



مدل سازی مناسب ترین شاخص های پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ مطالعه موردی: جنگل فریم

سیده کوثر حمیدی^۱ اصغر فلاح^۲
نسترن نظریانی^۳

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۱/۰۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۱۲

چکیده

تغییر اقلیم تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر محیط زیست دارد و منجر به حساسیت متفاوت پوشش گیاهی به عوامل آب و هوایی در مقیاس های مکانی - زمانی مختلف می شود. آگاهی از وضعیت پوشش گیاهی به دلیل کاربرد در برنامه ریزی های خرد و کلان در حال حاضر از ارکان مهم در تولید اطلاعات است. با توجه به پرهزینه و زمان بر بودن استفاده از روش های مبتنی بر مشاهدات، امروزه فناوری سنجش از دور به عنوان راهکار جدید در بهبود این روش ها مطرح شده است. در پژوهش پیش رو هدف، بررسی اثر عوامل اقلیمی بر روند پوشش گیاهی جنگل فریم در استان مازندران با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ و تعیین مناسب ترین شاخص برای این منطقه است. به منظور مدل سازی از فاکتورهای اقلیمی (درجه حرارت و بارندگی) مربوط به منطقه به دست آمده از نزدیک ترین ایستگاه هواشناسی مربوط، استفاده شد. بعد از پیش پردازش و پردازش تصاویر سنتینل ۲ ارزش های رقومی متناظر از باندهای طیفی استخراج و به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شد. رابطه درجه حرارت و بارندگی با شاخص های پوشش گیاهی با ضریب همبستگی ۰/۴۳ و ۰/۵۶ و میزان AIC و BIC به ترتیب (۵۶۵ و ۳۲۰۹) و (۷۳۹ و ۳۳۸۳) به دست آمد. همچنین نتایج نشان داد بیش ترین اثرگذاری در رابطه با هر دو فاکتور درجه حرارت و بارندگی مربوط به شاخص پوشش گیاهی تفاضلی (DVI) است، که کارایی بالای این شاخص در منطقه را نشان می دهد. با توجه به نتایج فوق، می توان بیان کرد که شاخص مذکور به منظور بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر جنگل مورد مطالعه، انطباق و همبستگی مناسبی دارد.

واژه های کلیدی: ایستگاه هواشناسی، بارندگی، درجه حرارت، تغییر اقلیم، سنتینل ۲، فناوری سنجش از دور

۱- دانش آموز خسته دکتری گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری k.hamidi86@yahoo.com

۲- استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسئول) Fallaha2007@yahoo.com

۳- پژوهشگر پسادکترای گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری nastaran.nazariani@yahoo.com

مقدمه

جنگل‌های شمال ایران از نظر تنوع گونه‌های گیاهی، از غنی‌ترین بوم‌سازگان‌های جنگلی در مناطق معتدل جهان به‌شمار می‌روند. گونه‌های زیادی از درختان و درختچه‌ها به‌طور طبیعی در این جنگل‌ها وجود دارند (Askarizadeh et al., 2018; Bayat et al., 2022). عوامل توپوگرافی (ارتفاع، شیب و جهت) بیشترین تأثیر را در تنوع گیاهی این جنگل‌ها دارند (Hamidi et al., 2022). زیرا ظهور و تکامل پوشش گیاهی نتیجه برخورد و برهم کنش بین عناصر رویشی و عوامل محیطی فیزیکی است. میزان دسترسی به منابع بوم‌شناختی، تغییرات محیط، تنوع خاک و ویژگی‌های اقلیمی هر منطقه جنگلی به ترکیب عوامل فوق بستگی دارد (IPCC 2007). در نتیجه، این احتمال وجود دارد که جمعیت گونه‌های گیاهی در برخی شرایط فیزیوگرافی بیشتر از سایرین باشد. ارتباط کمی بین الگوی پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از دور در مقیاس جهانی و منطقه‌ای است. تغییرات اقلیمی می‌تواند بر شرایط زیست‌شناسی و بوم‌شناختی جوامع گیاهی در سراسر جهان از طریق تغییرات در فصل رشد، فنولوژی، تولید اولیه، توزیع گونه‌ها، فعل و انفعالات بوم‌شناختی، پویایی، ترکیب و تنوع جوامع زیستی و عوامل دیگر تأثیر بگذارد (Heink & Kowarik, 2010). بر این اساس، ارزیابی و ارائه راهکارهایی برای سازگاری با این تغییرات و کاهش خطرات ضروری است (Liang et al., 2005). آگاهی از تغییرات اقلیمی و تأثیر آن بر گونه‌ها و پوشش گیاهی نقش مهمی در برنامه‌های حفاظت و مدیریت پوشش گیاهی دارد (Guan et al., 2018). تغییرات اقلیمی می‌تواند اثرات منفی عواملی مانند تخریب زیستگاه، بهره‌برداری بی‌رویه، گونه‌های مهاجم خارجی و آلودگی را تشدید کند (Liang et al., 2005). بر این اساس پیش‌بینی مقدار پوشش گیاهی برای برنامه‌ریزی در جهت بهره‌برداری و حفاظت آن لازم و ضروری است. بهره‌برداری نیازمند مطالعه و بررسی مقدار و حجم پوشش گیاهی از نظر مکانی و زمانی است. کنترل گیاه می‌تواند از طریق عناصر اقلیمی مؤثر بر رشد گیاه صورت

پذیرد. آب و هوا از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر شرایط پوشش گیاهی است. پراکنش مکانی پوشش گیاهی ارتباط زیادی با شرایط اقلیمی دارد (Právělie et al., 2022). در این راستا، مطالعات متعددی به روند تغییرات پوشش گیاهی بر اساس سناریوهای مختلف اقلیمی پرداخته است (Chen 1996; Guan et al., 2018 and Liang et al., 2005; Hamidi et al., 2022).

مسیر تغییرات جنگل‌ها ناشی از تغییرات آب و هوایی، به گفته بسیاری از پژوهشگران که از شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی (NDVI) استفاده کردند، از طریق ابزارهای سنجش از دوری قابل اعتماد است. بنابراین، شاخص‌های گیاهی یک روش پرکاربرد برای تخمین پوشش گیاهی است (Sagheb-Talebi et al., 2014). سیستم‌های سنجش از دور قابلیت‌های بسیار مناسبی برای بررسی روند تحولات پوشش گیاهی دارند (Amiri and Pourghasemi, 2022). در این سیستم‌ها این امکان وجود دارد، در مناطقی که به علت‌هایی مانند کوهستانی یا دره‌ای بودن و مناطقی که امکان بررسی میدانی و نصب ایستگاه‌های اقلیمی وجود ندارد، راه را برای مطالعه در این مناطق در سطح گسترده تسهیل کند (Farajzadeh et al., 2019).

استخراج اطلاعات دقیق و بهنگام از داده‌های سنجش از دوری به‌منظور تولید نقشه‌های کاربری و پوشش اراضی در سطح ملی و پایش سرزمین به‌خصوص با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل نقش بسیار مهمی در برنامه‌ریزی بخش‌های منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست بازی می‌کند. شاخص‌های گیاهی از ترکیبات مختلف داده‌های چندطیفی ماهواره‌ای استفاده می‌کنند تا تصویری ایجاد کنند که میزان گیاهان موجود و یا تراکم گیاهی را نشان دهد (Heydarian Agakhani et al., 2016). استفاده از تصاویر سنجش از دوری برای استخراج روند تغییرات پوشش گیاهی حتی برای بازه‌های زمانی متفاوت به کمک تصاویر ماهواره‌ای، ضمن بررسی روند این تغییرات، قابلیت پردازش تصاویر برای پیش‌بینی تغییرات آتی پوشش گیاهی را نیز به‌دست می‌دهد (Chen 1996). در این راستا می‌توان به پژوهش‌های

پرداختند. نتایج نشان داد شاخص NDVI از سال های گذشته تا حال نوسان داشته است، به طوری که ضمن افزایش موقتی تغییرات در سال های ۱۳۶۶ (۰/۸۶)، ۱۳۸۱ (۰/۸۷)، ۱۳۸۴ (۰/۸۷)، ۱۳۹۴ (۰/۸۶)؛ روند تغییرات کلی به صورت کاهش در میزان این شاخص در سال های ۱۳۷۴ (۰/۵۳)، ۱۳۷۶ (۰/۶۵)، ۱۳۷۹ (۰/۶۲)، و ۱۳۸۷ (۰/۶۱) به خصوص برای طبقات متوسط تا خیلی فقیر بوده است. مدل پیش بینی مارکوف تغییرات کاهشی شدیدی در میزان شاخص پوشش گیاهی برای سال های ۲۰۳۱ و ۲۰۴۵ پیش بینی می کند.

فرج زاده اصل و همکاران (۲۰۱۹) ارتباط کمی بین الگوی پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی را در منطقه زاگرس بررسی کردند. برای انجام این پژوهش از داده های بارش ایستگاه اقلیمی منطقه زاگرس در بازه ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ میلادی و تصاویر ماهواره MODIS و TRMM استفاده شد. نتایج بررسی ها نشان داد که مناطق با بارش بیشتر دارای سبزیگی بیشتری بوده و در بسیاری از موارد تغییرات مکانی بارش باعث تغییر در میزان میانگین سبزیگی شده است.

گودرزی و همکاران (۲۰۱۹) با بررسی تأثیر متغیرهای اقلیمی بر پوشش جنگل های بلوط در استان لرستان نشان دادند که در بین ۱۶ شاخص گیاهی، شاخص بهبود یافته پوشش گیاهی خاک متعادل شده و شاخص نرمال شده تفاوت اصلاح شده آب به ترتیب توان بیشتری برای نشان دادن اثرات بارش و دما بر پوشش جنگلی دارند.

