

تحلیل آستانه‌های اقلیمی برای رشد مراتع با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی زاگرس)

منوچهر فرج‌زاده^{۱*}، امان‌اله فتح‌نیا^۲، بهلول علیجانی^۳، پرویز ضیائی‌ان^۴

۱- دانشیار گروه جغرافیا و سنجش از دور، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۲- دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استاد گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران، کرج، ایران

۴- دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه تربیت معلم تهران، کرج، ایران

دریافت: ۸۸/۱۱/۱۸ پذیرش: ۸۹/۲/۱۵

چکیده

تغییرات عناصر اقلیمی می‌توانند بر وضعیت فنولوژی گیاهان مانند تاریخ شروع سبزیگی، اوج رشد و شروع پیری گیاه تأثیرات قابل‌توجهی بگذارند. تصاویر NOAA/AVHRR و داده‌های اقلیمی مربوط به سال ۲۰۰۶م است که در مراتع زاگرس در سطوح کم، متوسط و متراکم برای تعیین آستانه‌های اقلیمی بررسی شده است. نتایج طبقه‌بندی حاصل از همبستگی ترکیب مقادیر حداکثر شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده (NDVI) و عناصر اقلیمی درون‌یابی‌شده (بارش، دما و رطوبت نسبی) به صورت ماهانه عبارت‌اند از: بالاترین R^2 در مراتع متراکم (۰/۶۴۷۸) و کمترین R^2 در مراتع کم‌تراکم (۰/۱۳۶). به‌طور کلی، تراکم مراتع زاگرس براساس ارتفاع زیاد می‌شود. در عناصر اقلیمی بارش با ارتفاع زیاد و با دما کم می‌شود؛ اما رطوبت توزیع نامتعادل‌تری نسبت به ارتفاع دارد. در مراتع کم‌تراکم، بارش تا ۲۲۰ میلی‌متر بر مقدار NDVI می‌افزاید و دمای ۴ درجه سانتی‌گراد آستانه رشد پوشش گیاهی است. در مراتع نیمه‌متراکم، بارش ۱۰۸-۳۸ میلی‌متر و دمای ۲۱-۱۸ درجه سانتی‌گراد بر رشد پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد و در زمستان دمای بالای ۱۲ درجه سانتی‌گراد مقدار NDVI را افزایش می‌دهد. در مراتع متراکم، بارش ۱۰۹-۳۳ میلی‌متر و



دمای ۲۲- ۱۶ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش NDVI می‌شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد به‌طور کلی در همه سطوح تراکم مراتع زاگرس، رطوبت نسبی بیش از ۴۰ درصد باعث افزایش مقدار NDVI می‌شود، همچنین در زمستان نقش اصلی را در افزایش NDVI عنصر دما، و در تابستان عنصر بارش ایفا می‌کند، اما در بهار هر دو عنصر بارش و دما تأثیر موازی دارند.

واژه‌های کلیدی: دما، بارش، رطوبت نسبی، مراتع زاگرس، AVHRR.

۱- مقدمه

اجتماع گیاهی تنظیم‌کننده کلیدی انرژی، کربن و تبادل آب بین اتمسفر، گیاه و خاک است (Dale Et. al, 2000: 201). توزیع فضایی پوشش گیاهی با شرایط اقلیمی ارتباط زیادی دارد (Saugier, 1996: 107). توزیع و تراکم پوشش گیاهی از عناصر اقلیمی هر منطقه متأثر است و مهم‌ترین آن‌ها بارش و دماست. داده‌های سنجش از دور، مؤثرترین داده در بررسی ارتباط گیاه و اقلیم است؛ زیرا تصاویر از ویژگی توالی مقیاس‌های فضایی و زمانی برخوردارند (Myneni Et. al, 1997: 698). مطالعه تصاویر ماهواره‌ای نیازمند شاخص‌هایی برای شناسایی پوشش گیاهی است و مهم‌ترین شاخص در این زمینه، شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده است.

همبستگی فضایی بین NDVI و عناصر اقلیمی در تحقیقات بسیاری ارزیابی شده است. دیوداتو و بلوچی در دوره نودساله، پاسخ سبزیگی گیاه را به تغییرپذیری بارش و دما در تپه مونته‌پینو^۱ واقع در ایتالیا مطالعه کرده‌اند. براساس نتایج این تحقیق، بین سبزیگی گیاه و الگوهای آب و هوا همبستگی قوی وجود دارد؛ همچنین در این پژوهش تحلیل تغییرات درازمدت با روند مثبت NDVI با افزایش دمای هوای همان دوره، سازگاری نشان داده است (Bellocchi & Diodato, 2007: 1-13). کاواباتا و همکاران با استفاده از داده‌های دما و بارش، وردایی^۲ سالیانه NDVI را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که در عرض‌های متوسط به بالا، فعالیت‌های گیاهی به دلیل افزایش دما

1. Monte Pino

2. Variation

بیشتر شده است (Kawabata Et. al, 2001: 1377-1382). میلیچ و ویس ارتباط NDVI و بارش را در فصل رشد، حدود ۲۵۰-۵۰۰ میلی متر برآورد کرده اند؛ به گونه ای که در حواشی بیابان مانند ساحل آفریقا با کاهش معنادار بارش به کمتر از ۲۵۰ میلی متر در سال، ارتباط NDVI و بارش غیرقابل پیش بینی می شود (Milich & Weiss, 2000: 261-280). یو و همکاران پی بردند که زمان بندی شروع سبزیگی گیاه در استپ های داخلی مغولستان به طور مشخصی به بارش و دمای پاییز و زمستان قبلی و بهار جاری وابسته است (Yu Et. al, 2000: 11). همچنین مطالعه در آفریقای جنوبی نشان داد میانگین فصلی NDVI با میانگین فصلی بارش (به استثنای بیابان ها) مطابقت دارد (Poccard & Richards, 1998: 2907-2920). نتایج تحلیل سری های زمانی محققان، همبستگی بالایی را بین تغییرات NDVI با داده های اقلیمی ماهانه نشان نمی دهد. همچنین تأخیر زمانی یک ماهه بین بارش با تغییرات NDVI، امکان یافتن شاخص هایی برای شروع و طول فصل رشد، از سری های زمانی NDVI را فراهم می کند (Schultz, 1995: 277-280). (Halpert & 280).

اغلب مطالعات انجام شده در ایران با هدف اثبات خشک سالی صورت گرفته است. باعقیده با مطالعه NDVI دوره رشد و شاخص SPI^۱ در استان اصفهان، به این نتیجه رسید که NDVI با SPI سه ماهه ارتباط بهتری داشته است. در این پژوهش نشان داده شد که تراکم مراتع بر همبستگی بین شاخص ها تأثیر مثبت دارد و در اوایل فصل رشد بین NDVI و بارش استاندارد شده همبستگی بهتری وجود دارد (باعقیده، ۱۳۸۶: ۱-۱۵۵). طاهرزاده با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده، NDVI و شاخص حرارت سطحی^۲ در دوره هجده ساله، به بررسی خشک سالی در حوضه آبریز میناب پرداخت. نتایج مطالعه او نشان داد شاخص بارش استاندارد شده با NDVI همبستگی مثبت دارد و با افزایش مقادیر بارش استاندارد شده مقادیر NDVI افزایش می یابد. میزان همبستگی بین دو این

1. Standard Precipitation Index (SPI)
2. Land Surface Temperature (LST)



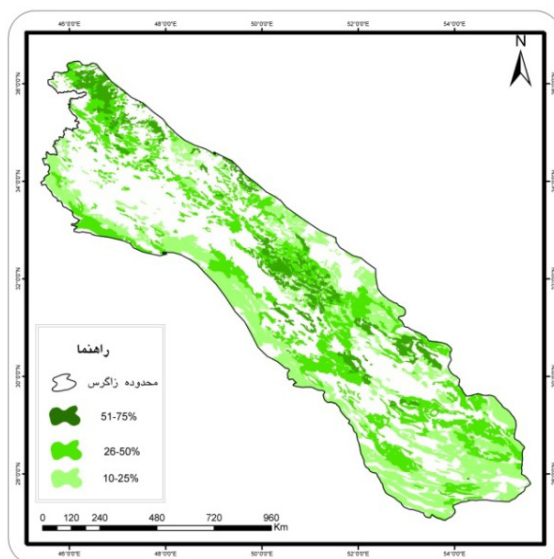
شاخص در فصل‌های کم‌باران کمتر می‌شود و پس از شروع بارش و دوره شروع رویش گیاهی همبستگی فضایی افزایش می‌یابد. بین شاخص حرارت سطحی و شاخص بارش استاندارد شده همبستگی منفی وجود دارد (طاهرزاده، ۱۳۸۵: ۱-۱۵۰). جوی‌زاده با استفاده از شاخص‌های خشک‌سالی و NDVI، پدیده خشک‌سالی را در استان فارس بررسی کرد (جوی‌زاده، ۱۳۸۴: ۱-۲۱۰). مرادزاده با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست در دو دوره زمانی ۱۹۸۹ و ۲۰۰۰ ترسالی‌ها و خشک‌سالی‌ها را مورد مطالعه قرار داد و با بررسی مساحت پوشش گیاهی به دست آمده از شاخص‌های گیاهی به این نتیجه رسید که شاخص $^{1}ARVI$ ترسالی سال ۱۹۸۹ و خشک‌سالی سال ۲۰۰۰ را بهتر نشان داده است (مرادزاده، ۱۳۸۳: ۱-۱۱۴).

با توجه به بررسی‌های انجام شده، هدف این تحقیق، تحلیل آستانه‌های اقلیمی از راه طبقه‌بندی عناصر اقلیمی پهنه‌بندی شده و مقادیر پوشش گیاهی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای در مراتع زاگرس است.

