ۰/۶۳ تخمین زده شده است. این نتیجه بیانگر آن است که وضعیت پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های گذشته، شرایط مطلوب‌تری را تجربه کرده است. کم‌ترین تراکم پوشش گیاهی مربوط به ماه‌های آوریل تا سپتامبر سال ۲۰۰۸ و بیش‌ترین میزان تراکم پوشش گیاهی متعلق به ماه آوریل سال ۲۰۱۷ است. به عبارت دیگر، این یافته‌ها می‌تواند بیانگر تشدید روند بیان‌زایی ناشی از تخریب پوشش گیاهی در سال ۲۰۰۸ و کاهش روند تخریب اراضی مرتعی منطقه‌ی مطالعاتی در سال‌های پس‌از آن باشد. با توجه به حاکم بودن شرایط خشک‌سالی شدید بر بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران در سال ۲۰۰۸ (Shahabfar et al., 2012: 125)، استنباط می‌شود که چنین تغییراتی ناشی از وقوع پدیده‌ی خشک‌سالی در منطقه‌ی مطالعاتی بوده است. بررسی دقیق‌تر شکل (۴) نشان می‌دهد که روند تغییرات پوشش گیاهی در مراتع نیمه‌ی غربی استان کرمان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، روند افزایشی و پس‌از آن تا سال ۲۰۰۹ روند نزولی داشته است. در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۷ روند تغییرات پوشش گیاهی در منطقه‌ی مطالعاتی، سیر صعودی داشته است. چنین تغییراتی می‌تواند به دلیل تغییر عوامل اقلیمی و یا زمینی مؤثر بر پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی است که در تحقیق حاضر، تأثیر متغیرهای اقلیمی بر شاخص مبین تغییرات پوشش گیاهی سطح زمین (NDVI) که اطلاعات آماری آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده، با استفاده از روش رگرسیون خطی چندگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۱: اطلاعات آماری متغیرهای به‌کاررفته در تحقیق حاضر (۲۰۰۰-۲۰۱۷)

متغیرها	حداکثر	حداقل	میانه	میانگین	انحراف معیار
NDVI	۰/۱۱	۰/۰۷	۰/۰۸	۰/۰۸۱	۰/۰۰۸
میانگین دمای ماهیانه ( $^{\circ}\text{C}$ )	۳۰/۴۸	۱۵/۳۴	۲۵	۲۵	۳/۹
مجموع بارش ماهیانه (mm)	۵۶	۰	۳/۱	۳/۸	۱/۷
میانگین سرعت باد ماهیانه (m/s)	۴/۴	۱/۸	۳/۱۹	۳/۲	۰/۵۲
بیشینه‌ی دمای ماهیانه ( $^{\circ}\text{C}$ )	۴۰/۵۶	۲۷/۱۲	۳۵/۶	۳۵/۶	۳/۲
کمینه‌ی دمای ماهیانه ( $^{\circ}\text{C}$ )	۰/۲	۱۷/۵	۱۰/۱	۱۰/۱۹	۴/۱
سرعت بیشینه‌ی بادهای سطحی (m/s)	۲۱	۱۰/۲	۱۴/۳۴	۱۴/۳۴	۲/۴

به‌طور کلی با استفاده از متغیرهای مورد بررسی، تعداد ۲۷ رابطه با در نظر گرفتن متغیرهای مختلف هواشناسی تهیه شده است. این روابط شامل یک رابطه‌ی ۶ متغیره، ۵ رابطه‌ی ۵ متغیره، ۱۱ رابطه‌ی ۴ متغیره و ۱۰ رابطه‌ی ۳ متغیره می‌باشند (جدول ۲).