امیری و پورقاسمی (۲۰۲۲) طی پژوهشی در حوضه آبخیز سد درودزن دم تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی با استفاده از داده های ماهواره Sentinel-2 و شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی را طی ۱۴ ماه در سال های ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار دادند و اذعان داشتند؛ پوشش گیاهی به طور متوسط در تمام ماه ها پراکنده بوده، اما در مهر ماه شدت کمبود پوشش گیاهی بیشتر بوده است. از طرفی مناطق با کمبود پوشش گیاهی در جنوب غربی و مرکز منطقه مورد مطالعه در تمام ماه ها مشاهده شد. در ماه می، پوشش گیاهی فشرده (۰/۱-۱) و پوشش گیاهی

و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد که تغییرات سطح و پوشش گیاهی سیاه کوه یزد را با استفاده از تصاویر TM و ETM⁺ بررسی کردند. در این مطالعه از پنج شاخص NDVI, RVI, PVI SAVI, NRVI استفاده شد، نتایج نشان داد که شاخص NDVI بهترین شاخص برای تهیه نقشه پوشش گیاهی است. در مطالعه فرج زاده و همکاران (۲۰۱۲) ارزیابی اثر عوامل اقلیمی بر پوشش گیاهی زاگرس مشخص کرد که پوشش گیاهی زاگرس، رگسیون چند متغیره ضریب تأثیر رطوبت نسبی حداکثر، میانگین و حداقل را در اغلب ماه های ژانویه تا اکتبر ۲۰۰۶ نشان می دهد. اما عوامل اقلیمی بارش و دمای حداقل نقش خیلی کمتری در برآورد NDVI داشته اند.

ولی زاده کامران و همکاران (۲۰۱۴) که به بررسی تغییرات اقلیم و تأثیر آن بر شاخص پوشش گیاهی در منطقه حفاظت شده جنگل های ارسباران واقع در شهرستان خداآفرین با استفاده از سنجش از دور و GIS و همچنین کاربرد تصاویر ماهواره ای لندست و داده های هواشناسی پرداختند نیز می توان اشاره نمود. نتایج نشان داد در سطح شهرستان کاهش بارش و افزایش دما رخ داده است و شاخص پوشش گیاهی در دوره اول ۰/۵۳۴ و در دوره دوم ۰/۴۷۵ بوده که این مقدار کاهش شدیدی را نشان می دهد و چون منطقه حفاظت شده و نقش عامل انسانی در آن محدودتر است، عامل اقلیم بر این کاهش سطح تأثیر مستقیم گذاشته و از طرفی کاهش سطح جنگل نیز باعث تشدید تغییر اقلیم شده است.

Yin و همکاران (۲۰۱۶) در آسیای مرکزی تغییرات اقلیم را بر اساس پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که با استفاده از شاخص پوشش گیاهی NDVI می توان تغییرات اقلیم را پیش بینی نمود.

عسگری زاده و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی ناشی از اثرات اقلیمی مراتع البرز مرکزی با استفاده از شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) و تصاویر ماهواره ای لندست، سنجنده ETM⁺, TM و OLI برای سال های ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۵ (۳۰ سال)

کم (۰/۰۵، ۰/۱) در اکتبر رخ داد.

از یک منطقه ارائه می‌دهد. توسعه پایدار بوم‌سازگان‌های جنگلی در گرو شناخت و درک واقعی ارزش‌های نهفته در آن‌ها است.

آگاهی از وضع جنگل‌های هیرکانی از جمله منطقه مورد پژوهش با وجود ارزش تجاری بالا و بررسی ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی و عوامل اقلیمی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ احتمالاً تاکنون (با توجه به مرور منابع در این زمینه) مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در پژوهش پیش‌رو هدف پرداختن به این مهم است، که در مؤسسات تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه‌ها و مراجع علمی مرتبط، ادارات منابع طبیعی کاربرد دارد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه فریم در جنوب شهرستان ساری بین طول شرقی $53^{\circ} 10' 03''$ تا $53^{\circ} 14' 18''$ و عرض شمالی $36^{\circ} 07' 36''$ تا $36^{\circ} 46' 45''$ و در دامنه و امتداد شمالی سلسله جبال البرز، در منطقه دودانگه واقع شده است. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۷۶۰ متر و حداکثر آن ۱۷۸۰ متر است. بر اساس داده‌های آمار و اطلاعات هواشناسی منطقه، اقلیم منطقه در طبقه مرطوب جنگلی و شرایط آب و هوایی مطلوب نشان از گذر اقلیم‌های مدیترانه‌ای از غرب و سبیری و خزری از شمال به منطقه مورد طرح را دارد. مقدار بارندگی سالانه، $832/9$ میلی‌متر است. همچنین درجه حرارت متوسط سالانه $11/2$ سانتی‌گراد است (Hamidi et al., 2021, 2022). نگاره ۱ موقعیت منطقه مورد پژوهش را نشان می‌دهد.

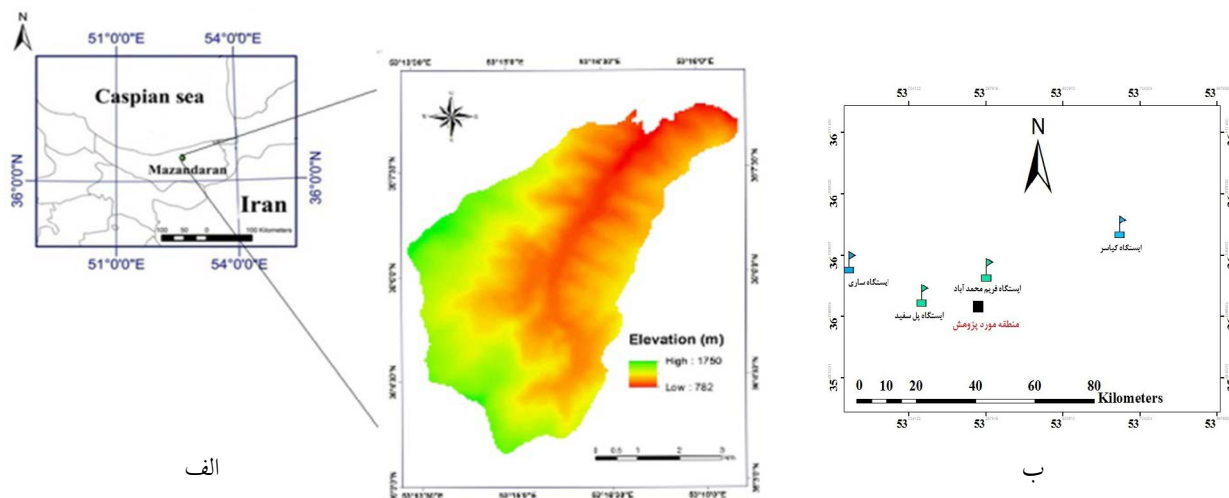
داده‌های اقلیمی

در این تحقیق از داده‌های اقلیمی ماهانه سه ایستگاه هواشناسی نزدیک به شهر فریم (ساری، کیاسر، پل سفید) به همراه داده‌های اقلیمی شهر فریم مربوط به نحوی استفاده شده است که تغییرات ارتفاع از سطح دریا مدنظر قرار گیرد. درجه حرارت یکی از عامل‌های محیطی متغیری است که

نتایج بررسی Lian و همکاران (۲۰۲۲) بر روند پویای توزیع پوشش گیاهی و عوامل اقلیمی در مقیاس‌های زمانی و مکانی چندگانه در چین حاکی از یک روند سبز قابل توجه است که با الگوی گرم شدن و مرطوب شدن در ۲۰ سال گذشته همراه شده است. تفاوت فاز تبدیل نشان‌دهنده یک رابطه پیچیده بین پوشش گیاهی و آب و هوا است. در همین حال، انواع مختلف پوشش گیاهی پاسخ‌های ناهمگن اثر بارندگی و دما را در مقیاس‌های چند مکانی-زمانی نشان دادند.

Právělie و همکاران (۲۰۲۲) روند تغییرات پوشش گیاهی جنگلی مبتنی بر NDVI و رابطه آن با تغییرات آب و هوایی در رومانی را طی سال‌های ۲۰۱۸-۱۹۸۷ با استفاده از تصاویر لندست بررسی کردند. نتایج نشان داد، روند افزایش شاخص NDVI جنگل‌ها در سطح ملی (۶۵ درصد از کل تغییرات NDVI) که توسط روندهای مثبت گسترده NDVI شناسایی شده در منطقه رومانی تحت سلطه بود. پویایی کلی بوم‌سازگانی، افزایش احتمالی پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. بهره‌وری در مناطق مرتفع کشور روند مخالف کاهش (NDVI) ۳۵ درصد از مناطق جنگلی رومانی را نشان داد.