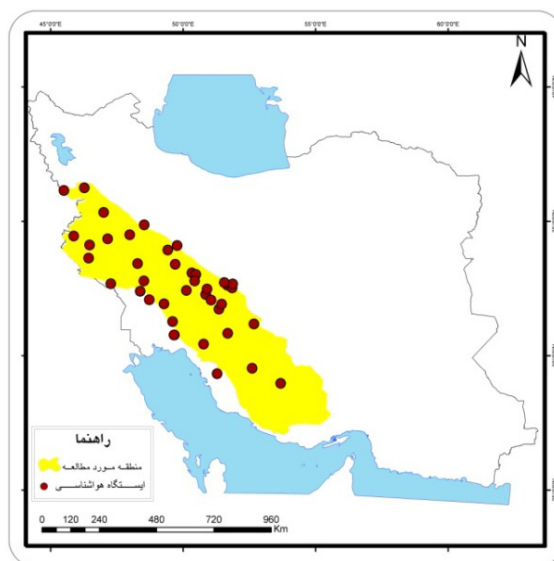
۳- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه مراتع زاگرس با تراکم‌های ۵۰-۷۵، ۲۵-۵۰ و ۱۰-۲۵ درصد (شکل ۱ الف) به ترتیب بالغ بر ۱/۶۴۱/۵۳۶ هکتار، ۶/۹۰۶/۵۱۵ هکتار و ۵/۷۵۱/۴۶۵ هکتار، واقع در غرب و جنوب غربی ایران (شکل ۱ ب) است. بیشتر مراتع منطقه زاگرس را مراتعی با تراکم ۲۵-۵۰ درصد تشکیل می‌دهد؛ دلیل آن هم وضعیت کوهستانی زاگرس و قرارگیری ایران در عرض‌های خشک و نیمه‌خشک است. برای انجام این پژوهش نقشه پوشش گیاهی محدوده منطقه مورد مطالعه به تفکیک مقدار تراکم، از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور تهیه شده است.

1. Atmospheric Resistant Vegetation IndexX



الف

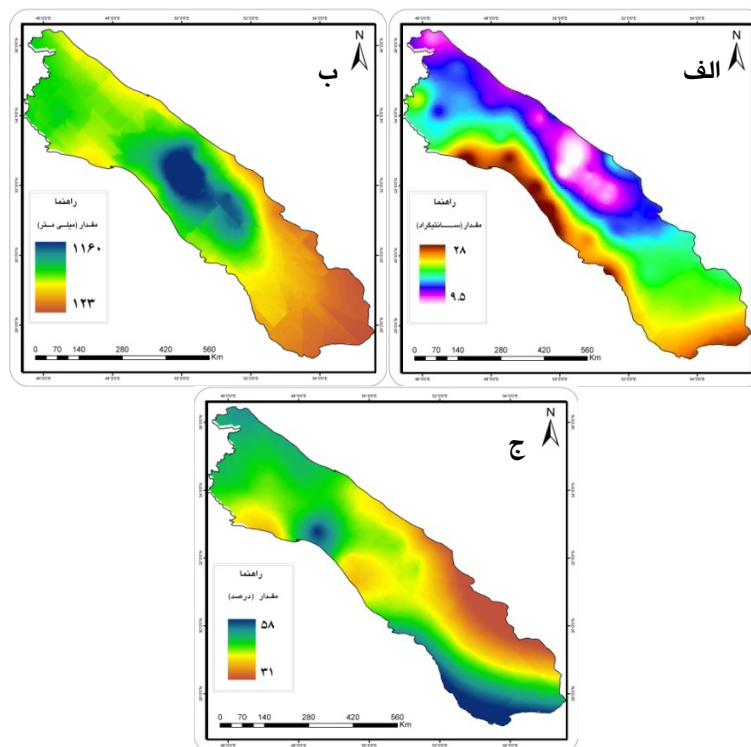


ب

شکل ۱ الف) مراتع با تراکم ۷۵-۵۰، ۵۰-۲۵ و ۲۵-۱۰ درصد زاگرس، ب) منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی



وضعیت ارتفاعی مراتع عبارت‌انداز: مراتع با تراکم ۵۰-۷۵ درصد پایین‌ترین ارتفاع ۴۴۲ متر در دامنه‌های کوهپایه‌ای دشت خوزستان، بالاترین ارتفاع ۴۱۱۸ متر مربوط به ارتفاعات زاگرس بختیاری و ارتفاع متوسط ۲۲۲۵/۵ متر؛ مراتع با تراکم ۲۵-۵۰ درصد پایین‌ترین ارتفاع ۶۰ متر در دشت خوزستان، بالاترین ارتفاع ۴۲۵۲ متر مربوط به ارتفاعات زاگرس بختیاری و ارتفاع متوسط ۱۶۹۳ متر؛ مراتع با تراکم ۱۰-۲۵ درصد پایین‌ترین ارتفاع ۴۱ متر در دشت خوزستان، بالاترین ارتفاع ۳۸۱۸ متر مربوط به ارتفاعات زاگرس مرکزی در استان لرستان و ارتفاع متوسط ۱۲۳۸ متر. تقریباً ۳۸ ایستگاه هواشناسی (شکل ۱ ب) در محدوده مطالعه‌شده قرار گرفته است.



شکل ۲ الف) بارش سالیانه، ب) دمای میانگین سالیانه، ج) رطوبت نسبی میانگین سالیانه

شکل شماره دو عناصر اقلیمی بارش، دمای میانگین و رطوبت نسبی میانگین را به صورت سالیانه نشان می‌دهد. بارش از ۱۱۶۰ میلی‌متر در زاگرس مرکزی تا ۱۲۳ میلی‌متر در زاگرس جنوبی نوسان دارد (شکل ۲ الف). بالاترین دمای میانگین در حاشیه غربی زاگرس به مقدار ۲۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین مقدار دما (۹/۵ درجه سانتی‌گراد) در مناطق زاگرس مرتفع مشاهده می‌شود (شکل ۲ ب). رطوبت نسبی میانگین از ۳۱ درصد در حاشیه جنوب شرقی زاگرس تا ۵۸ درصد در مناطق جنوبی زاگرس و بخش کوچکی در غرب متفاوت است (شکل ۲ ج).

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل بارش، دما و رطوبت نسبی ماهانه ۳۸ ایستگاه هواشناسی در دوره زمانی سپتامبر ۲۰۰۵ تا اکتبر ۲۰۰۶ است. با انتخاب ده نقطه همسایه در روش‌های درونیابی و به‌کارگیری مدل رقومی ارتفاع در روش کوکریجینگ، عناصر اقلیمی در نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی شده‌اند. روش Cross-Validation برای ارزیابی روش‌های زمین‌آماري مناسب است. در این روش، هربار یک نقطه واقعی حذف می‌شود و با داده‌های نقاط مجاور، مقداری برای نقطه حذف‌شده برآورد می‌شود، سپس مقدار واقعی به محل قبلی برگردانده و برای تمام نقاط این کار تکرار می‌شود؛ سرانجام میزان خطای بایاس میانگین، خطای مطلق میانگین و خطای جذر مربع میانگین روش‌ها محاسبه می‌شود (اختری و همکاران، ۱۳۸۵: ۲۷-۳۸). نتایج حاصل از برآورد خطا نشان می‌دهد به‌استثنای دمای میانگین (روش IDW)، در بقیه عناصر روش کوکریجینگ خطای کمتری دارد.

تصاویر مطالعه‌شده در این تحقیق مربوط به NOAA-۱۸ است و از وبسایت <http://www.class.ngdc.noaa.gov> > استخراج شده که در سطح 1B و قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتری است. در مجموع، ۴۵ تصویر از ژانویه تا اکتبر ۲۰۰۶ برای مطالعه انتخاب شده است. در انتخاب تصاویر سعی شده است کمترین زمان ابرناکی باشد. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای NOAA/AVHRR با استفاده از فایل HDR تصاویر تصحیح هندسی شده و میزان خطای آن کمتر از ۱/۱ پیکسل (۱۰۰ متر) بوده است. در ادامه، شاخص NDVI از باند ۱ و ۲ تصاویر استخراج



و برای مشخص تر شدن مقادیر، دامنه ۲۵۵-۰ انتخاب شده است. سپس معادله ترکیب مقادیر حداکثر MVC^۱ روی تصاویر هر ماه اعمال شده است؛ زیرا ترکیب مقادیر حداکثر باعث کاهش قابل توجه آثار اتمسفری، تأثیرات زاویه اسکن، ابرناکی و آثار زاویه زیت خورشیدی می‌شود (Holben, 1986: 1417-1434).

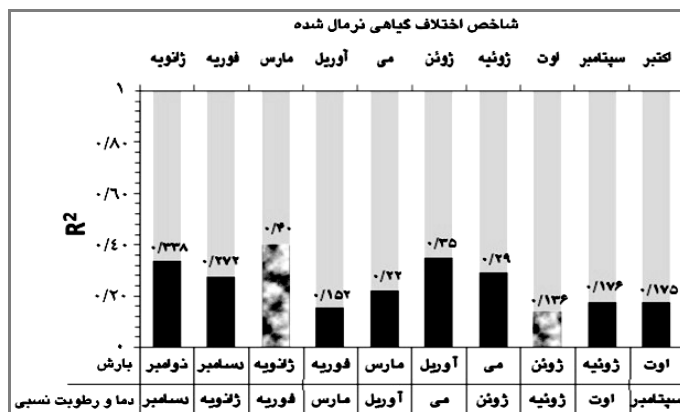
برای محاسبه اثر تأخیر زمانی عناصر اقلیمی بر رشد پوشش گیاهی از چند ماه قبل از ژانویه برازش خطی بین هر عنصر اقلیمی با NDVI صورت گرفته و نتیجه آن انتخاب بهترین مقدار R² به عنوان تأخیر زمانی بوده است. در نهایت، برای بارش، تأخیر زمانی دو ماهه و برای دما و رطوبت نسبی تأخیر زمانی یک ماهه به دست آمده است. از آنجا که در این تحقیق چندین متغیر مستقل (عناصر اقلیمی) مطالعه شده، از رگرسیون خطی چندمتغیره به حالت رگرسیون چندمتغیره حداقل مربعات معمولی^۲ استفاده شده است (رابطه ۱).