جدول ۲: پارامترهای ورودی به روابط رگرسیونی با استفاده از داده‌های استاندارد شده متغیرهای مورد بررسی

پارامترهای ورودی به مدل	شماره
NDVI, T, P, WS, TMAX, TMIN	۱
NDVI, T, P, WS, TMAX	۲
NDVI, T, P, WS, TMIN	۳
NDVI, T, P, TMAX, TMIN	۴
NDVI, P, WS, TMAX, TMIN	۵
NDVI, P, WS, TMAX, T	۶
NDVI, T, P, WS,	۷
NDVI, T, P, Tmax	۸
NDVI, T, P, TMIN,	۹
NDVI, P, WS, Tmax	۱۰
NDVI, P, WS, Tmin	۱۱
NDVI, WS, TMAX, TMIN	۱۲
NDVI, WS, TMAX, p	۱۳
NDVI, WS, TMAX, T	۱۴
NDVI, TMAX, TMIN, T	۱۵
NDVI, TMAX, TMIN, P	۱۶
NDVI, TMAX, TMIN, WS	۱۷
NDVI, T, P	۱۸
NDVI, T, WS,	۱۹
NDVI, T, TMAX	۲۰
NDVI, T, TMIN	۲۱
NDVI, P, WS,	۲۲
NDVI, P, TMAX,	۲۳
NDVI, P, TMIN	۲۴
NDVI, WS, TMAX	۲۵
NDVI, WS, TMIN	۲۶
NDVI, TMAX, TMIN	۲۷

نتایج حاصل از برازش روابط رگرسیونی نشان داد که روند تغییرات منظمی در افزایش و یا کاهش آماره‌های ارزیابی عملکرد مدل‌ها بر اساس تعداد پارامترهای ورودی به آن‌ها وجود ندارد (جدول ۳).



جدول ۳: ضرایب رگرسیونی مربوط به پارامترهای استانداردشدهی اقلیمی

#	P	T	WS	TMAX	TMIN	ثابت	R <sup>2</sup>	RMSE	F	VIF	VIF>10
۱	-۰/۶۸	۰/۲۴	-۰/۲۱	۱	-۰/۸۸	۰/۷۴	۰/۲۴**	۰/۱۹۶	۶/۵	۱۸	T,Tmax,Tmin
۲	-۱/۹	۰/۰۳۸	-۰/۱۸	۱/۳۴		۰/۸	۰/۲۳**	۰/۱۹	۷/۶	۷/۲۲	T,Tmax
۳	۰/۷۷	۰/۴۴	-۰/۲۳		-۱/۳	۰/۷۲	۰/۲۲**	۰/۱۹	۷/۲۳	۹/۲	T,Tmin
۴	-۰/۸	۰/۳۴		۱/۰۶	-۰/۷۶	-۰/۸۲	۰/۲۳*	۰/۱۹۸	۷/۵	۲۲	T,Tmax,Tmin
۵	۰/۳۶		-۰/۲۲	۰/۶۹	-۱/۲۴	۰/۷	۰/۲۴**	۰/۱۹۶	۸/۰۹	۳/۲	
۶	۱۳/۷	۱/۵۳	-۱/۱	۱۲/۵۴		۷/۲	۰/۲۳*	۰/۱۹۸	۷/۶	۷/۲	T,Tmax