در راستای مرور منابع می‌توان بیان کرد؛ نتایج این پژوهش به‌عنوان ابزاری مناسب برای کمک به تصمیم‌گیری مدیریتی و طرح‌های حفاظتی در جنگل‌های هیرکانی می‌تواند استفاده شود، به صورتی که این تصمیم‌گیری‌ها و طرح‌ها سازگار با اثرهای تغییر اقلیم باشند و مطالعه پوشش گیاهان می‌تواند به‌عنوان راهنمای مناسب در قضاوت بوم‌شناختی در هر منطقه مورد استفاده قرار گیرد. از آنجایی که گیاه، آینه آب و هوا است، کسب اطلاعات در مورد وضعیت پوشش گیاهی، مانند گستردگی و پراکندگی آن، مهم است و از طرفی جمع‌آوری اطلاعات در مورد تغییرات مداوم پوشش گیاهی با روش‌های مرسوم بسیار دشوار و پرهزینه است، سنجش از دور روشی بسیار مفید است که دید وسیعی



نگاره ۱: الف) موقعیت منطقه مورد پژوهش ب) ایستگاه های اقلیمی

پیش پردازش و پردازش تصاویر

به طور کلی عملیات مربوط به پیش پردازش تصاویر ماهواره ای سنتینل ۲، شامل تصحیح رادیومتریک و هندسی است. فرآیند پیش پردازش تصاویر به منظور استخراج هر چه بهتر اطلاعات انجام شد. فرآیند تصحیح اتمسفری روی تصاویر ماهواره سنتینل ۲ تا حدودی صورت گرفته اما ارزش رقومی این تصاویر بین ۰ تا ۲۸۰۰۰ متغیر است که برای پردازش تصویر، ارزش رقومی پیکسل ها در تصویر به بازه ۰ تا ۱ به منظور Reflectance و با هدف حذف بازتاب متأثر از لایه های بالایی اتمسفر تبدیل شد. پردازش تصاویر نیز شامل عملیات مختلف نظیر نسبت گیری^۱، تجزیه مؤلفه های اصلی^۲، تجزیه و تحلیل بافت^۳، ادغام باندها^۴ و ساختن شاخص های گیاهی^۵ است (Heink & Kowarik, 2010) که با توجه به اهداف موجود بر روی داده های ماهواره ای و در راستای اهداف مختلف صورت گرفت. پردازش تصاویر در نرم افزار ENVI5.3 انجام شد. با توجه به اینکه تعداد چهار باند این سنجنده با قدرت تفکیک پذیری ۱۰ متری است، هر

در طول و یا قبل از فصل رویش بر روی درختان به طور مستقیم و غیرمستقیم تأثیر دارد. درختان در یک دامنه دمایی مشخص دارای رویش بهینه هستند. دما، انرژی لازم را برای شروع رشد و بارش رطوبت لازم را برای رویش سالانه درختان در فصل رویش و بعد از آن فراهم می کند، در این پژوهش از میانگین درجه حرارت و بارندگی در فصل رویش به عنوان شاخصی از درجه حرارت و بارش در بلندمدت استفاده شد (Hamidi et al., 2017, 2021).

داده های ماهواره ای

در این مطالعه از تصاویر سنجنده ماهواره های سنتینل ۲ استفاده شد. این ماهواره در ۲۳ ژوئن ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شده و دارای سنسور چند طیفی بوده که ۱۳ باند را شامل می شود. این ماهواره در هر بار ۲۹۰ کیلومتر به صورت نواری تصویر سازی کرده و هر ۵ روز پوشش کامل ارائه می کند که از فرآیند عملکرد هندسی و طیفی بالایی برخوردار است (آژانس فضایی اروپا، ۲۰۱۷). برداشت داده های مربوط به تصویر در تاریخ تیر ماه ۱۴۰۰ صورت گرفت، که مطابق با داده های اقلیمی باشد. خلاصه ای از مشخصات ماهواره مذکور در جدول ۱ ارائه شده است.

1- Ratioing

2- Principal component analysis

3- Texture analysis

4- Band integration

5- Vegetation index making

جدول ۱: مشخصات ماهواره سنتینل ۲

تاریخ پرتاب	هفتم مارس ۲۰۱۷
ماهواره بر و سکوی پرتاب	Vega (Kourou)
ارتفاع مدار	۷۸۶ کیلومتر
دوره بازگشت	۵ روز برای هر دو ماهواره، خورشید آهنگ
عرض تصویر	۲۹۰ کیلومتر
باندهای سنجنده	Band 1 – Coastal aerosol, Band 2 – Blue, Band 3 – Green, Band 4 – Red, Band 5 – Vegetation Red Edge, Band 6 –Vegetation Red Edge, Band 7 – Vegetation Red Edge, Band 8 – NIR, Band 8A – Vegetation Red Edge, Band 9 – Water vapour, Band 10 – SWIR – Cirrus, Band 11 – SWIR Band 12 – SWIR
قدرت تفکیک مکانی	B2, B3, B4, B8 : 10m B5, B6, B6, B8A, B11, B12 : 20m B1, B9, B10 : 60m
قدرت تفکیک رادیومتری	۱۲ بیت
قدرت تفکیک طیفی	۱۳ باند
قدرت تفکیک زمانی	۵ روز
نوع داده	Level-1C

کدام در قالب یک فایل (ادغام باندهای ۲، ۳، ۴ و ۸ تصویر سنتینل ۲ و تشکیل یک تصویر جدا) به منظور محاسبه برخی باندهای مصنوعی ایجاد شد. علاوه بر باندهای اصلی، با اعمال پردازش‌های مناسب باندهای مصنوعی ایجاد شد که در فرآیند مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (Heink & Kowarik, 2010). همچنین اندازه پنجره مورد استفاده در این مطالعه ۵×۵ انتخاب شد و به منظور ایجاد شاخص‌های گیاهی ترکیبات نسبت‌گیری مناسب مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۲).

جدول ۲: شاخص‌های گیاهی مورد استفاده در پژوهش حاضر

ردیف	شاخص‌های محاسباتی	فرمول محاسبه شاخص	منبع
۱	شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی ^۱	(Nir-Red)/(Nir+Red)	Roujean & Breon 1995
۲	شاخص پوشش گیاهی تفاضلی ^۲	Nir-Red	Bell et al., 2004
۳	شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز ^۳	Nir – Green	Bell et al., 2004
۴	نرمال شده شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز ^۴	(Nir-Green)/(Nir+Green)	Bell et al., 2004
۵	شاخص پوشش گیاهی نسبتاً سبز ^۵	Green/Red	Bell et al., 2004
۶	شاخص مجدد پوشش گیاهی تفاضلی ^۶	((Nir-Red))/√((Nir+Red))	Právělie et al., 2022
۷	شاخص پوشش گیاهی غیر خطی ^۷	((Nir2-Red)/(Nir2+Red))	Chen 1996

5- Green Ratio Vegetation Index (GRVI)

6- Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)

7-Nonlinear vegetation Index (NLI)

1- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2- Difference Vegetation Index (DVI)

3 - Green Difference Vegetation Index (GDVI)

4- Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)

برگ نشان می دهد و حساسیت و دامنه دینامیکی بالاتری در پوشش گیاهی کم نسبت به سایر شاخص های پوشش گیاهی دارد (Wu 2014).

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال شده (GNDVI):
شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال شده یک شاخص پوشش گیاهی مشتق شده از داده های سنجش از دور هوایی با استفاده از طول موج های سبز و مادون قرمز نزدیک است که نسبت به نیتروژن و محتوای نترات دمبرگ واکنش نشان می دهد (Bajwa and Mozaffari, 2007).

شاخص پوشش گیاهی نسبتاً سبز (GRVI):
این شاخص به نرخ فتوسنتزی در بوم سازگان های جنگلی حساس است، زیرا بازتاب های سبز و قرمز به شدت تحت تأثیر تغییرات رنگدانه های برگ قرار می گیرند. طبق رابطه مربوط به این شاخص (نسبت موج های سبز به مادون قرمز نزدیک)، پوشش گیاهی سبز، خاک و آب یا برف به ترتیب دارای مقادیر مثبت، منفی و نزدیک به صفر این شاخص هستند. بنابراین، با فرض " $GRVI = 0$ " مقدار یک این شاخص با آستانه تمایز بین پوشش گیاهی سبز و سایر انواع پوشش های زمینی، اثربخش می شود. علاوه بر این، از آنجایی که تعادل بین بازتاب سبز و قرمز در پاسخ به سبز شدن برگ و رنگ آمیزی پاییزی تغییر می کند، آستانه " $GRVI = 0$ " باید برای تشخیص فنولوژی نیز مؤثر باشد. با استفاده از این ویژگی، ممکن است یک الگوریتم ساده برای تشخیص زمان سبز شدن برگ و رنگ آمیزی پاییزی امکان پذیر باشد (Motohka et al., 2010).

شاخص مجدد پوشش گیاهی تفاضلی (RDVI):

این شاخص از تفاوت بین طول موج های مادون قرمز نزدیک و قرمز به همراه NDVI برای برجسته کردن پوشش گیاهی سالم استفاده می شود. نسبت به اثرات مشاهده خاک و خورشید حساس نیست (Roujean & Breon, 1995).

در ذیل به توضیح مختصر هر شاخص پرداخته شد:

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI):

به منظور شناسایی پوشش گیاهی در تصویر ماهواره ای از شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی همراه با باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک استفاده می شود. نحوه محاسبه شاخص NDVI، نسبت گیری بین تفاضل و مجموع باندهای قرمز (0.6 تا 0.7 میکرومتر) و مادون قرمز نزدیک (0.7 تا 1.5 میکرومتر) است که با توجه به اینکه پوشش گیاهی در باند مرئی قرمز بیشترین میزان جذب و طبیعتاً کمترین میزان بازتابش و در باند مادون قرمز نزدیک، کمترین میزان جذب و به تبع آن بیشترین میزان بازتابش را دارد، شاخص پوشش گیاهی NDVI قادر است تا پوشش گیاهی را از سایر پدیده ها تفکیک نماید (Pôças et al., 2013; Abdolizadeh et al., 2020).

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی (DVI):

این شاخص توسط Kiefer & Lillesand ارائه شد، که با انحراف بازتاب باند مادون قرمز از باند قرمز محاسبه می شود، نسبت به پس زمینه خاک حساس و مقدار آن برای پوشش گیاهی مثبت است. شاخص DVI به تغییرات پس زمینه خاک بسیار حساس است. می توان آن را برای نظارت پوشش گیاهی اعمال محیطی کرد. این شاخص یک گروه مبتنی بر شیب است. این ساده تر از شاخص NDVI است، اما مستعد خطاهای اندازه گیری در باندهای مادون قرمز نزدیک (NIR) و قرمز (R) می باشد زیرا با مجموع آن ها نرمال نمی شود. همچنین دامنه این شاخص بی نهایت است (Naji 2018).

شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز (GDVI):

یک شاخص پوشش گیاهی برای تخمین فعالیت فتوسنتزی و یک شاخص پوشش گیاهی است که معمولاً برای تعیین جذب آب و نیتروژن به تاج گیاه استفاده می شود. شاخص GDVI همبستگی بهتری با شاخص سطح

شاخص پوشش گیاهی غیرخطی (NLI):

شاخصی است که کنتراست بازتابی و اشباع را با استفاده از مقادیر مربع بازتاب باند مادون قرمز نزدیک کاهش می‌دهد (Feng et al, 2019).

- روش آماری پژوهش

از نرم‌افزار ENVI برای پردازش تصویر و از نرم‌افزار STATISTICA و R (پکیج raster, lmr) برای مدل‌سازی استفاده شد. داده‌های به‌دست آمده به‌طور تصادفی به داده‌های آموزش و آزمون تقسیم می‌شوند، به‌صورتی که ۷۰ درصد داده‌ها برای آموزش و مابقی برای آزمون یا ارزیابی مدل مورد استفاده قرار گرفت (Kalbi et al., 2019; Janizadeh et al., 2019; Hamidi et al., 2021) از میانگین مربعات خطا (رابطه ۱)، همبستگی (رابطه ۲)، اندازه معیار ارزیابی اطلاعاتی آکائیک (Akaike Information Criterion= AIC) (رابطه ۳) و معیار ارزیابی بیزین (Bayesian Information Criterion= BIC) (رابطه ۴) برای ارزیابی مدل‌های ارائه‌شده استفاده شد. مدل‌هایی که دارای بیشترین مقدار همبستگی و کمترین مقدار اشتباه معیار، میانگین مربعات خطا، معیار ارزیابی اطلاعاتی آکائیک و معیار ارزیابی بیزین بودند به‌عنوان بهترین مدل برای ارزیابی متغیرهای مورد بررسی انتخاب شدند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (est_i - obs_i)^2}{n}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$R^2 = 1 - [\sum_{i=1}^n (obs_i - \bar{est})^2] / \sum_{i=1}^n (obs_i - \bar{obs})^2 \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$AIC = 2k - 2\ln(\hat{L}) \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$BIC = k\ln(n) - 2\ln(\hat{L}) \quad \text{رابطه (۴)}$$

در رابطه est_i و obs_i به‌ترتیب آمین برآورد و مشاهده مبتنی بر مدل و n تعداد نمونه هستند، k تعداد پارامترهای مدل باشد و $\hat{L}$ حداکثر تابع درست‌نمایی مدل است.

نتایج

رابطه درجه حرارت و شاخص‌های پوشش گیاهی

نتایج مربوط به مدل درجه حرارت تحت شاخص‌های پوشش گیاهی منطقه در رابطه (۵) ذکر شده است.

$$\begin{aligned} Temp = & 4.46 + 0.546 (DVI) + 0.539 (GDVI) - 0.145 \\ & (GNDVI) - 0.026 (NLI) + 0.066 (Tex \ 5.5 - b03 - CORR) \\ & - 0.84 (NDVI) + 0.02 (RDVI) - 0.06 (GRVI) \end{aligned}$$

رابطه (۵)

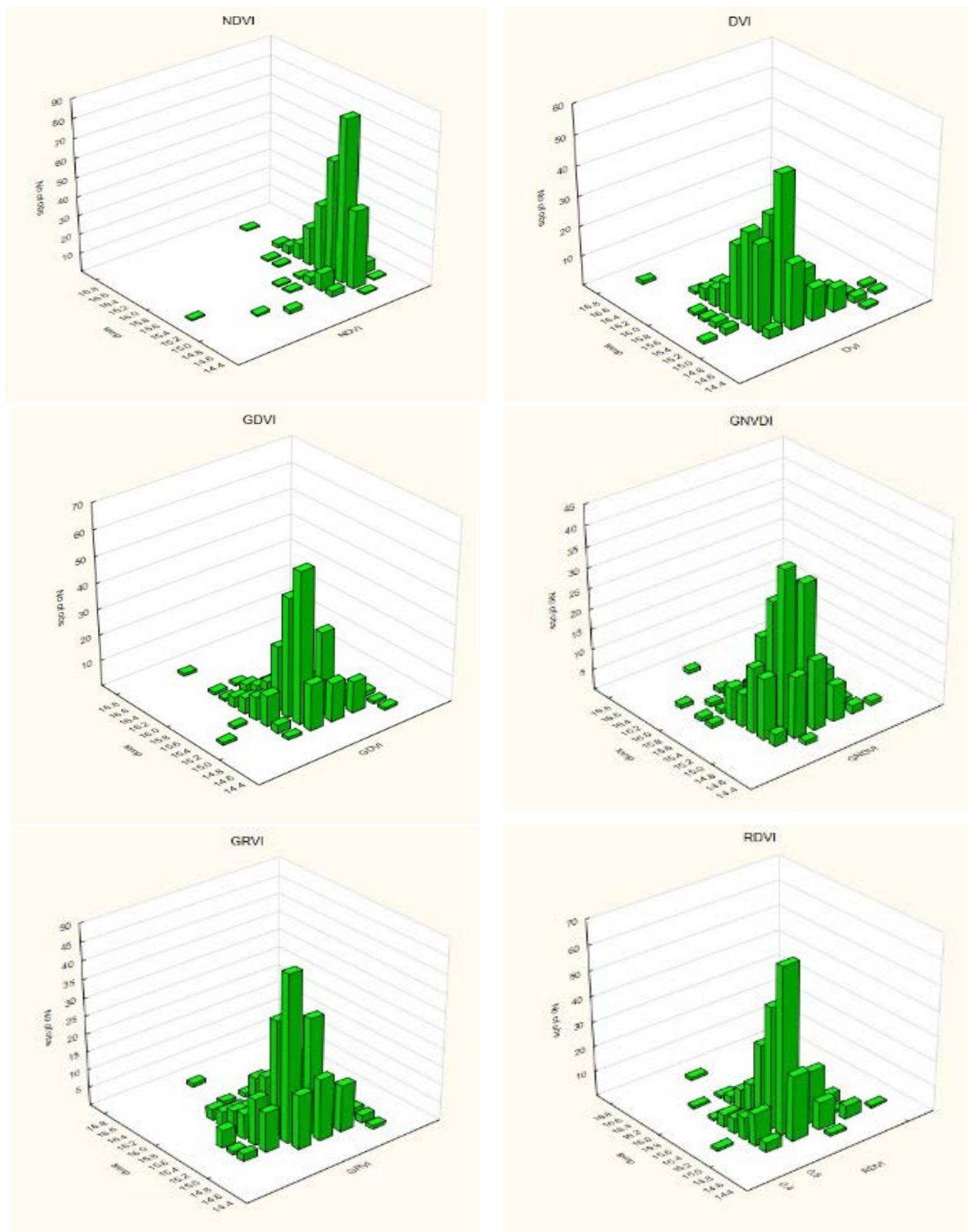
در رابطه (۵) Temp: دما به درجه سانتی‌گراد، DVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی، GDVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز، GNDVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال‌شده، NLI: شاخص پوشش گیاهی غیرخطی، NDVI: شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، GRVI: شاخص پوشش گیاهی نسبتاً سبز، RDVI: شاخص مجدد پوشش گیاهی تفاضلی و Tex: 5.5- b03-CORR فاکتور همبستگی آنالیز بافت با اندازه پنجره ۵×۵ باند سبز است. اشتباه معیار برآورد مدل ۱/۱۵، میانگین مربعات خطا ۰/۳۵، همبستگی ۰/۴۳ و اندازه AIC و BIC به ترتیب ۵۶۵ و ۷۳۹ به‌دست آمد.

در نگاره ۲ میزان اثرات دما بر شاخص‌های پوشش گیاهی رویشگاه جنگلی فریم ارائه شده است. نتایج نشان داد که با افزایش دما، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال‌شده و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز افزایش می‌یابد و در مابقی شاخص‌ها تغییرات اندکی رخ داده است.