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_K X_K + \varepsilon \quad (1)$$

Y=متغیر وابسته، α=عرض از مبدأ، β=ضریب رگرسیون، X=متغیرهای مستقل و ε=خطای تصادفی است (Baker, 2003: 206-209). در این پژوهش NDVI به عنوان متغیر وابسته و عناصر اقلیمی (بارش، دما و رطوبت نسبی) به عنوان متغیر مستقل در نظر گرفته شده است. با مشخص شدن مقدار R² ماهانه NDVI با عناصر اقلیمی در مراتع متراکم (۷۵-۵۰ درصد)، متوسط (۵۰-۲۵ درصد) و کم (۲۵-۱۰ درصد)، مقادیر عددی ماه‌های با بالاترین و پایین‌ترین مقدار R² بین NDVI و عناصر اقلیمی استخراج و طبقه‌بندی شده است.

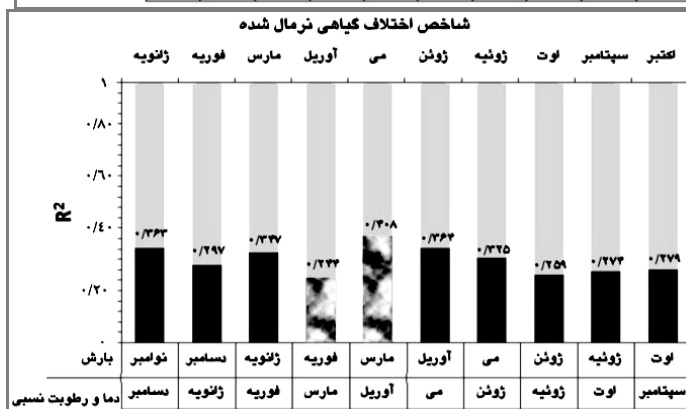
1. Maximum Value Composite
2. Multivariate Ordinary Least Squares Regression (MOLS)

الف

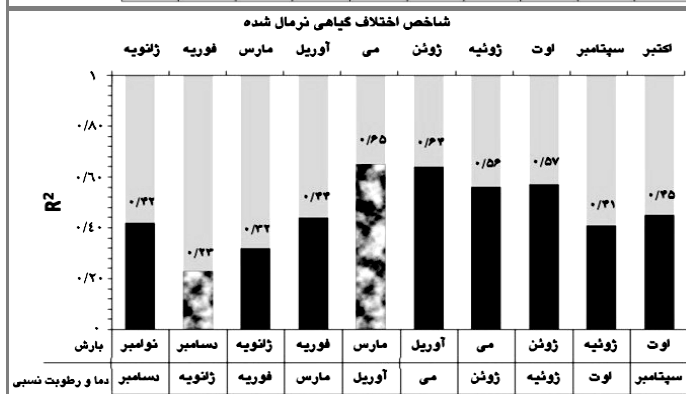


ب

ماه‌های مورد بررسی



ج



شکل ۳ نمودار R^2 عناصر اقلیمی با شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده، الف) مراتع کم‌تراکم (۱۰-۲۵ درصد)، ب) مراتع با تراکم متوسط (۲۵-۵۰ درصد)، ج) مراتع متراکم (۵۰-۷۵ درصد)



ضریب تعیین R^2 بارش دو ماه قبل (پایین نمودار) و دما و رطوبت نسبی یک ماه قبل (پایین نمودار) با NDVI (بالای نمودار) محاسبه شده است و بالاترین مقادیر R^2 به ترتیب مقدار تراکم ۰/۴۰، ۰/۴۰۸ و ۰/۶۴۷۸، و پایین‌ترین مقادیر R^2 به ترتیب مقدار تراکم ۰/۱۳۶، ۰/۲۴۴ و ۰/۲۳ است. از این رو براساس شکل شماره سه، ماه‌های ژانویه و ژوئن مربوط به بارش، فوریه و ژوئیه مربوط به دما و رطوبت نسبی، مارس و اوت مربوط به NDVI در مراتع کم‌تراکم؛ ماه‌های مارس و فوریه مربوط به بارش، آوریل و مارس مربوط به دما و رطوبت نسبی، مه و آوریل مربوط به NDVI در مراتع متوسط؛ ماه‌های مارس و دسامبر مربوط به بارش، ماه‌های آوریل و ژانویه مربوط به دما و رطوبت نسبی، ماه‌های مه و فوریه مربوط به NDVI مطالعه شده است.

۳- نتایج

بالاترین مقادیر همبستگی در مراتع متراکم (۵۰-۷۵۲ درصد) و کمترین مقدار همبستگی در مراتع کم‌تراکم (۲۵-۱۰ درصد) دیده می‌شود. مراتع متراکم در ارتفاع بیشتری قرار دارد و میزان دخالت انسان در آن کمتر است؛ درحالی‌که مراتع کم‌تراکم در مناطق کم‌ارتفاع قرار گرفته و دخالت انسانی مانند چرا و پیامدهای کشاورزی نیز در آن بیشتر است.

۳-۱- مراتع کم‌تراکم (۱۰-۲۵ درصد)

بالاترین همبستگی در مراتع کم‌تراکم در ماه مارس است که به دلیل ارتفاع کم منطقه و افزایش دما، اوج رشد در آن زودتر از حد انتظار است. کمترین مقدار همبستگی نیز در ماه اوت است و دلیل آن، نبود بارش در مناطق کم‌ارتفاع زاگرس، افزایش دما و رطوبت نسبی پایین و در نتیجه خشکی و پیری پوشش گیاهی است. ارتفاع متوسط این طبقه از مراتع ۱۲۳۸ متر است.

۱-۱-۳- در شرایط همبستگی زیاد

جدول ۱ طبقه‌بندی عناصر اقلیمی و NDVI در مراتع کم‌تراکم (۱۰-۲۵ درصد)

شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده (NDVI) ماه مارس										عناصر اقلیمی
مقادیر تجمعی	جمع	متراکم		تراکم متوسط		کم تراکم		بدون پوشش گیاهی		
		۲۳۵-۲۵۵	۲۱۵-۲۳۵	۱۹۵-۲۱۵	۱۷۵-۱۹۵	۱۵۵-۱۷۵	۱۳۵-۱۵۵	۰-۱۳۵	طبقات	
۳۷/۹	۳۷/۹	۰/۰۱۳	۰/۱۲	۰/۴۴	۲/۳۲	۹/۵۷	۱۷	۸/۴۴۳	۱۷-۶۹	بارش ماه ژانویه (میلی‌متر)
۶۳/۷۷	۲۵/۸۷	۰/۰۲	۰/۱۶	۰/۴۱	۱/۶۳	۴/۹	۹/۷۶	۸/۹۹	۶۹-۱۲۰	
۷۱/۰۲	۷/۲۵	۰/۰۰۵	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۳۴	۳/۰۹	۳/۷	۱۲۰-۱۷۲	
۸۱/۳۳	۱۰/۳۱	۰/۰۰۸	۰/۰۸	۰/۱۲۵	۰/۲۱	۰/۳۱	۴/۳۳	۵/۲۴	۱۷۲-۲۲۴	
۹۰/۸۴	۹/۵۱	۰	۰	۰/۰۱۶	۰/۰۷	۰/۲۲	۳/۸	۵/۴	۲۲۴-۲۷۵	
۹۷/۹۸	۷/۱۴	۰	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۴	۰/۰۸۵	۱/۸۸	۵/۱۳	۲۷۵-۳۲۷	
۱۰۰	۲/۰۲	۰	۰	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۲۵	۰/۳۹	۱/۶	۳۲۷-۳۷۹	
۱۰۰	---	۰/۰۴۶	۰/۳۸	۱/۰۴	۴/۳۴	۱۵/۴۵	۴۰/۲۵	۳۸/۵	جمع	رطوبت نسبی میانگین ماه فوریه (درصد)
۰/۸۶	۰/۸۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۰۶	۰/۰۲	۰/۰۶۸	۰/۲۱۵	۰/۵۵	۱۷-۲۵	
۲/۱۱	۱/۲۵	۰	۰/۰۰۹	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۹۹	۰/۴۴	۰/۶۳	۲۵-۳۳	
۴/۱۱	۲	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۴	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۵۸	۱/۱۷	۳۳-۴۱	
۷/۰۸	۲/۹۷	۰/۰۰۲	۰/۰۱۲	۰/۰۲۵	۰/۰۹۹	۰/۲۵	۱/۰۵	۱/۵۳	۴۱-۴۹	
۲۱/۸۶	۱۴/۷۸	۰/۰۰۶	۰/۰۱۸	۰/۰۴۷	۰/۲۲	۰/۵۲	۴/۵۲	۹/۴۵	۴۹-۵۷	
۷۹/۸۴	۵۷/۹۸	۰/۰۲۲	۰/۲۲	۰/۰۴۸	۲/۲۸	۶/۹۶	۲۴/۵	۲۳/۹۵	۵۷-۶۵	
۱۰۰	۱۹/۳۶	۰/۰۳	۰/۱	۰/۰۴۶	۱/۶۴	۷/۳۷	۸/۹۵	۱/۲۳	۶۵-۷۳	
۱۰۰	---	۰/۰۶۳	۰/۳۷	۰/۲۵	۴/۳۴	۱۵/۴۶	۴۰/۲۵	۳۸/۵	جمع	دمای میانگین ماه فوریه (سانتی‌گراد)
۰/۱۲	۰/۱۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۱۲	- -۱/۲	
۰/۳۹	۰/۲۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۷	-۱/۲-۲/۲	
۲/۶۳	۲/۲۴	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۰/۰۲	۰/۰۸۴	۰/۳۳	۱/۸	۲/۲-۵/۵	
۸/۰۸	۵/۴۵	۰	۰/۰۰۹	۰/۰۲	۰/۰۸۴	۰/۳۱	۱/۳۶	۳/۶۷	۵/۵-۸/۸	
۲۰/۹۴	۱۲/۸۶	۰	۰/۰۱۲	۰/۰۴۴	۰/۲۱	۰/۶۵	۶/۱۵	۵/۷۹	۸/۸-۱۲/۲	
۵۴/۷۴	۳۳/۸	۰/۰۲	۰/۱۳۵	۰/۵	۱/۹۸	۷/۵	۱۷/۰۹	۶/۵۷	۱۲/۲-۱۵/۵	
۱۰۰	۴۵/۲۶	۰/۰۲	۰/۲۱	۰/۴۷	۲/۰۴	۶/۹۱	۱۵/۳	۲۰/۳۱	۱۵/۵-۱۸/۸	
۱۰۰	---	۰/۰۴۳	۰/۳۷	۱/۰۳۸	۴/۳۳	۱۵/۴۵	۴۰/۲۳	۳۸/۵۳	جمع	