۷	-۰/۶	۰/۱۷	-۰/۱۹			-۰/۸۲	۰/۱۸*	۰/۲	۷/۴	۱/۳۴	
۸	-۱/۸	۰/۱۵		۱/۳		۰/۸۶	۰/۲۱۳**	۰/۱۹۸	۹/۴	۹/۲	T,Tmax
۹	۰/۷۳	۰/۵۵			-۱/۲	۰/۸	۰/۱۹*	۰/۲	۸/۶	۱۱/۸	T,Tmin
۱۰		۰/۴	-۰/۱۵	-۰/۴۲		۰/۶۸	۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۱	۵/۲	۱/۲۵	
۱۱	۰/۲۴	۰/۲۲			-۰/۶۶	-۰/۸۲	۰/۲۱*	۰/۱۹۹	۹/۰۳	۱/۲۳	
۱۲			-۰/۲۷	۰/۶	-۱/۲۶	-۰/۷۷	۰/۲۳*	۰/۱۹۶	۱۰/۱۵	۳/۷	
۱۳		۰/۴۱	-۰/۱۶	-۰/۴۲		۰/۶۸	۰/۱۳ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۸	۵/۱۱	۱/۲	
۱۴	-۱/۹		-۰/۱۹	۱/۳۵		۰/۸	۰/۲۲**	۰/۱۹۶	۱۰/۲۳	۸/۴	T,Tmax
۱۵	-۱/۴			۱/۲	-۰/۴۴	۰/۹	۰/۱۹*	۰/۱۹۸	۹/۶	۲۱	T,Tmin,Tmax
۱۶		۰/۴۸		۰/۶۹	-۱/۲	۰/۷۸	۰/۲۳*	۰/۱۹۷	۹/۸	۳/۹	
۱۷			-۰/۲۶	۰/۶	-۱/۲	۰/۷۷	۰/۲۰*	۰/۱۹۶	۱۰/۱۵	۳/۷	
۱۸	-۰/۵۵	۰/۲۹				۰/۸۸	۰/۱۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۳	۱۰/۱۱	۱/۳۶	
۱۹		۰/۶۵	-۰/۲			۰/۸۶	۰/۱۵ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۲	۱۱	۱/۰۱	
۲۰		-۱/۹۵		۱/۴		۰/۹	۰/۱۹*	۰/۱۹۷	۱۴/۱	۱۲/۱۱	T,Tmax
۲۱		۰/۱۸			-۰/۸۶	۰/۹۶	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۲	۱۱/۰۵	۱۳/۴	T,Tmin
۲۲		۰/۷۵	-۰/۰۸			-۰/۳۷	۰/۰۶ <sup>ns</sup>	۰/۲۱۳	۴/۶	۱/۰۴	
۲۳	۰/۴۹			-۰/۳۷		۰/۷۳	۰/۱۲ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۹	۷/۰۶	۱/۲۵	
۲۴	۰/۳۶				-۰/۵۹	۰/۸۹	۰/۱۷ <sup>ns</sup>	۰/۲	۱۲/۱۱	۱/۲	
۲۵			-۰/۲۱	-۰/۵۳		۰/۷۵	۰/۱۱ <sup>ns</sup>	۰/۲۰۹	۶/۶۸	۰/۰۱	
۲۶			-۰/۲۵		-۰/۷۲	۰/۸۵	۰/۲*	۰/۱۹۹	۱۳/۲	۱/۰۲	
۲۷				۰/۵۷	-۱/۱۹	۰/۹	۰/۱۹ <sup>ns</sup>	۰/۱۹۹	۱۲/۷۸	۵	

معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ و ۹۹٪ با علامت \* و \*\* نشان داده شده‌اند. ns بیانگر غیرمعنی‌دار بودن رابطه است.

همان‌گونه که در جدول (۳) نشان داده شده است مقدار آماره‌ی  $R^2$  بین ۰/۱۱ در مدل شماره (۲۵) تا ۰/۲۴ در مدل‌های شماره ۱ و ۵ متغیر است. به‌طورکلی، از بین ۲۷ مدل موردبررسی، مدل‌های شماره ۱، ۵، ۲، ۶ و ۱۴ بیش‌ترین مقدار ضریب تعیین و مدل‌های شماره ۲، ۳، ۵ و ۱۴ کم‌ترین مقدار RMSE را به خود اختصاص داده‌اند. مقایسه‌ی مدل‌های دارای بیش‌ترین ضریب تعیین و کم‌ترین مقدار خطا حاکی از آن است که افزایش تعداد پارامترهای ورودی به مدل، تأثیر قابل‌توجهی بر افزایش دقت این مدل‌ها نداشته است. به‌عبارت‌دیگر، این نتایج بیانگر آن است که اگرچه با افزایش تعداد پارامترهای ورودی به مدل در روش رگرسیون خطی چندگانه، میزان خطا کاهش و ضریب تعیین افزایش یافته است، اما این کاهش خطا و یا افزایش ضریب تعیین با توجه به ارقام موجود در ستون‌های RMSE و  $R^2$  برای مدل‌های مذکور ناچیز و در حدود ۳ تا ۵ درصد بوده است؛ اما نظر به اینکه بالا بودن ضریب همبستگی به‌تنهایی دلیل بر کارآمد بودن یک مدل نیست و کارایی یک مدل وقتی به اثبات می‌رسد که بتواند توصیف خوبی از