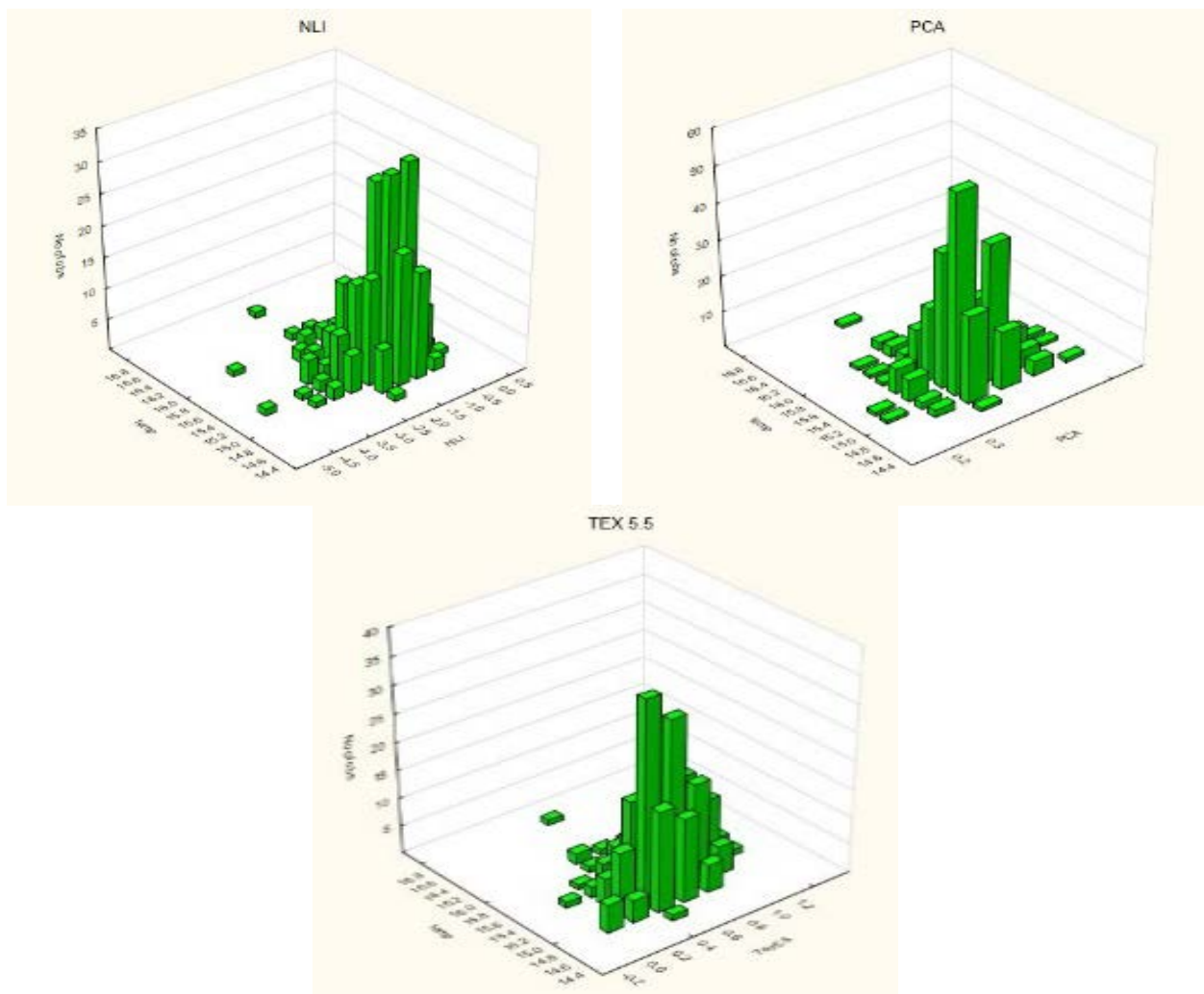
در نگاره ۳ رابطه رگرسیونی مدل درجه حرارت نسبت به تمامی شاخص‌های مورد بررسی نشان می‌دهد از بین این شاخص‌ها، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی با ضریب ۰/۴۱ و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز با ضریب ۰/۴۰ بیشترین همبستگی را با درجه حرارت دارند و مابقی شاخص‌ها میزان همبستگی پایین‌تری با درجه حرارت را نشان داد.

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سیر)

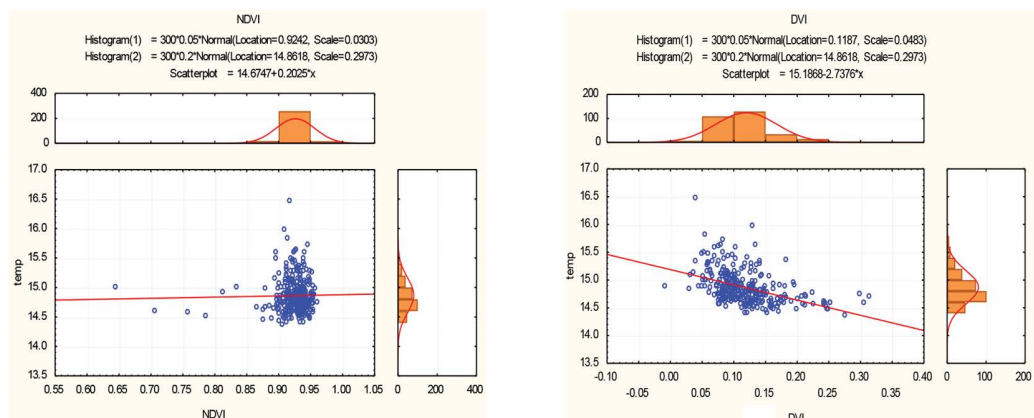
مدل‌سازی مناسب‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی با ... / ۶۳



نگاره ۲: تأثیر درجه حرارت بر پوشش گیاهی رویشگاه جنگلی فریم



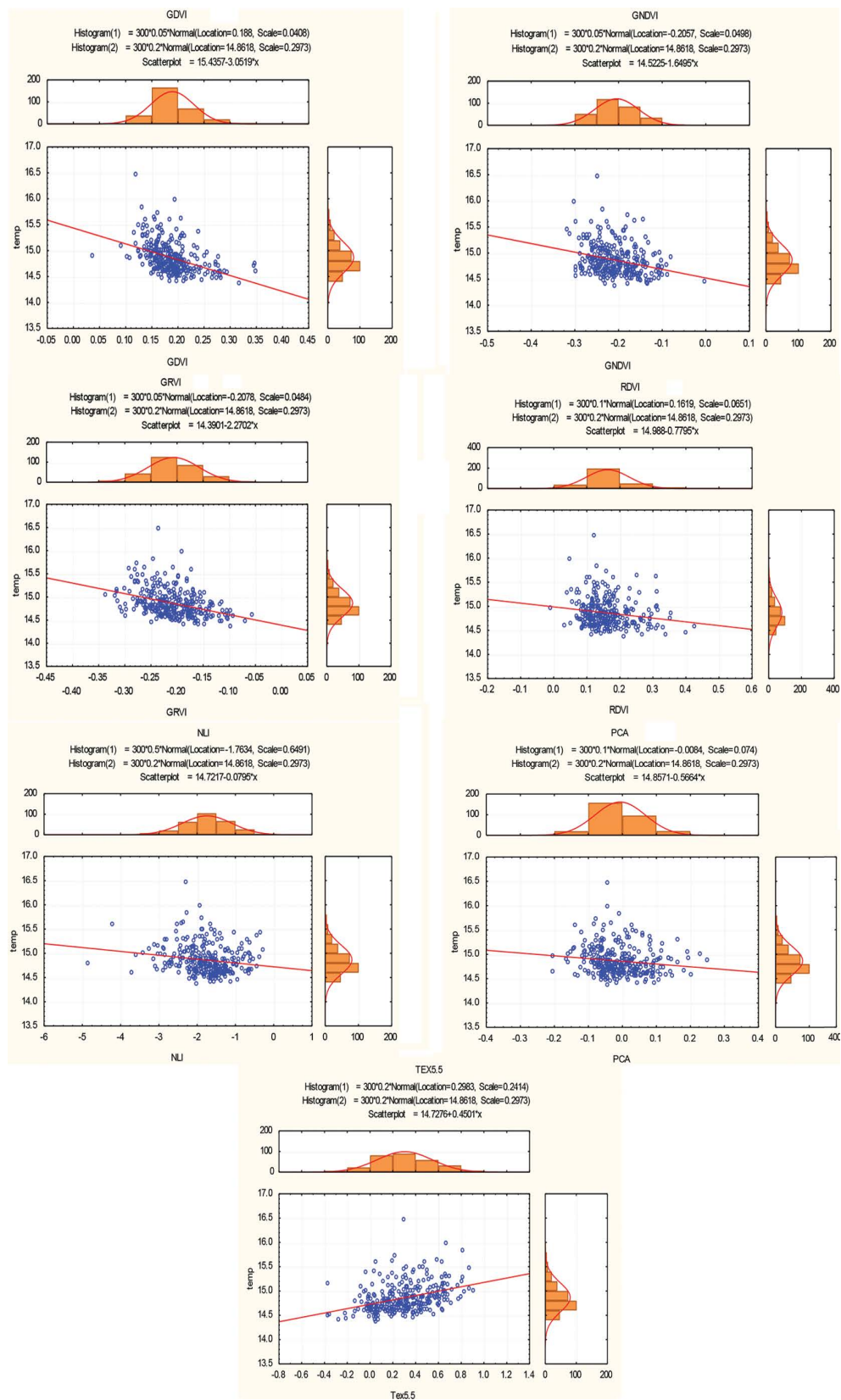
ادامه نگاره ۲: تأثیر درجه حرارت بر پوشش گیاهی رویشگاه جنگلی فریم



نگاره ۳: رابطه رگرسیونی تأثیر درجه حرارت بر شاخص‌های پوشش گیاهی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سمر)

مدل‌سازی مناسب‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی با ... / ۶۵



ادامه نگاره ۳: رابطه رگرسیونی تأثیر درجه حرارت بر شاخص‌های پوشش گیاهی



نگاره ۴: اهمیت نسبی پیش‌بینی‌کننده‌های دما در پوشش گیاهی گونه‌ها

در نگاره ۴ ارتباط بین اهمیت نسبی پیش‌بینی‌کننده‌های دما در پوشش گیاهی گونه‌ها توسط نرم‌افزار STATISTICA ارائه شده است. نتایج نشان داد بیشترین اثرگذاری مربوط به شاخص پوشش گیاهی تفاضلی، شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی و کمترین اثرگذاری مربوط به باند سبز و قرمز است.

رابطه بارندگی و شاخص‌های پوشش گیاهی

نتایج مربوط به مدل بارندگی تحت شاخص‌های پوشش گیاهی منطقه در رابطه ۶ ارائه شده است.

$$PERC = 18.67 + 2.31 (DVI) + 2.33 (GDVI) + 0.77 (GNDVI) - 0.13 (NLI) - 6.20 (NDVI) + 0.31 (Tex5.5-b03-CORR) + 0.06 (RDVI) - 0.39 (GRVI)$$

رابطه ۶)

در نگاره ۷ تأثیرگذارترین متغیر نسبت به بارندگی در منطقه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز مشخص شد و باند سبز و قرمز کمترین اثرگذاری را در بررسی اقلیم بر پوشش گیاهی منطقه داشته است.