بارش ماه ژانویه با NDVI ماه مارس (جدول ۱) در مراتع کم‌تراکم زاگرس بالاترین مقدار برازش را در طول دوره ده‌ماهه (مقدار ۰/۴۰) دارد. مراتع کم‌تراکم زاگرس در ارتفاعات پست قرار گرفته است؛ به همین دلیل مقدار NDVI تحت تأثیر زمین‌های کشت‌شده و پیامدهای آن قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، از طبقه‌بندی NDVI نسبت به بارش می‌توان نتیجه گرفت که در ارتفاعات پایین زاگرس با افزایش بارش به بیش از ۲۲۰ میلی‌متر، از مقدار NDVI نیمه‌متراکم و متراکم کاسته و از حساسیت پوشش گیاهی نسبت به بارش کم می‌شود. طبقات رطوبت نسبی میانگین ماه فوریه (جدول ۱) نشان می‌دهد با افزایش رطوبت نسبی بر مقدار NDVI افزوده می‌شود. تأثیر رطوبت نسبی بر پوشش گیاهی از ۵۰ درصد به بالا، چشمگیر است و ممکن است به نقش رطوبت نسبی در تلطیف هوا و برگ مربوط باشد. طبقات دمای ماه فوریه و NDVI ماه مارس (جدول ۱) نشان می‌دهد دمای تقریبی ۴ درجه سانتی‌گراد آستانه واکنش پوشش گیاهی به عامل دمای میانگین است؛ به‌طوری‌که هرچه این مقدار دما افزایش یابد، بر مقدار NDVI افزوده می‌شود. از آنجا که ماه مارس شروع سبزی‌نگی در ارتفاعات پایین زاگرس است، پوشش گیاهی به عناصر اقلیمی واکنش بهتری نسبت به دیگر ماه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد.

۲-۱-۳- در شرایط همبستگی کم

جدول ۲ طبقه‌بندی عناصر اقلیمی و NDVI در مراتع کم‌تراکم (۱۰-۲۵ درصد)

شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده (NDVI) ماه اوت										عناصر اقلیمی
مقادیر تجمعی	جمع	متراکم		تراکم متوسط		کم تراکم		بدون پوشش گیاهی		
		۲۳۵-۲۵۵	۲۱۵-۲۳۵	۱۹۵-۲۱۵	۱۷۵-۱۹۵	۱۵۵-۱۷۵	۱۳۵-۱۵۵	۰-۱۳۵	طبقات	
۴۰/۹	۴۰/۹	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۳۷	۰/۲۳	۰/۹	۱۱/۴۳	۲۸/۳	۰-۰/۰۷	بارش ماه ژوئن (میلی متر)
۵۲/۰۳	۱۱/۱۳	۰	۰	۰/۰۱۵	۰/۱۳	۰/۳۵	۲/۹۶	۷/۶۸	۰۷/۰-۰/۱۳	
۵۷/۲۲	۵/۱۹	۰	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۸	۰/۳۴	۱/۹۷	۲/۷۹	۰/۱۳-۰/۲	
۶۸/۹۷	۱۱/۷۵	۰	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۶	۰/۰۸	۰/۷۸	۱۰/۸۶	۰/۲-۰/۲۶	
۸۳/۷۷	۱۴/۸	۰	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۰۳	۰/۰۳۷	۱/۴۶	۱۳/۳۳	۰/۲۶-۰/۳۳	
۹۳/۷۶	۹/۹۹	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۲۳	۳	۶/۶۷	۰/۳۳-۰/۴	
۱۰۰	۶/۲	۰	۰/۰۱۸	۰/۰۵	۰/۰۴	۰/۱۱	۱/۵	۴/۴۷	۰/۴-۰/۴۶	
۱۰۰	---	۰	۰/۰۲۲	۰/۱۵	۰/۵۷	۲/۰۵	۲۳/۱	۷۴/۱	جمع	رطوبت نسبی میانگین ماه ژوئیه (درصد)
۱	۱	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱۵	۰/۰۲۹	۰/۳۲	۰/۶۴	۶-۱۳/۲	
۲/۶۱	۱/۶۱	۰	۰	۰/۰۰۳	۰/۰۱۵	۰/۰۵۷	۰/۶۲	۰/۹۲	۱۳/۲-۲۰	
۵/۴۳	۲/۸۲	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۹	۰/۱۲	۰/۹	۱/۷۷	۲۰-۲۷/۵	
۱۶/۹۵	۱۱/۵۲	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۳۸	۰/۱۸	۱/۹۶	۹/۳۳	۲۷/۵-۳۵	
۶۱/۳۶	۴۴/۳۱	۰	۰/۰۱۸	۰/۰۸۴	۰/۳۷	۱/۴	۱۴/۷۷	۲۷/۶۷	۳۵-۴۲	
۸۰/۹۶	۱۹/۷	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۳۱	۰/۰۹۳	۰/۲۵	۴/۲۹	۱۵/۰۵	۴۲-۴۹	
۱۰۰	۱۹	۰	۰	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۲۶	۱۸/۷۵	۴۹-۵۷	
۱۰۰	---	۰	۰/۰۲۲	۰/۱۳	۰/۵۶	۲/۰۴	۲۳/۱۲	۷۴/۱۳	جمع	دمای میانگین ماه ژوئیه (سانتی گراد)
۰/۹۳	۰/۹۳	۰	۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱	۰/۰۱۳	۰/۲۵	۰/۶۵	۷/۲-۱۱/۷	
۲/۳۶	۱/۴۳	۰	۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۵	۰/۰۵	۰/۴۴	۰/۹۲	۱۱/۷-۱۶/۳	
۴/۷۳	۲/۳۷	۰	۰	۰/۰۰۱۵	۰/۰۱۶	۰/۰۵	۰/۶۹	۱/۶۲	۱۶/۳-۲۱	
۸/۲۹	۳/۵۶	۰	۰	۰/۰۰۶	۰/۰۲۲	۰/۱۱	۰/۹۴	۲/۴۸	۲۱-۲۵/۳	
۷۱/۳۳	۶۳/۰۴	۰	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۱۴	۰/۴۵	۷/۶۲	۵۴/۷۴	۲۵/۳-۳۰	
۹۳/۸۲	۲۲/۴۹	۰	۰	۰/۰۳	۰/۱۸	۰/۸۵	۱۰/۰۶	۱۱/۳۶	۳۰-۳۴/۳	
۱۰۰	۶/۱۸	۰	۰	۰/۰۱۳	۰/۱۸	۰/۵۱	۳/۱۲	۲/۳۶	۳۴/۳-۳۹	
۱۰۰	---	۰	۰/۰۲	۰/۱۳۴	۰/۵۶	۲/۰۳	۲۳/۱۲	۷۴/۱۳	جمع	



طبقات بارش ماه ژوئن و NDVI ماه اوت در جدول شماره دو نشان می‌دهد مقدار بارش در این فصل کمتر از ۰/۵ میلی‌متر و ناچیز است و فقط می‌تواند به تلطیف هوا کمک کند. مقدار NDVI بالاتر از ۱۹۵ (مراعات متراکم) در این ماه کمتر یافت می‌شود. در مجموع، از درصد نقاط بالاتر از ۱۳۵ که به پوشش گیاهی کم تا متراکم مربوط است - خیلی کم می‌شود و بر درصد نقاط بدون پوشش افزوده می‌شود که به دلیل خشکی این ماه است. در این جدول رطوبت نسبی میانگین ماه ژوئیه و NDVI ماه اوت طبقه‌بندی شده است که اثر بیش از ۲۸ درصدی رطوبت را بر NDVI نشان می‌دهد. اما در مقادیر رطوبتی بالاتر از ۴۹ درصد پوشش گیاهی به صفر رسیده است و این نشان می‌دهد به دلیل کمبود بارش و دمای بالا، رطوبت زیاد نیز نتوانسته است بر رشد پوشش گیاهی تأثیر بگذارد.

طبقات دمای میانگین ماه ژوئیه و NDVI ماه اوت (جدول ۲) هم نشان‌دهنده این است که بیشترین درصد نقاط پوشش گیاهی در طبقه دمایی ۲۵ تا ۳۳ درجه قرار دارد. در طبقات بالاتر و پایین‌تر از این مقدار دما، از درصد نقاط پوشش گیاهی کم می‌شود. یکی دیگر از دلایل همبستگی کم در این ماه، توزیع نامتعادل نقاط NDVI با توزیع دما، رطوبت و بارش کم است و در مجموع نقاط دارای پوشش گیاهی متراکم یافت نمی‌شود.