متغیر وابسته نشان دهد، لذا جهت انتخاب دقیق‌ترین مدل، اثر هم‌خطی بین متغیرهای ورودی به مدل‌های منتخب نیز مورد بررسی قرار گرفت تا در نهایت، دقیق‌ترین مدل توجیه‌کننده تغییرات درصد پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی با ضریب اطمینان بالاتری انتخاب شود. بدین منظور از فاکتور تورم واریانس استفاده شده است که نتایج حاصل از این بررسی در ستون مربوط در جدول (۳) نشان داده شده است. بر اساس این معیار، اثر هم‌خطی شدیدی ( $VIF > 10$ ) بین متغیرهای دمای متوسط ماهیانه، متوسط کمینه و بیشینه‌ی دمای ماهیانه‌ی ورودی به مدل‌های شماره‌ی ۱، ۲، ۳، ۶ و ۱۴ وجود داشته و می‌توان این‌گونه استنباط کرد که وجود این ارتباط قوی منجر به افزایش غیرواقعی ضریب تبیین این دو مدل شده است. لذا، مدل شماره‌ی ۵ به دلیل عدم وجود اثر هم‌خطی شدید بین متغیرهای مستقل معرفی شده به آن ( $VIF < 5$ ) و بالا بودن ضریب تعیین و پایین بودن آماره‌ی خطا نسبت به سایر مدل‌ها، به‌عنوان مدل بهینه جهت تعیین نقش پارامترهای مؤثر بر تغییرات NDVI در منطقه‌ی مطالعاتی انتخاب شد. همان‌گونه که در رابطه‌ی رگرسیونی مدل منتخب (رابطه‌ی ۶) مشخص است، متغیرهای ورودی به این مدل عبارت‌اند از: دما، بارندگی و سرعت متوسط وزش بادهای سطحی.

$$NDVI = 0.36P - 0.22WS + 0.69T_{max} - 1.2T_{min} + 0.7 \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

این رابطه نشان می‌دهد که اثر توأم بارندگی، سرعت متوسط وزش بادهای سطحی و دماهای کمینه و بیشینه منجر به تغییر وضعیت پوشش گیاهی در مراتع نیمه‌ی غربی استان کرمان شده است. به‌عبارت‌دیگر، به ازای هر واحد افزایش دمای کمینه و نیز به ازای هر واحد افزایش سرعت وزش بادهای سطحی در ماه‌های فصل رویش گیاهان طی بازه‌ی زمانی (۲۰۱۷-۲۰۰۰)، میزان NDVI به ترتیب به اندازه‌ی ۱/۲ و ۰/۲۲ واحد کاهش یافته است. درحالی‌که به ازای هر واحد افزایش بارندگی و دمای متوسط بیشینه در منطقه‌ی مطالعاتی، مقدار NDVI به ترتیب به اندازه‌ی ۰/۳۶ و ۰/۶۹ واحد افزایش در این مدت افزایش یافته است. درواقع، بر اساس این ضرایب چنین استنباط می‌شود که میزان تأثیر دمای متوسط کمینه و بیشینه بر تغییرات پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی بیش‌تر از اثر سرعت متوسط وزش بادهای سطحی و مجموع بارش ماهیانه در ماه‌های آوریل تا سپتامبر بازه‌ی زمانی موردبررسی (۲۰۱۷-۲۰۰۰) بوده است. نقش مؤثر تغییرات دما نسبت به تغییرات بارندگی در مطالعه‌ی علیمرادی و همکاران (۲۰۱۷) نیز گزارش شده است که مؤید نتیجه‌ی تحقیق حاضر در زمینه‌ی بالاتر بودن اهمیت نسبی دما نسبت به بارندگی است. این محققین با استفاده از این دو پارامتر توانسته‌اند تنها ۱۶٪ تغییرات پوشش گیاهی حوضه‌ی کارون را بر اثر تغییر این دو پارامتر اقلیمی، تبیین کنند؛ درحالی‌که در این تحقیق، با توجه به ضریب تبیین حاصل از برازش مقادیر مشاهداتی و محاسباتی NDVI ( $R^2 = 0.24$ )، ۲۴٪ تغییرات این شاخص به دلیل اثر توأم چهار پارامتر اقلیمی واردشده به این مدل قابل توجیه است (جدول ۳). بالاتر بودن ضریب تبیین مطالعه‌ی حاضر، به دلیل نقش مؤثر سرعت وزش بادهای منطقه بر تغییرات پوشش گیاهی و وارد شدن آن به مدل پیش‌بینی‌کننده بر اساس روش رگرسیون خطی چندمتغیره گام‌به‌گام ثابت کردند که مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات پوشش گیاهی مراتع استان هرمزگان، تغییرات دمای بیشینه‌ی هوا در این منطقه بوده است. در مطالعه‌ی کریمپور و همکاران (۱۳۹۴)، با معرفی پارامترهای متعدد اقلیمی به مدل رگرسیون چندمتغیره گام‌به‌گام ثابت کردند که مهم‌ترین عامل مؤثر بر تغییرات پوشش گیاهی مراتع استان هرمزگان، تغییرات دمای بیشینه‌ی هوا در این منطقه بوده است. در مطالعه‌ی کریمپور و همکاران (۱۳۹۴)، علی‌رغم استفاده از متغیرهای اقلیمی مختلف در مدل‌سازی، تنها نقش متغیر دما به‌خوبی نشان داده شده است. تفاوت در نتایج تحقیقات مختلف به دلیل به‌کارگیری تکنیک‌های مدل‌سازی و پیچیده بودن شرایط اقلیمی حاکم بر هر منطقه است و این موضوع، اهمیت انجام مطالعات بیش‌تر در مناطق مختلف اقلیمی را نشان می‌دهد. به‌طورکلی بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، از بین عوامل اقلیمی منتخب در این مبحث به ترتیب متوسط دمای هوا، مجموع بارش ماهیانه و سرعت وزش بادهای سطحی بیش‌ترین تأثیر را بر