رابطه بارندگی و شاخص‌های پوشش گیاهی

نتایج مربوط به مدل بارندگی تحت شاخص‌های پوشش گیاهی منطقه در رابطه ۶ ارائه شده است.

$$PERC = 18.67 + 2.31 (DVI) + 2.33 (GDVI) + 0.77 (GNDVI) - 0.13 (NLI) - 6.20 (NDVI) + 0.31 (Tex5.5-b03-CORR) + 0.06 (RDVI) - 0.39 (GRVI)$$

رابطه ۶)

در رابطه ۶) PERC: بارندگی به میلی‌متر، DVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی، GDVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز، GNDVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال‌شده، NLI: شاخص پوشش گیاهی غیرخطی، NDVI: شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، GRVI: شاخص پوشش گیاهی نسبتاً سبز، RDVI: شاخص مجدد پوشش گیاهی تفاضلی و

رابطه بارندگی و شاخص‌های پوشش گیاهی

نتایج مربوط به مدل بارندگی تحت شاخص‌های پوشش گیاهی منطقه در رابطه ۶ ارائه شده است.

$$PERC = 18.67 + 2.31 (DVI) + 2.33 (GDVI) + 0.77$$

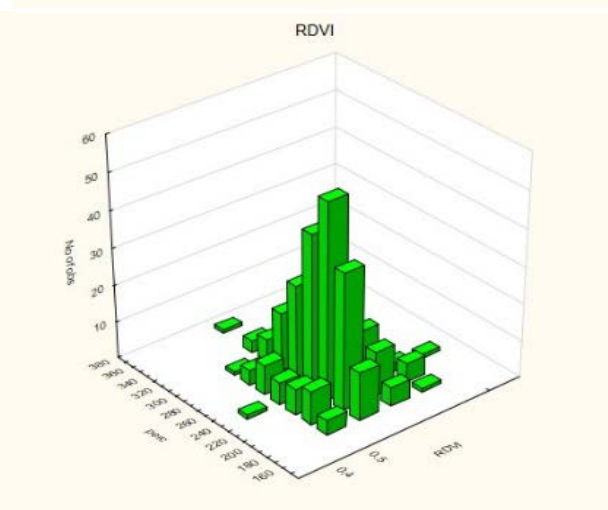
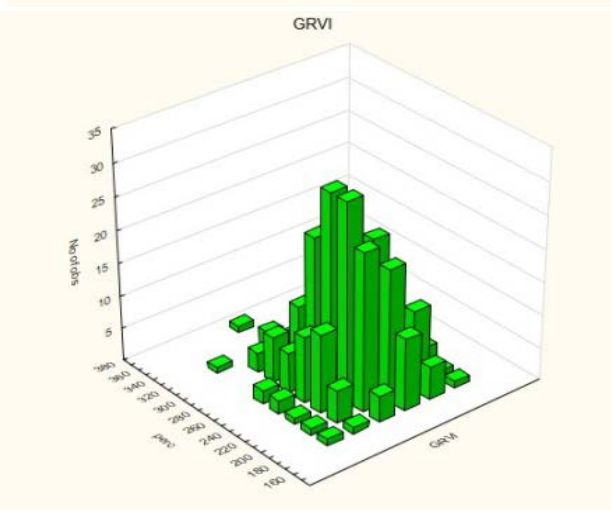
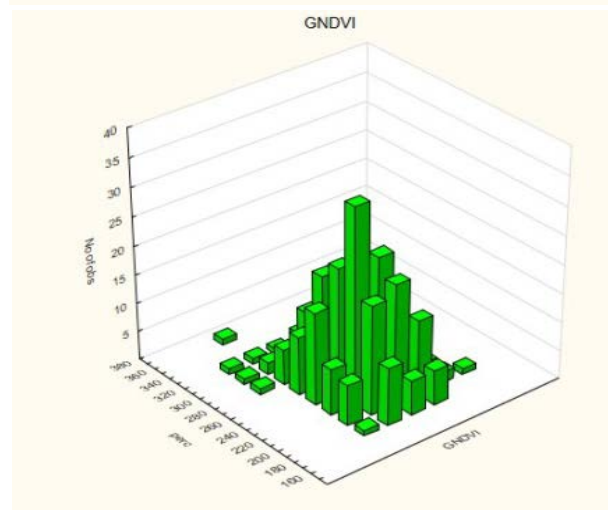
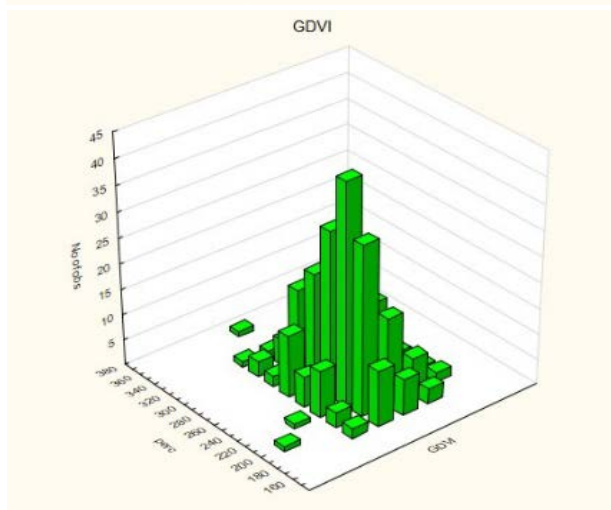
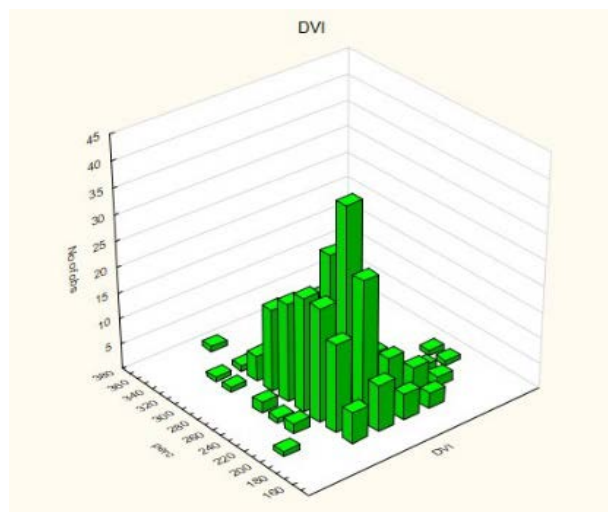
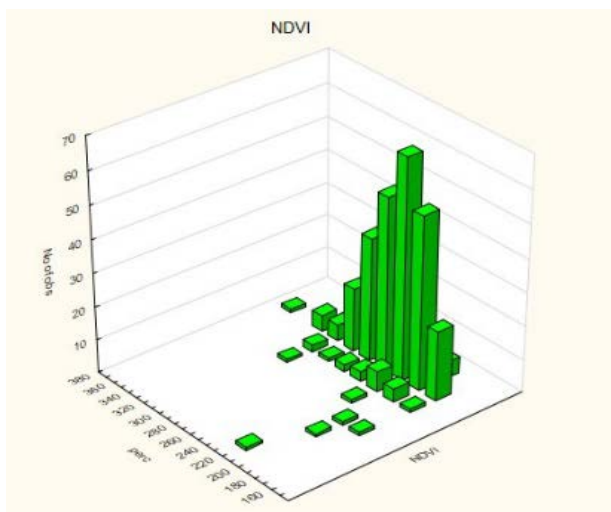
$$(GNDVI) - 0.13 (NLI) - 6.20 (NDVI) + 0.31 (Tex5.5-b03-CORR) + 0.06 (RDVI) - 0.39 (GRVI)$$

رابطه ۶)

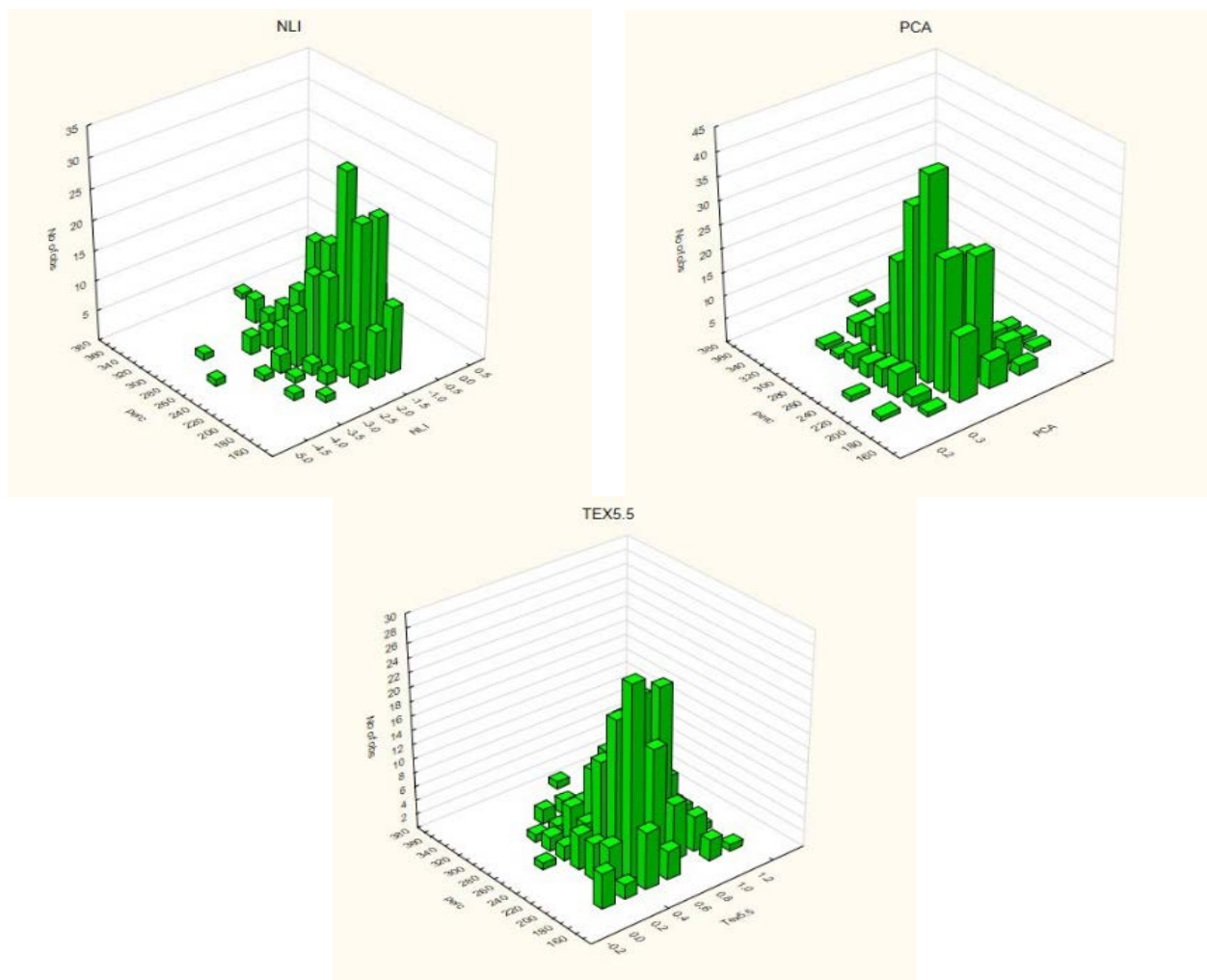
در رابطه ۶) PERC: بارندگی به میلی‌متر، DVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی، GDVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز، GNDVI: شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال‌شده، NLI: شاخص پوشش گیاهی غیرخطی، NDVI: شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی، GRVI: شاخص پوشش گیاهی نسبتاً سبز، RDVI: شاخص مجدد پوشش گیاهی تفاضلی و