۲-۳- مرابع با تراکم متوسط (۲۵-۵۰ درصد)

در مرابع با تراکم متوسط اوج همبستگی بارش ماه مارس و دما و رطوبت نسبی ماه آوریل با NDVI ماه مه مربوط است و این اوج نسبت به مرابع کم‌تراکم با دو ماه تأخیر اتفاق می‌افتد. ارتفاع متوسط این طبقه از مرابع (۱۶۹۳ متر) بیشتر از مرابع کم‌تراکم (۱۲۳۸ متر) است. کمترین مقدار همبستگی نیز در ماه آوریل است که احتمالاً به دلیل تأثیرات زمستان و سبزی‌نگی کم است. در درجه دوم نیز کمترین مقدار به فصل خشک و ماه اوت مربوط است.

۱-۲-۳- در شرایط همبستگی زیاد

در مرابع با تراکم متوسط هنگام همبستگی زیاد، بارش ماه مارس با NDVI مه (جدول ۳) نشان‌دهنده افزایش تأثیرات بارش ۳۸ تا ۱۰۸ میلی‌متر در منطقه زاگرس است. ملاحظه می‌شود که بارش بیش از ۱۰۸ میلی‌متر مقادیر NDVI مربوط به پوشش گیاهی تنک تا متراکم (بالای مقدار ۱۳۵) به صفر می‌رسد و از تأثیر بارش کمتر از ۲۱ میلی‌متر بر پوشش گیاهی به‌طور قابل توجهی کم می‌شود.

جدول ۳ طبقه‌بندی عناصر اقلیمی و NDVI در مراتع با تراکم متوسط (۵۰-۲۵ درصد)

شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده (NDVI) ماه مه										عناصر اقلیمی
مقادیر تجمعی	جمع	متراکم		تراکم متوسط		کم تراکم		بدون پوشش گیاهی		
		۲۳۵-۲۵۵	۲۱۵-۲۳۵	۱۹۵-۲۱۵	۱۷۵-۱۹۵	۱۵۵-۱۷۵	۱۳۵-۱۵۵	۰-۱۳۵	طبقات	
۰/۸۹	۰/۸۹	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۹	۰/۰۶۳	۰/۱۴	۰/۶۷	۳/۶-۲۱	بارش ماه مارس (میلی متر)
۱۳/۵۲	۱۲/۶۳	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۲۸	۰/۱۳	۱/۱	۳/۶۷	۷/۷	۲۱-۳۸	
۳۸/۹۶	۲۵/۴۴	۰	۰/۰۰۵	۰/۱۲	۰/۵۸	۳/۳۸	۸/۸۹	۱۲/۴۶	۳۸-۵۶	
۶۵/۶۱	۲۶/۶۵	۰	۰/۰۰۹	۰/۲۹	۱/۷۶	۴/۶۶	۷/۴۶	۱۲/۴۷	۵۶-۷۳	
۸۳/۱۷	۱۷/۵۶	۰	۰	۰/۲۴	۲/۰۹۸	۴/۲۴	۲/۱	۸/۸۸	۷۳-۹۰	
۹۵/۴۲	۱۲/۲۵	۰	۰/۰۰۷	۰/۶۷	۲/۳۶	۱/۶۲	۱/۷۴	۵/۸۵	۹۰-۱۰۸	
۱۰۰	۴/۶۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰/۲۱	۴/۴	۱۰۸-۱۲۵	
۱۰۰	---	۰	۰/۰۲۵	۱/۳۵	۶/۹۴	۱۵/۰۶	۲۴/۲	۵۲/۴۳	جمع	
۰/۱۳	۰/۱۳	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۱	۹-۱۷	رطوبت نسبی میانگین ماه آوریل (درصد)
۰/۷۸	۰/۶۵	۰	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۰۶۲	۰/۰۹	۰/۴۸	۱۷-۲۵	
۲/۲۶	۱/۴۸	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۱۷	۰/۰۲۹	۱/۱۷	۲۵-۳۳	
۵/۴	۳/۱۴	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۸	۰/۱۹	۰/۳۵	۰/۶	۱/۹۸	۳۳-۴۱	
۱۰/۶۹	۵/۲۹	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۴۲	۰/۳۴	۰/۷۳	۱/۲۱	۲/۹۷	۴۱-۴۹	
۷۹/۳۳	۶۸/۶۴	۰	۰/۰۰۷	۰/۲۴	۱/۵۲	۷/۰۶	۱۹/۷۴	۴۰/۰۷	۴۹-۵۷	
۱۰۰	۲۰/۴	۰	۰/۰۱	۱/۰۱	۴/۷۹	۶/۶۹	۲/۲۶	۵/۶۵	۵۷-۶۵	
۱۰۰	---	۰	۰/۰۲۳	۱/۳۵	۶/۹۴	۱۵/۰۷	۲۳/۹۵	۵۲/۴۲	جمع	
۰/۱۳	۰/۱۳	۰	۰	۰/۰۰۲	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷	۰/۰۱۴	۰/۰۹۹	۱/۷-۵	دمای میانگین ماه آوریل (سانتی گراد)
۰/۷۷	۰/۶۴	۰	۰	۰/۰۰۵	۰/۰۲۶	۰/۰۷	۰/۰۹۱	۰/۴۵	۵-۸/۳	
۲/۴۹	۱/۷۲	۰	۰	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۸	۰/۲۸	۱/۱۴	۸/۳-۱۲	
۵/۵۱	۳/۰۲	۰	۰/۰۰۴	۰/۰۱۶	۰/۲۳	۰/۴۴	۰/۵۸	۱/۷۵	۱۲-۱۵	
۱۰/۴۶	۴/۹۵	۰	۰	۰/۰۷	۰/۴۱	۰/۸۶	۱/۰۴	۲/۵۷	۱۵-۱۸	
۷۲/۹۶	۶۲/۵	۰	۰/۰۱۵	۱	۵/۰۸	۱۲/۶۳	۱۸/۲۱	۲۵/۵۶	۱۸-۲۱	
۱۰۰	۲۷	۰	۰/۰۰۴	۰/۲۱	۱/۰۷	۰/۸۷	۳/۹۸	۲۰/۸۷	۲۱-۲۴	
۱۰۰	---	۰	۰/۰۲۳	۱/۳۵	۶/۹۲	۱۵/۰۶	۲۴/۲	۵۲/۴۳	جمع	

درباره تأثیر رطوبت نسبی ماه آوریل بر NDVI ماه مه (جدول ۳) می‌توان گفت رشد پوشش گیاهی با افزایش رطوبت بیشتر می‌شود؛ به این ترتیب نقش مثبت اثر رطوبت نسبی بیش از ۴۰ درصد کاملاً محسوس است. در مقادیر کمتر از ۲۵ درصد از مقدار NDVI کاسته می‌شود. طبقه‌بندی دما



نشان‌دهنده اثر ۱۸ تا ۲۱ درجه‌ای بر رشد پوشش گیاهی است. از آنجا که دما به ماه آوریل یعنی اوایل بهار مربوط است، در مقادیر پایین‌تر از درصد نقاط دارای NDVI به‌طور چشمگیری کاسته می‌شود؛ اما در مقادیر بالاتر از ۲۱ درجه هنوز افزایش پوشش گیاهی را می‌توان دید.

۲-۲-۳- در شرایط همبستگی کم

جدول ۴ طبقه‌بندی عناصر اقلیمی و NDVI در مراتع با تراکم متوسط (۲۰۵-۵۰ درصد)