تغییرات پوشش گیاهی منطقه‌ی مطالعاتی داشته‌اند که با توجه به ضریب تعیین مدل منتخب، ثابت شد ۲۴٪ تغییرات پوشش گیاهی تابع تغییر این عوامل اقلیمی بوده است. به عبارت دیگر، ۷۶٪ تغییرات این ویژگی فیزیکی مهم زمینی که نقش بسیار مهمی در کنترل فرسایش بادی مناطق مختلف و به‌ویژه مناطق خشک دارد، تحت تأثیر تغییر سایر پارامترها نظیر دما و رطوبت خاک و یا حتی دخالت‌های انسانی نظیر تغییرات کاربری‌ها، احیا و یا تخریب مراتع بوده است که پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی بدان پرداخته شود.

## ۵- نتیجه‌گیری

در مقیاس جهانی الگوهای پوشش گیاهی و اقلیمی ارتباط نزدیکی با یکدیگر دارند. تخریب جوامع گیاهی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان، تبعات زیست‌محیطی متعددی به دنبال داشته که از جمله می‌توان به تشدید وقوع پدیده‌ی فرسایش بادی و افزایش غلظت ذرات معلق در جو اشاره کرد. نظر به اینکه پارامترهای اقلیمی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر رشد گیاه به شمار می‌روند که بسته به شرایط محیطی و جغرافیایی، تأثیر هر یک از این عوامل متفاوت است، انجام پژوهش‌هایی که بتواند عوامل تأثیرگذار را در مناطق مختلف و در بازه‌های زمانی مختلف شناسایی کند، ضروری است. به همین دلیل، این پژوهش با هدف اصلی ارزیابی مدل‌های رگرسیون خطی چندگانه به روش حداقل مربعات معمولی به منظور شناسایی مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر تغییر وضعیت پوشش گیاهی مراتع نیمه‌ی غربی استان کرمان برای بازه‌ی زمانی ۱۸ ساله (۲۰۱۷-۲۰۰۰) انجام شد. در این پژوهش، علاوه بر دو پارامتر مهم اقلیمی دما و بارش که در بسیاری از مطالعات گذشته جهت تبیین نقش تغییرات اقلیم بر پوشش گیاهی مناطق مختلف به کار گرفته شده است، نقش سایر پارامترهای اقلیمی با حذف اثر هم‌بستگی بین آن‌ها نیز در نظر گرفته شده است که نقطه‌ی قوت پژوهش حاضر نسبت به اغلب پژوهش‌های گذشته است. بر اساس یافته‌های این پژوهش، سهم متغیرهای اقلیمی در تبیین تغییرات پوشش گیاهی مراتع غرب استان کرمان، ۲۴ درصد تخمین زده شده است. به عبارت دیگر این نتایج می‌تواند بیانگر نقش عواملی دیگر نظیر فعالیت‌های انسانی در تغییر وضعیت این ویژگی فیزیکی مهم سطح زمین نیز باشد. البته با توجه به روند رو به رشد وضعیت پوشش گیاهی در منطقه‌ی مطالعاتی به‌ویژه در سال‌های پایانی مورد مطالعه، به نظر می‌رسد نگرانی از حیث تخریب پوشش گیاهی در این منطقه از کشور وجود ندارد، اما مسئله‌ی حائز اهمیت بررسی دیگر علل مؤثر بر توسعه‌ی پوشش‌های گیاهی در منطقه‌ی مطالعاتی است. در واقع، ممکن است چنین تغییراتی ناشی از تغییر کاربری اراضی و بهره‌برداری از منابع آب‌های زیرزمینی باشد و اگر چنین باشد، بایستی برنامه‌ریزی‌های اساسی و اصولی در راستای حفظ شرایط اکولوژیکی و ایجاد توسعه‌ی پایدار صورت گیرد تا از بروز پیامدهای منفی آن جلوگیری به عمل آید.

## ۶- منابع

۱. ابراهیمی خوسفی، زهره، میراکبری مریم، کلانتری سعیده، ابراهیمی خوسفی، محسن (۱۳۹۱). ارائه‌ی مدل مناسب جهت تخمین درصد پوشش گیاهی در مناطق خشک با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-LISSIII (مطالعه‌ی موردی: سد نهرین)، پژوهش‌های آب‌خیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره‌ی ۱، پیاپی ۹۴، صص ۶۴-۵۵.
۲. عسکری‌زاده دیانا، ارزانی حسین، جعفری محمد، بذرافشان جواد، پرنمایش آبن کولین (۱۳۹۷). بررسی گذشته، حال و آینده تغییرات پوشش گیاهی مراتع البرز مرکزی در ارتباط با تغییر اقلیم، نشریه‌ی سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره‌ی ۹، شماره ۳، صص ۱۸-۱.
۳. فرج‌زاده، منوچهر، فتح‌نیا، امان‌اله، علیجانی، بهلول، ضیائیان، پرویز (۱۳۹۰). ارزیابی تأثیر عوامل اقلیمی بر رشد پوشش گیاهی در مراتع متراکم ایران با استفاده از تصاویر AVHRR، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، دوره‌ی ۴۳، شماره‌ی پیاپی ۴۹۱۳۰۷، صص ۱۴-۱.