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (جغ)

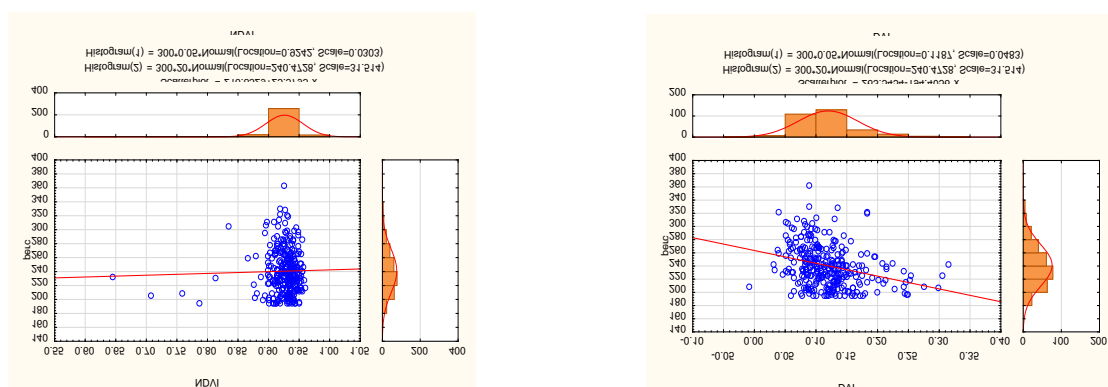
مدل سازی مناسب ترین شاخص های پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی با ... / ۶۷



نگاره ۵: تأثیر بارندگی بر پوشش گیاهی رویشگاه جنگلی فریم



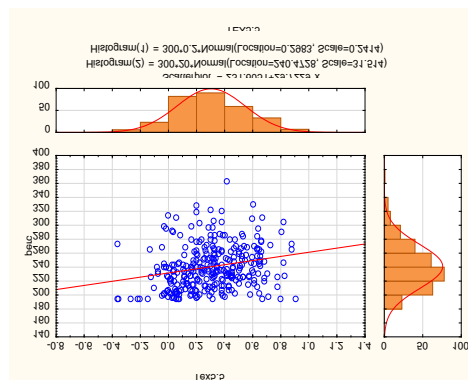
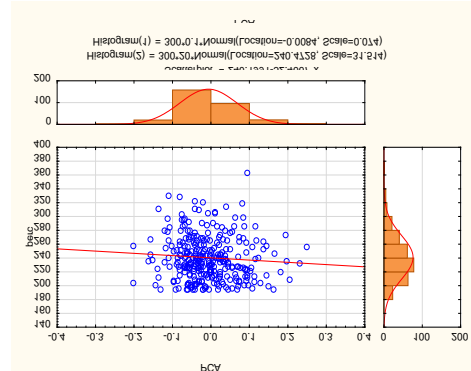
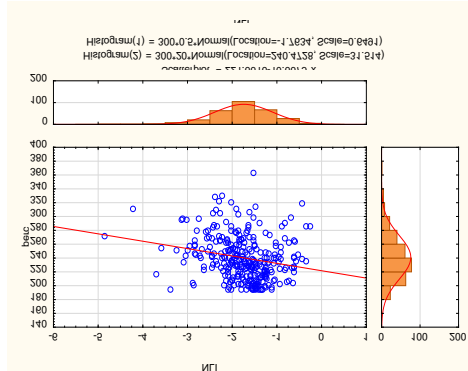
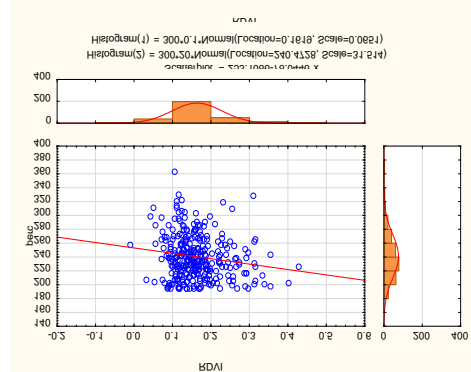
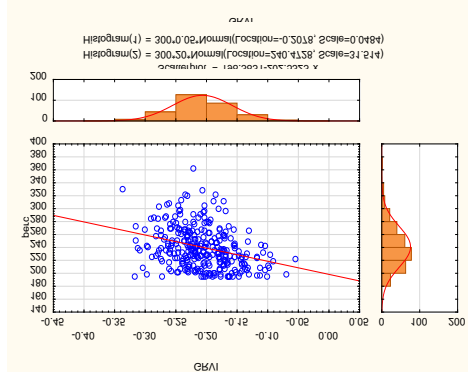
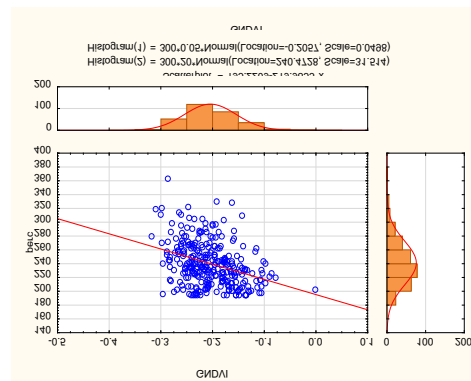
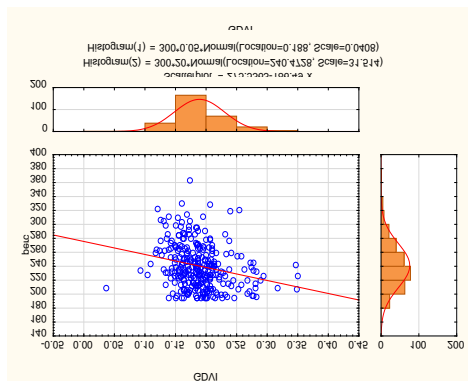
ادامه نگاره ۵: تأثیر بارندگی بر پوشش گیاهی رویشگاه جنگلی فریم



نگاره ۶: رابطه رگرسیونی تأثیر بارندگی بر شاخص‌های پوشش گیاهی

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سهم)

مدل‌سازی مناسب‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی با ... / ۶۹



ادامه نگاره ۶: رابطه رگرسیونی تأثیر بارندگی بر شاخص‌های پوشش گیاهی



نگاره ۷: اهمیت نسبی پیش‌بینی‌کننده‌های بارندگی در پوشش گیاهی گونه‌ها

بحث

مطالعات دیگر نظیر احمدی و همکاران (۲۰۱۵)، باله و کرومی (۲۰۲۰) و Solangi و همکاران (۲۰۱۹) نیز حاکی از ارتباط منفی شاخص گیاهی نرمال‌شده و دما در عرصه‌های مرتعی و جنگلی است که در این مورد با مطالعه حاضر مطابقت دارد. شاخص‌های گیاهی تبدیلات ریاضی هستند که براساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی گیاهان در مشاهدات ماهواره‌ای چندطیفی طراحی شده‌اند (Právělie et al., 2011).

همانطور که در نگاره ۳ مشخص است رابطه رگرسیونی بین درجه حرارت و شاخص‌های پوشش گیاهی نیز نشان‌دهنده آن است که شاخص پوشش گیاهی تفاضلی بیشترین همبستگی را با درجه حرارت در منطقه دارد و مابقی شاخص از همبستگی پایین‌تری برخوردار است، که این نتیجه با مطالعه Barati و همکاران (۲۰۱۱) نزدیک است. نتایج مطالعه ایشان نشان داد، شاخص DVI با ضریب تعیین ۰/۶۶ بهترین برآورد را در تغییرات پوشش گیاهی دارد.

Lillesand و Kiefer همکاران (۱۹۸۷) اذعان داشتند با توجه به منحنی بازتاب‌های پوشش‌های عمده زمین مقدار این شاخص برای پوشش گیاهی نسبت به آب، خاک و

در این پژوهش ارتباط بین عوامل اقلیمی (درجه حرارت و بارندگی) با شاخص‌های پوشش گیاهی در درختان ناهمسال و آمیخته شمال کشور با استفاده از تصاویر سنتینل ۲ در جنگل فریم مورد بررسی قرار گرفت.

درجه حرارت یک متغیر مهم اقلیم است که به انرژی سطح و تعادل آب مربوط می‌شود و یک پارامتر فیزیکی کلیدی برای مطالعات مختلف از جمله هیدرولوژی، اقلیم‌شناسی، محیط‌زیست و اکولوژی به‌شمار می‌آید (Chu et al, 2019).