عناصر اقلیمی	شاخص اختلاف گیاهی نرمال‌شده (NDVI) آوریل									
	بدون پوشش گیاهی		کم تراکم		تراکم متوسط		متراکم		جمع	مقادیر تجمعی
	۰-۱۳۵	۱۳۵-۱۵۵	۱۵۵-۱۷۵	۱۷۵-۱۹۵	۱۹۵-۲۱۵	۲۱۵-۲۳۵	۲۳۵-۲۵۵	۲۵۵-۲۷۵		
بارش ماه فوریه (میلی‌متر)	۰/۱۵	۰/۳۲	۰/۱۲	۰/۰۴	۰/۰۲	۰	۰	۰/۲	۰/۲	۰/۲
	۰/۶۲	۰/۱۷	۰/۱۱	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۰۷	۰	۰/۹۲	۱/۱۲	۱/۱۲
	۱/۱۹	۰/۶۴	۰/۳۵	۰/۱	۰/۱۸	۰/۱۲	۰	۲/۳۲	۳/۴۴	۳/۴۴
	۲/۰۷	۳/۱۴	۱/۸۵	۰/۳	۰/۶۲	۰/۰۹	۰	۷/۴۳	۱۰/۸۷	۱۰/۸۷
	۵/۲۳	۱۴/۸۷	۷/۹۳	۱/۰۹	۰/۳۳	۰/۱۳	۰/۰۴	۲۹/۵۸	۴۰/۴۵	۴۰/۴۵
	۱۴/۶۷	۲۱/۹۷	۸/۹۹	۱/۹۴	۰/۳۵	۰/۵۴	۰/۰۴	۴۷/۹۸	۸۸/۴۳	۸۸/۴۳
	۵	۵/۵۷	۰/۸۳	۰/۱	۰/۳۵	۰/۱۴	۰	۱۱/۵۵	۱۰۰	۱۰۰
	۲۸/۹۳	۴۶/۳۹	۲۰/۰۷	۳/۵۴	۰/۸	۰/۲۳	۰/۰۸	---	۱۰۰	۱۰۰
رطوبت نسبی میانگین ماه مارس (درصد)	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۰۷	۰/۰۴	۰/۰۲	۰	۰	۰/۱۲	۰/۱۲	۰/۱۲
	۰/۴۵	۰/۱	۰/۰۶	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۵	۰	۰/۶۲	۰/۷۴	۰/۷۴
	۱	۰/۴۱	۰/۱۸	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰	۱/۶۸	۲/۴۲	۲/۴۲
	۱/۶۲	۰/۸۹	۰/۴۱	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۷	۰	۳/۰۵	۵/۴۷	۵/۴۷
	۳/۷۸	۱/۹۴	۰/۷۶	۰/۱۹	۰/۰۴	۰/۰۵	۰	۶/۷۲	۱۲/۱۹	۱۲/۱۹
	۱۵/۱۶	۲۹/۱۶	۱۰/۹۳	۱/۸۳	۰/۳۹	۰/۱	۰/۰۴	۵۷/۵۷	۶۹/۷۶	۶۹/۷۶
	۶/۸	۱۳/۸۶	۷/۷۴	۱/۳۶	۰/۳۴	۰/۹۳	۰/۰۴	۳۰/۱۲	۱۰۰	۱۰۰
	۲۸/۹	۴۶/۳۸	۲۰/۰۹	۳/۵۵	۰/۸	۰/۲۲	۰/۰۸	---	۱۰۰	۱۰۰
دمای میانگین ماه مارس (سانتی‌گراد)	۰/۱	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۴	۰	۰	۰	۰/۱۴	۰/۱۴	۰/۱۴
	۰/۳۲	۰/۲	۰/۰۲	۰	۰	۰	۰	۰/۵۴	۰/۶۸	۰/۶۸
	۱/۹۵	۱/۲۴	۰/۲۱	۰/۰۳	۰/۰۴	۰	۰	۳/۴۳	۴/۱۱	۴/۱۱
	۳/۸۸	۴/۸۳	۲/۴۴	۰/۴۶	۰/۰۴	۰/۱۲	۰	۱۱/۶۶	۱۵/۷۷	۱۵/۷۷
	۷/۶۸	۱۲/۳۵	۷/۸۴	۱/۷۹	۰/۳۳	۰/۰۴	۰	۳۰/۰۳	۴۵/۸	۴۵/۸
	۵/۵۴	۱۳/۱۳	۷/۸	۰/۹۲	۰/۳۴	۰/۱۵	۰/۰۷	۲۷/۸۹	۷۳/۷	۷۳/۷
	۹/۴۵	۱۴/۶	۱/۷۸	۰/۳۴	۰/۱	۰/۰۲	۰	۲۶/۳	۱۰۰	۱۰۰
	۲۸/۹۲	۴۶/۳۸	۲۰/۰۹	۳/۵۴	۰/۸	۰/۲۲	۰/۰۷	---	۱۰۰	۱۰۰

در مراتع با تراکم متوسط با همبستگی کم، مقادیر طبقه‌بندی‌شده بارش ماه فوریه و NDVI آوریل در جدول شماره چهار نشان داده شده است. در این سطح از تراکم، توزیع بارش بین ۱۸ تا ۱۷۶ میلی‌متر است و در مقادیر کم بارش درصد نقاط دارای پوشش گیاهی ناچیز است. اما با افزایش بارش سطح تراکم پوشش گیاهی بیشتر می‌شود؛ به گونه‌ای که تقریباً ۵۳ درصد نقاط دارای NDVI به بارش ۱۰۸ تا ۱۵۳ میلی‌متر پاسخ می‌دهند. با افزایش بارش به بیش از ۱۵۳ میلی‌متر، درصد تراکم NDVI به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد.

رطوبت نسبی ماه مارس با NDVI ماه آوریل (جدول ۴) نشان می‌دهد با افزایش رطوبت به بالای ۴۰ درصد، مقدار همبستگی با نقاط دارای پوشش گیاهی بیشتر می‌شود. حدود ۶۵ درصد نقاط پوششی در رطوبت بالای ۴۰ درصد قرار گرفته‌اند که حاکی از اثر مثبت رطوبت بر تلطیف برگ است. طبقات دمای میانگین ماه آوریل با NDVI گویای تأثیر مثبت دما بر رشد گیاه است. از دمای ۹ درجه به پایین رشد گیاه به کمترین حد ممکن می‌رسد. اما با افزایش دما به بیش از ۱۲ درجه رشد پوشش گیاهی زیاد می‌شود. تأثیر عناصر اقلیمی بر گیاه توأمان است؛ به این معنا که افزایش نقش هر عنصر اقلیمی در گرو وجود حداقلی عنصر دیگر است. برای مثال اگر دمای رشد مهیا باشد، ولی بارش به اندازه کافی نباشد، با افزایش دما رشد متوقف می‌شود. در مورد بارش نیز این مسئله صادق است؛ به این معنا که با افزایش بارش در نبود دمای کافی، در رشد پوشش گیاهی تغییری به وجود نمی‌آید که روابط یادشده در این مطالعه صادق است. رطوبت نسبی تا حد زیادی از بارش متأثر است؛ هرچند در موارد غیر از بارش، رطوبت هوا می‌تواند بر رشد پوشش گیاهی تأثیرگذار باشد.

۳-۳- مراتع متراکم (۵۰-۷۵ درصد)

در مراتع متراکم به دلیل قرارگرفتن در ارتفاعات بالای زاگرس، بیشترین مقدار همبستگی نخست در ماه مه و سپس در ماه ژوئن، یعنی فصل بهار است. کمترین مقدار همبستگی هم در ماه فوریه و مارس است. دلیل این امر سرمای زمستان و وجود پوشش برف روی زمین است که پوشش گیاهی را به حالت خواب می‌برد. فصل تابستان (خشکی هوا) در درجه دوم قرار دارد و دلیل آن، اثر دمای بالاتر در نبود بارش است. رشد در این فصل سال به کمترین حد



ممکن می‌رسد. ارتفاع متوسط این دسته از مراتع ۲۲۲۵/۵ متر است.

۳-۳-۱- در شرایط همبستگی زیاد

جدول ۵ طبقه‌بندی عناصر اقلیمی و NDVI در مراتع متراکم (۵۰-۷۵ درصد)

عناصر اقلیمی	شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده (NDVI) ماه مه									
	بدون پوشش گیاهی		کم تراکم		تراکم متوسط		متراکم		جمع	مقادیر تجمعی
	طبقات	۰-۱۳۵	۱۵۵	۱۷۵	۱۹۵	۲۱۵	۲۳۵	۲۵۵		
بارش ماه مارس (میلی متر)	۱۰-۲۶	۱/۲	۰/۸۶	۰/۲۷	۰/۱۳	۰	۰	۰	۲/۴۶	۲/۴۶
	۲۶-۴۳	۲/۷۱	۲/۸۶	۱/۳۳	۰/۴۱	۰/۰۸	۰/۰۰۶	۰	۷/۳۹	۹/۸۶
	۴۳-۵۹	۴/۲۳	۱۲/۱۳	۴/۴۵	۰/۸۶	۰/۱۶	۰	۰	۲۱/۸۳	۳۱/۶۹
	۵۹-۷۶	۱۱/۱۸	۱۵/۶۶	۵/۷۹	۱/۸۸	۰/۲۸	۰	۰	۳۴/۷۹	۶۶/۸۳
	۷۶-۹۲	۳/۷۳	۳/۵۶	۱/۸۷	۱/۰۲	۰/۱۷	۰	۰	۱۰/۳۵	۷۶/۸۲
	۹۲-۱۰۹	۰/۳۸	۱/۴۶	۸/۲۱	۱۰/۵۷	۱/۵۹	۰	۰	۲۲/۲	۹۹/۰۴
	۱۰۹-۱۲۵	۰/۰۷۴	۰	۰/۱۶	۰/۶۲	۰/۱۴	۰	۰	۰/۹۹	۱۰۰
رطوبت نسبی میانگین ماه آوریل (درصد)	جمع	۲۳/۵	۳۶/۵۳	۲۲/۰۸	۱۵/۵	۲/۴۲	۰/۰۰۶	۰	---	۱۰۰
	۱۲-۲۰	۰/۵	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰۹۲	۰	۰	۰	۰/۹۸	۰/۹۸
	۲۰-۲۸	۱/۲۲	۰/۸۹	۰/۴۳	۰/۲۲	۰/۰۳	۰/۰۰۶	۰	۲/۷۹۶	۳/۷۸
	۲۸-۳۵	۱/۵۹	۱/۵۲	۰/۹۶	۰/۳۵	۰/۰۷	۰	۰	۴/۴۹	۸/۲۷
	۳۵-۴۲	۲/۱۲	۲/۲	۱/۲۷	۰/۵۹	۰/۰۷	۰	۰	۶/۲۵	۱۴/۵۲
	۴۲-۵۰	۲/۳۴	۳/۲۳	۱/۹۶	۰/۸۳	۰/۱۲	۰	۰	۸/۴۸	۲۲/۹۹
	۵۰-۵۷	۱۴/۸۵	۲۶/۱	۸/۷۶	۲/۳۴	۰/۳۹	۰	۰	۵۲/۴۴	۷۵/۴۴
دمای میانگین ماه آوریل (سانتی گراد)	۵۷-۶۵	۰/۸۸	۲/۳	۸/۵۸	۱۱/۰۸	۱/۷۲	۰	۰	۲۴/۵۶	۱۰۰
	جمع	۲۳/۵	۳۶/۵۱	۲۲/۰۸	۱۵/۵	۲/۴	۰/۰۰۶	۰	---	۱۰۰
	۲-۵	۰/۵	۰/۲۷	۰/۱۲	۰/۰۹۳	۰	۰	۰	۰/۹۸	۰/۹۸
	۵-۸	۱/۱۷	۰/۸۱	۰/۴۲	۰/۲۵	۰/۰۴	۰/۰۰۶	۰	۲/۷	۳/۶۸
	۸-۱۱	۱/۵	۱/۵۵	۱/۱	۰/۴۱	۰/۰۷	۰	۰	۴/۶۳	۸/۳۱
	۱۱-۱۴	۱/۹۷	۲/۰۹	۱/۳۲	۰/۶۸	۰/۱	۰	۰	۶/۱۶	۱۴/۴۷
	۱۴-۱۷	۲/۳	۲/۹۸	۲/۰۴	۰/۹۳	۰/۰۹۹	۰	۰	۸/۳۵	۲۲/۸۲
جمع	۱۷-۲۰	۶/۱	۱۶/۶۷	۹/۷۹	۴/۲۱	۰/۶۹	۰	۰	۳۷/۴۶	۶۰/۳۸
	۲۰-۲۲	۹/۹۴	۱۲/۱۴	۷/۲۹	۸/۹۲	۱/۴۱	۰	۰	۳۹/۷	۱۰۰
	جمع	۲۳/۴۸	۳۶/۵۱	۲۲/۰۸	۱۵/۵	۲/۴۱	۰/۰۰۶	۰	---	۱۰۰