۴. کریمپور مصطفی، یوسفی عبدالحسین، کوهپایه، نواب (۱۳۹۴). بررسی رابطه عناصر اقلیمی با پوشش گیاهی مراتع استان هرمزگان (مطالعه‌ی موردی: گونه‌ی *Gymnocarpus decander*)، اکوسیستم‌های طبیعی ایران، دوره‌ی ۶، شماره‌ی ۳، صص ۴۸-۴۱.
۵. میرزایی زاده، وحید، نیک نژاد مریم، حیدری مهدی (۱۳۹۵). پایش و پیش‌بینی تغییرات تراکم پوشش گیاهی با استفاده از سنجش‌ازدور (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز ونیت، استان ایلام)، تحقیقات جنگل‌های زاگرس، دوره‌ی ۳، شماره‌ی ۱، صص ۳۲-۱۹.
۶. هادیان، فاطمه، جعفری، رضا، بشری، حسین، سلطانی، سعید (۱۳۹۲). پایش تأثیر بارش در تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در یک دوره‌ی ۱۲ ساله (مطالعه‌ی موردی: سمیرم و لردگان، نشریه‌ی مرتع و آبخیزداری، دوره‌ی ۶۶، شماره‌ی ۴، صص ۶۳۲-۶۲۱).
7. Alimoradi, S., Khorani, A. and Esmailpoor, Y. (2017). Dynamics of vegetation in Karun watershed within Khuzestan province in relation with Temperature factors and precipitation. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 17(44): 155-177.
  8. Alvares, C.A. et al., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6): 711-728.
  9. Carlson, T.N, Ripley DA. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote sensing of Environment*, 62(3): 241-252.
  10. Daoud, J.I. (2017). Multicollinearity and regression analysis, *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, pp. 012009.
  11. Guo, X.-y. et al. (2018). Comparison of the spatio-temporal dynamics of vegetation between the Changbai Mountains of eastern Eurasia and the Appalachian Mountains of eastern North America. *Journal of Mountain Science*, 15(1): 1-12.
  12. Kilmer, J. and Rodríguez, R. (2017). Ordinary least squares regression is indicated for studies of allometry. *Journal of evolutionary biology*, 30(1): 4-12.
  13. Mayaud, J.R., Bailey, R.M. and Wiggs, G.F. (2017). A coupled vegetation/sediment transport model for dryland environments. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 122(4): 875-900.
  14. Miri, A., Dragovich, D. and Dong, Z. (2017). Vegetation morphologic and aerodynamic characteristics reduce aeolian erosion. *Scientific reports*, 7(1): 12831.
  15. Mohamad, I.B., Usman, D. (2013). Standardization and its effects on K-means clustering algorithm. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 6(17), 3299-3303.
  16. Pang, G., Wang, X. and Yang, M. (2017). Using the NDVI to identify variations in, and responses of, vegetation to climate change on the Tibetan Plateau from 1982 to 2012. *Quaternary International*, 444: 87-96.
  17. Piedallu, C., Chéret, V., Denux, J. P., Perez, V., Azcona, J. S., Seynave, I., & Gégout, J. C. (2019). Soil and climate differently impact NDVI patterns according to the season and the stand type. *Science of the Total Environment*, 651, 2874-2885..
  18. Shahabfar, A., Ghulam, A. and Eitzinger, J. (2012). Drought monitoring in Iran using the perpendicular drought indices. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18: 119-127.
  19. Shekoohzadegan, S., Khosravi, H., Azarnivand, H., Zehtabian, G. and Raygani, B. (2017). Monitoring and evaluation of vegetation indices based on Fuzzy Logic using MODIS satellite Imagery (Case study: Bamou National park-Shiraz). *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(100): 157-166.
  20. Shi, Y., Yu, M., Erfanian, A. and Wang, G. (2018). Modeling the Dynamic Vegetation–Climate System over China Using a Coupled Regional Model. *Journal of Climate*, 31(15): 6027-6049.
  21. Song, Y. and Ma, M. (2011). A statistical analysis of the relationship between climatic factors and the Normalized Difference Vegetation Index in China. *International Journal of Remote Sensing*, 32(14): 3947-3965.

22. Thompson, C.G., Kim, R.S., Aloe, A.M. and Becker, B.J. (2017). Extracting the variance inflation factor and other multicollinearity diagnostics from typical regression results. *Basic and Applied Social Psychology*, 39(2): 81-90.
23. White, H., (1980). Using least squares to approximate unknown regression functions. *International Economic Review*, 149-170.
24. Xulu, S., Peerbhay, K., Gebreslasie, M. and Ismail, R. (2018). Drought Influence on Forest Plantations in Zululand, South Africa, Using MODIS Time Series and Climate Data. *Forests*, 9(9): 528.
25. Zewdie, W., Csaplovics, E. and Inostroza, L. (2017). Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. *Applied geography*, 79: 167-178.
26. Z Zhao, X., Hu, H., Shen, H., Zhou, D., Zhou, L., Myneni, R. B., & Fang, J. (2015). Satellite-indicated long-term vegetation changes and their drivers on the Mongolian Plateau. *Landscape Ecology*, 30(9), 1599-1611.