مراعات متراکم زاگرس در بیشترین ارتفاع نسبت به بقیه سطوح تراکم قرار گرفته است. به دلیل خاک‌های کم‌عمق و حالت صخره‌ای این مناطق، مقدار تراکم NDVI تقریباً بالاتر از ۲۱۵ یافت نمی‌شود. براساس داده‌های جدول شماره پنج، رشد پوشش گیاهی از مقدار تقریبی بارش ۳۳ میلی‌متر افزایش قابل توجهی یافته و تا بارش ۱۰۹ میلی‌متر ادامه داشته است؛ اما با افزایش بارش از مقدار یادشده، پاسخ NDVI کاهش یافته است که از تأثیر بارش تا حد معینی حکایت دارد. طبقات رطوبت نسبی میانگین ماه آوریل (جدول ۴) نشان می‌دهد با افزایش رطوبت نسبی به بالای ۵۰ درصد، مقدار NDVI افزایش یافته است. بیش از ۳۵ درصد نقاط دارای پوشش گیاهی به رطوبت ۵۰ تا ۵۷ درصد و تقریباً ۲۴ درصد نقاط به رطوبت ۵۷ تا ۶۵ درصد واکنش مثبت نشان داده‌اند. طبقات دمای میانگین ماه آوریل با NDVI ماه در جدول شماره چهار گویای این است که افزایش دما باعث افزایش NDVI می‌شود. از آنجا که ماه مه به اوایل بهار مربوط است و بارش به قدر کافی برای رشد پوشش گیاهی فراهم بوده است، پاسخ NDVI به دما در مقادیر بالاتر رخ داده و از دمای ۱۷ درجه سانتی‌گراد به بالا درصد نقاط دارای پوشش گیاهی افزایش قابل توجهی یافته است و تا بالاترین دمای منطقه (۲۲°) مشاهده می‌شود. اما از دمای ۵ درجه سانتی‌گراد به پایین نقش دما به حد صفر رسیده است.

۲-۳-۳- در شرایط همبستگی کم

در مراعات متراکم زاگرس کمترین مقدار همبستگی در عناصر اقلیمی بارش ماه دسامبر و NDVI فوریه به مقدار ۰/۲۳ رخ داده است (جدول ۶). دلیل این امر ممکن است بارش برف در ارتفاعات زاگرس، دمای پایین و در نتیجه نبود رشد پوشش گیاهی باشد. بر اساس داده‌های جدول شماره شش، مقادیر NDVI بالای ۱۹۵ مشاهده نمی‌شود که مربوط به پوشش گیاهی متراکم است. حتی درصد نقاط NDVI بالای ۱۵۵ نیز خیلی کم است و در مجموع نقاط دارای پوشش گیاهی ناچیز است. هرچند بارش بین ۷-۱۲۷ میلی‌متر بوده، به دلیل فراهم نبودن دیگر شرایط اقلیمی، بارش بر رشد گیاه تأثیری نداشته است. رطوبت نسبی میانگین نیز همانند بارش بر NDVI تأثیر قابل توجهی نداشته و این ناشی از پایین بودن دمای منطقه است. طبقات دمای میانگین ژانویه و NDVI فوریه (جدول ۶) نشان می‌دهد در مقادیر منفی نقاط دارای پوشش



گیاهی مشاهده نمی‌شود. پایین بودن دما در این ایام از سال باعث شده است رشد پوشش گیاهی متوقف شود.

جدول ۶ طبقه‌بندی عناصر اقلیمی و NDVI در مراتع متراکم (۵۰-۷۵ درصد)

شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده (NDVI) ماه فوریه									
عناصر اقلیمی	بدون پوشش گیاهی	کم تراکم		تراکم متوسط		متراکم		جمع	مقادیر تجمعی
		-۱۳۵	-۱۵۵	-۱۷۵	-۱۹۵	-۲۱۵	-۲۳۵	-۲۵۵	
بارش ماه دسامبر (میلی‌متر)	۷-۲۵	۰/۶۷	۰/۴۹	۰/۰۵	۰	۰	۰	۰	۱/۲
	۲۵-۴۲	۱/۴۳	۱/۵۶	۰/۰۹۹	۰/۰۱۲	۰	۰	۰	۴/۳
	۴۲-۵۹	۲/۱	۳/۱۴	۰/۲۷	۰/۰۱۹	۰	۰	۰	۹/۸۴
	۵۹-۷۶	۲/۴۹	۵/۰۲	۰/۶۸	۰/۰۹	۰	۰	۰	۱۸/۱۲
	۷۶-۹۳	۸/۹۵	۱۹/۵۳	۰/۳۳	۰/۰۰۶	۰	۰	۰	۴۶/۹۴
	۹۳-۱۱۰	۶/۱۱	۲۰/۶۸	۰/۴۴	۰	۰	۰	۰	۷۴/۱۷
	۱۱۰-۱۲۷	۴/۳	۲۰/۹۴	۰/۵۳	۰/۰۳	۰	۰	۰	۱۰۰
	جمع	۲۶/۰۵	۷۱/۳۶	۲/۴	۰/۱۶	۰	۰	۰	۱۰۰
رطوبت نسبی میانگین ماه ژانویه (درصد)	۱۴/۵-۲۴	۰/۴۷	۰/۳۶	۰/۰۳۷	۰	۰	۰	۰	۰/۸۷
	۲۴-۳۳/۵	۱/۲۳	۱/۲۳	۰/۰۶۸	۰/۰۰۶	۰	۰	۰	۳/۴
	۳۳/۵-۴۳	۱/۶۷	۲/۴۴	۰/۰۸	۰/۰۰۶	۰	۰	۰	۷/۶
	۴۳-۵۲/۵	۲/۱	۳/۴۷	۰/۱۹	۰/۰۱۲	۰	۰	۰	۱۳/۳۷
	۵۲/۵-۶۲	۲/۲۷	۴/۸۹	۰/۲	۰/۰۳	۰	۰	۰	۲۰/۷۶
	۶۲-۷۱/۵	۴/۰۲	۱۳/۳	۱/۰۴	۰/۰۷	۰	۰	۰	۳۹/۱۹
	۷۱/۵-۸۱	۱۴/۳	۴۵/۶۷	۰/۷۸	۰/۰۳	۰	۰	۰	۱۰۰
	جمع	۲۶/۰۶	۷۱/۳۶	۲/۴	۰/۱۵	۰	۰	۰	۱۰۰
دمای میانگین ماه ژانویه (سانتی‌گراد)	-۷ - -۴	۰/۲	۱/۳۵	۰	۰	۰	۰	۰	۱/۵۴
	-۴ - -۲	۱/۱۵	۳/۱	۰	۰	۰	۰	۰	۵/۸
	-۲ - ۱	۳/۴۶	۱۲/۴۲	۰/۵۷	۰/۰۰۶	۰	۰	۰	۲۲/۲۶
	۱-۳/۵	۱۱	۲۱/۹۵	۰/۳	۰/۰۲۵	۰	۰	۰	۵۵/۵۳
	۳/۵-۶	۷/۱۶	۱۵/۳	۰/۲	۰/۰۱۲	۰	۰	۰	۷۸/۲
	۶-۸/۵	۲/۹۹	۱۶/۵	۰/۵۲	۰/۰۵	۰	۰	۰	۹۸/۲۷
	۸/۵-۱۱	۰/۱۴	۰/۷۲	۰/۸	۰/۰۶۸	۰	۰	۰	۱۰۰
	جمع	۲۶/۰۱	۷۱/۳۴	۲/۴	۰/۱۶	۰	۰	۰	۱۰۰

۴-۳- مقایسه نتایج

جدول شماره هفت آستانه‌های مؤثر عناصر اقلیمی را برای پاسخ NDVI نشان می‌دهد. براساس داده‌های این جدول، مقادیر اقلیمی بر حسب مقدار تراکم و ماه مورد مطالعه متفاوت است. تقریباً رطوبت نسبی بالای ۴۰ درصد، آستانه پاسخ افزایش NDVI است. اما دما بر حسب فصل تفاوت دارد. برای مثال در مراتع کم‌تراکم به دلیل اینکه بیشترین مقدار همبستگی در ماه مارس رخ داده، دمای یک ماه قبل (فوریه) که بر رشد مراتع مؤثر بوده، ۴ درجه سانتی‌گراد برآورد شده است؛ اما در مراتع نیمه‌متراکم و متراکم همبستگی زیاد در ماه مه رخ داده و دمای ۱۷ و ۱۸ درجه سانتی‌گراد برای رشد گیاه مؤثرتر بوده است؛ برای بارش نیز همین وضعیت حاکم است.

جدول ۷ آستانه‌های اقلیمی در مراتع زاگرس

متغیرها مراتع	R ²	بارش (mm)	دما (°C)	رطوبت نسبی (%)
مراتع کم‌تراکم	زیاد	۲۲۰	۴	۵۰
	کم	ناچیز	۲۵-۳۳	۲۸
مراتع نیمه‌متراکم	زیاد	۳۸	۱۸	۴۰
	کم	۱۰۸-۱۵۳	۱۲	۴۰
مراتع متراکم	زیاد	۳۳-۱۰۹	۱۷	۵۰
	کم	۱ درجه به بالا	۹۳	۷۰

۴- نتیجه‌گیری

بالاترین مقدار R² در مراتع متراکم (۰/۶۴۷۸) و کمترین مقدار R² در مراتع کم‌تراکم (۰/۱۳۶) است و دلیل آن، اختلاف در توزیع بارش و دما نسبت به ارتفاع و فصل بارش است. در مراتع کم‌تراکم در شرایط همبستگی زیاد، افزایش به بیش از ۲۲۰ میلی‌متر، از مقدار NDVI می‌کاهد و با افزایش بارش از حساسیت پوشش گیاهی نسبت به آن کم می‌شود؛ اما با افزایش رطوبت نسبی بر مقدار NDVI افزوده می‌شود. تأثیر افزایش رطوبت نسبی بالای ۵۰ درصد بر پوشش گیاهی چشمگیر است و به نقش رطوبت در تلطیف هوا و برگ مربوط می‌شود. دمای تقریبی ۴



درجه سانتی‌گراد آستانه واکنش رشد پوشش گیاهی نسبت به دماست؛ به طوری که با افزایش دمای میانگین، بر مقدار NDVI افزوده می‌شود. در حالت R^2 کم، اثر بارش بر مراتع کم‌تراکم ناچیز است و به بارش کم، دمای بالا و توقف رشد گیاه در ماه اوت مربوط می‌شود. رطوبت نسبی بیش از ۲۸ درصد بر افزایش NDVI اثر مثبتی داشته؛ اما در مقادیر بالاتر از ۴۹ درصد پوشش گیاهی به حد صفر رسیده است. به دلیل کمبود بارش و دمای بالا، تأثیر رطوبت بالا نتوانسته است بر سبزیگی پوشش گیاهی تأثیر بگذارد. بیشترین درصد نقاط NDVI ماه اوت در طبقه دمایی ۲۵ تا ۲۹ درجه قرار گرفته و نشان‌دهنده دمای بهینه این ماه است. در طبقات بالاتر و پایین‌تر از آن، تعداد نقاط دارای پوشش گیاهی کم می‌شود.

در مراتع نیمه‌متراکم با حالت همبستگی زیاد، تأثیر بارش بیش از ۱۰۸-۳۸ میلی‌متر را بر پوشش گیاهی نشان می‌دهد. تقریباً در بارش بیش از ۱۰۸ میلی‌متر مقادیر NDVI به صفر و کمتر از ۳۸ میلی‌متر درصد نقاط به حداقل می‌رسد. افزایش رطوبت نسبی به بالای ۴۰ درصد باعث افزایش رشد پوشش گیاهی می‌شود. در مقادیر کمتر از ۲۵ درصد مقدار NDVI به طور محسوسی کم می‌شود. دمای میانگین تأثیرگذار بر رشد پوشش گیاهی حدود ۱۸ تا ۲۱ درجه محاسبه می‌شود. در حالت همبستگی کم، ۵۳ درصد نقاط پوشش گیاهی به بارش ۱۵۳-۱۰۸ میلی‌متر بهتر پاسخ می‌دهند؛ درحالی که در بالاتر و پایین‌تر از این مقادیر، ضریب همبستگی کم می‌شود. دلیل R^2 کم، تمرکز بالای نقاط پوشش گیاهی در دو طبقه بارشی است. همچنین NDVI کمتر از ۱۳۵ حاکی از نقاط بدون پوشش گیاهی است و از سرمای زمستان و نبود رشد پوشش گیاهی حکایت دارد. رطوبت نسبی میانگین بالای ۴۰ درصد همبستگی بهتری با NDVI دارد و ۶۵ درصد نقاط پوشش گیاهی به این مقدار رطوبت به بالا پاسخ می‌دهند. به دلیل سرمای زمستانی، با افزایش دما درصد نقاط NDVI افزایش می‌یابد و از ۱۲ درجه سانتی‌گراد به بالا اثر دما محسوس می‌شود. پایین‌تر از ۹ درجه از مقدار NDVI بسیار کاسته می‌شود.

در مراتع متراکم با حالت همبستگی زیاد، بارش بالای ۳۳ میلی‌متر باعث افزایش NDVI می‌شود و تا ۱۰۹ میلی‌متر نیز ادامه می‌یابد. اما در مقادیر بالاتر، از اثر بارش بر افزایش NDVI کاسته می‌شود. همچنین افزایش رطوبت نسبی بر افزایش NDVI نقش مؤثری دارد و بهترین

حالت در رطوبت بالای ۵۰ درصد مشاهده می شود. رشد پوشش گیاهی از دمای ۱۷ درجه سانتی گراد تا بالاترین دما (۲۲°) با افزایش همراه است. در حالت همبستگی کم، مقادیر NDVI بالای ۱۵۵ خیلی کم و در مجموع نقاط دارای پوشش گیاهی ناچیز است. به دلیل پایین بودن دما در این ایام سال (زمستان) رشد پوشش گیاهی متوقف می شود. بارش برف در ارتفاعات زاگرس، دمای پایین و در نتیجه نبود واکنش پوشش گیاهی در فصل سرد سال، باعث همبستگی خیلی کم عناصر اقلیمی با NDVI می شود.

با توجه به نوسان های اقلیمی و همچنین ماه های مختلف سال، مقادیر متفاوت است و با تغییر یک عنصر اقلیمی، آستانه های اقلیمی نسبت به ارتفاع تغییر می کند. این تحقیق تنها در دوره شروع رشد و توقف رشد به تحلیل آستانه های اقلیمی پرداخته است و فقط برای منطقه زاگرس صادق است.

۵- منابع

- اختری، روح انگیز، محمدحسین مهدیان و سعید مرید. (۱۳۸۵). «تحلیل مکانی خشک سالی SPI و EDI در استان تهران». *تحقیقات منابع آب ایران*. س ۲. ش ۳. صص ۲۷-۳۸.
- باعقیده، محمد. (۱۳۸۶). *بررسی و پایش خشک سالی های استان اصفهان با استفاده از تصاویر چندزمان های NOAA/AVHRR شاخص NDVI و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)*. رساله دکتری. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- جوی زاده، سعید. (۱۳۸۴). *پایش خشک سالی در استان فارس با استفاده از نمایه های خشک سالی، داده های RS و GIS*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت معلم تهران.
- طاهرزاده، علی. (۱۳۸۵). *تحلیل خشک سالی با استفاده از تکنولوژی GIS و سنجش از دور در حوضه آبریز میناب*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه تربیت مدرس.
- مرادزاده، نسترن. (۱۳۸۳). *بررسی وضعیت پوشش گیاهی دشت تبریز (آذربایجان شرقی) جهت تعیین روند دوره های خشک سالی یا ترسالی با استفاده از تصاویر ماهواره ای*. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.



- Baker, M. J. (2003). The Marketing Book. 5th Edition. Oxford. OX2 8DP, (Google Book Online).
- Dale, V. H., L. A. Joyce, S. McNulty & R. P. Neilson. (2000). the Interplay Between Climate Change, Forest, and Disturbances, Science of the Total Environment, 262: PP. 201–204.
- Diodato, N. & G. Bellocchi. (2007). Modelling Vegetation Greenness Responses to Climate Variability in a Mediterranean Terrestrial Ecosystem, Environ Monit Assess, DOI 10.1007/s10661-007-9964-z. Springer Science, PP. 1-13.
- Holben, B. N. (1986). "Characteristics of Maximum-Value Composite Images from Temporal AVHRR data". *International Journal of Remote Sensing*. 7, PP: 1417– 1434.
- Kawabata, A., K. Ichii & Y. Yamaguchi. (2001). "Global Monitoring of Interannual Changes in Vegetation Activities Using NDVI and its Relationships to Temperature and Precipitation". *Int. J. Remote Sensing*. 22: PP.1377–1382.
- Milich, L., & E. Weiss. (2000). "GAC NDVI Images: Relationship to Rainfall and Potential Evaporation in the Grazing lands of The Gourma (Northern Sahel) and in the Croplands of the Niger- Nigeria Border (Southern Sahel)". *International Journal of Remote Sensing*, 21: PP. 261-280.
- Myneni, R. B., C. D. Keeling, C. J. Tucker, G. Asrar& R. Nemani. (1997). Increase plant Growth in the North High Latitudes from 1981–1991. *Nature*, 386: PP. 698–702.
- Richards, Y. & I. Pocard. (1998). "A Statistical Study of NDVI Sensitivity to Seasonal and Interannual Rainfall Variations in Southern Africa". *International Journal of Remote Sensing*. 19 (15).

- Saugier, B. (1996). Vegetation et Atmosphère. (France: Dominos Flammarion), P. 107.
- Schultz, P. A & M. S. Halpert. (1995). Global Correlation of Temperature, NDVI and Precipitation, Advance in Space Research, 13: PP. 277–280.
- YU, F., K. P. PRICE, R. LEE & J. ELLIS. (2000). Analysis of the Relationships between Climatic Variation and Seasonal Grassland Development in Central Asia, Proceeding of the Annual ASPRS Meetings, Washington DC, 22–26 May, 11PP.