تجزیه و تحلیل اثرات درجه حرارت بر شاخص پوشش گیاهی در منطقه حاکی از آن بود که با افزایش دما تنها شاخص‌های پوشش گیاهی تفاضلی، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال‌شده و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز افزایش می‌یابد و رابطه منفی با شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده دارد که با مطالعات (Govil et al, 2020; Guha and Govil, 2020) مبنی بر رابطه مثبت دما و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی و رابطه منفی دما و شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده مطابقت دارد. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که مقدار شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده در نواحی با درجه حرارت بالا، پایین است. همچنین نتایج

عامل تأثیرگذار در پویایی پوشش گیاهی در نظر گرفته می شود (Hu et al. 2019). علاوه بر این، Guan و همکاران (۲۰۱۸) بر طبق این موضوع، استدلال می کنند که در مناطق کوهستانی، بارش باران مقدار کافی آب مورد نیاز برای رشد گیاهان را فراهم می کند و دما باعث افزایش فتوسنتز می شود و به بهبود رشد گیاهان کمک می کند. بارندگی یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر پوشش گیاهی به شمار می آید، نوسان و تغییر سال به سال بارندگی همواره پوشش گیاهی را تحت تأثیر قرار می دهد. نتایج حاصل از اثرات بارندگی بر شاخص های پوشش گیاهی نشان دهنده آن است که شاخص پوشش گیاهی تفاضلی، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز، شاخص پوشش گیاهی غیرخطی و شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی تأثیرگذاری بیشتری بر بارندگی در منطقه دارند. با توجه به نقش طیف قرمز و مادون قرمز در محاسبات مربوط به شاخص پوشش گیاهی تفاضلی در مطالعه حاضر ارتباط بین بارندگی و شاخص های پوشش گیاهی نشان داد؛ با همبستگی ۰/۵۶ بیشترین اثرگذاری بارش همانند فاکتور دما بر شاخص پوشش گیاهی تفاضلی است.

رابطه بارندگی نسبت به شاخص های مورد بررسی در نگاره ۶ نشان می دهد شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال شده و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی بیشترین همبستگی را با بارندگی دارند که نتایج پژوهش محمدی و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی پوشش گیاهی در کویر میقان واقع در شهر اراک نیز نشان داد حداکثر همبستگی برابر با ۰/۶۲ بین شاخص پوشش گیاهی تفاضلی و بارش به دست آمد. در پژوهشی اثرات تکنیک های شاخص های پوشش گیاهی DVI, PVI, WDI با ماهواره لندست مورد بررسی قرار گرفت که نتایج حاکی از آن بود شاخص پوشش گیاهی تفاضلی (DVI) دارای عملکرد بهتری نسبت به مابقی شاخص ها است (Naji, 2018). از طرفی در مطالعاتی چون Wang و همکاران (۲۰۲۰) اثرات شاخص های پوشش

سنگ بیشتر و مثبت است. در سنجش از دور، دمای سطح زمین که در بالای اتمسفر به وسیله سنجنده ها به دست می آید را دمای روشنایی می نامند. با توجه به اینکه بخشی از تابش ساطع شده از سطح زمین در باند مادون قرمز، پیش از اینکه به سنجنده برسد، به وسیله ذرات موجود در جو به ویژه بخار آب، جذب می شود، از این رو دمای روشنایی ثبت شده در سنجنده کمتر از دمای واقعی در سطح زمین است و تفاوت معنی داری با دمای واقعی سطح زمین دارد (et al., 2002 Bastiaanssen). با توجه به اینکه گیاه در جذب طول موج های قرمز نور خورشید و انعکاس امواج مادون قرمز نزدیک، بسیار پرقدرت عمل می کند از این خصوصیت در تهیه شاخص های گیاهی با استفاده از دو باند قرمز و مادون قرمز نزدیک در داده های ماهواره ای استفاده شد (et al., 2022 Timmer). گیاهان سبز بیشترین انعکاس را در محدوده باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک آشکار خواهند ساخت؛ زیرا همیشه شرایط محلی موجب بروز اشکالاتی می شود که لازم است این شاخص ها تغییر کنند و یا با روش دیگری مورد آزمون قرار گیرند. بنابراین با توجه به ساختار شاخص پوشش گیاهی تفاضلی مشخص می شود باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک سنتینل ۲ که در محدوده طیفی مادون قرمز انعکاسی کار می کند، وجود دارد. این مسئله نشانگر قدرت تشخیص مناسب پوشش گیاهی به وسیله طیف مادون قرمز انعکاسی است (Scanlon et al., 2022).

همچنین با توجه به مطالعه Vali و همکاران (۲۰۱۹) می توان بیان کرد که در مناطق کوهستانی به دلیل توپوگرافی ناهمگن، ارتباط بین پوشش گیاهی و دمای سطح تحت تأثیر عوامل توپوگرافی قرار دارد. با توجه به اینکه دمای سطح زمین در مقیاس محلی یا منطقه ای می تواند تحت تأثیر عوامل دیگر، تبخیر، تعرق و آلودگی قرار گیرد، در مطالعات آینده عوامل دیگر به عنوان مثال تغییر در میزان انتشار، توزیع مجدد گرمای محسوس، انتشار گازهای دی اکسید کربن و ترکیبات آلی فرا بیوژنیک در نظر گرفته می شود تا نتایج قوی تری حاصل شود. با این حال، دما به عنوان مهم ترین

نتیجه گیری

پوشش گیاهی از طریق تعادل عوامل محیطی، سبب حفاظت و پایداری محیط زیست می شود. با توجه به اهمیت پوشش گیاهی، محققان بسیاری بر شناخت رشد و الگوهای مکانی پوشش گیاهی در مناطق مختلف اقدام نموده اند؛ با توجه به هدف پژوهش پیش رو که بررسی شاخص های پوشش گیاهی تحت تأثیر عوامل اقلیمی با استفاده از تصاویر ستینل ۲ بود، در یک نگاه کلی، نتایج مربوط به مطالعه حاضر نشان داد که از بین شاخص های گیاهی مورد مطالعه مستخرج از تصاویر ماهواره ای، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی با فاکتورهای اقلیمی منطقه از بیشترین ضریب همبستگی برخوردار هست. این نتیجه حاکی از آن است که ویژگی های پوشش گیاهی و اقلیمی در هر منطقه بر کاربرد شاخص گیاهی مناسب برای پژوهش های مربوط به اثرات تغییر اقلیم بر تغییرات پوشش جنگلی مؤثر است. آگاهی از شاخص های پوشش گیاهی متأثر از اقلیم در یک مکان می تواند بسیاری از مدیران و مجریان مرتبط با محیط زیست و منابع طبیعی را نسبت به تصمیم گیری های آینده در زمینه مدیریت و کنترل منابع طبیعی، اکوسیستم و اراضی جنگلی یاری رساند.

در راستای پژوهش حاضر پیشنهاد می شود تأثیر عوامل اقلیمی بر پوشش گیاهی مناطق مورد مطالعه در جهت های جغرافیایی مختلف مورد بررسی قرار گیرد. همچنین در صورت در دسترس بودن اطلاعات اقلیمی، عوامل دیگری مانند رطوبت نسبی، سرعت باد، تبخیر و تعرق به منظور دست یافتن به نتایج مطلوب تر نیز استفاده شود. از جمله منابع بروز خطا می توان به نوع تصویر ماهواره ای مورد استفاده اشاره کرد که در این خصوص، پیشنهاد می شود در صورت امکان مالی و دسترسی، از تصاویر اسپات به دلیل رزولوشن بالاتر آن ها، استفاده شود.

گیاهی بر دما و بارندگی در طول فصل رشد از سال ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن است که شاخص تفاوت نرمال شده گیاهی در این منطقه شاخص مناسب تری بوده است.

Souza و همکاران (۲۰۱۶) نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. آن ها با بررسی تغییرات شاخص NDVI و بارش در جنگل های مناطق نیمه خشک در شمال شرق برزیل نشان دادند که تغییرات NDVI بیشتر از تغییرات بارش در فصل رشد پیروی می کند که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت ندارد. در این پژوهش تأثیر شاخص تفاوت نرمال شده نسبت به بارش با ضریب همبستگی پایینی به دست آمد و شاخص هایی چون شاخص پوشش گیاهی و شاخص پوشش گیاهی تفاضلی سبز نرمال شده تأثیر بیشتری بر بارندگی منطقه داشتند. البته به این نکته باید توجه کرد که شرایط متفاوت هر منطقه نیز از عوامل مهمی است که در تعیین نوع روابط بین پوشش گیاهی و بارش اثرگذار است. محققان با استفاده از تصاویر ماهواره ای و داده های بارندگی به بررسی تغییرات پوشش گیاهی در مناطق مختلف در شرق آفریقا پرداخته اند، آن ها دریافتند که شرایط منطقه نیز باعث می شود که روابط مختلفی بین تغییرات پوشش گیاهی و بارندگی وجود داشته باشد اگرچه به طور معمول با افزایش میزان بارش، پوشش گیاهی افزایش می یابد، اما نتایج این مطالعه نشان داد که تحت تأثیر نوع کاربری اراضی و عوامل محیطی مناطقی وجود دارد که دارای بارش زیاد و پوشش کم و یا برعکس هستند (نیکسون، ۱۹۹۰).

Liang و همکاران (۲۰۰۵) در شمال کشور چین تغییرات پوشش گیاهی و میزان بارندگی را بررسی کردند، نتایج نشان داد که علاوه بر بارش عوامل محیطی دیگر همچون وجود رطوبت بالا در این مناطق متأثر بر حضور پوشش گیاهی است.

Sensing and Space Science, 14(1), 49-56.

8- Bastiaanssen, W.G.M.; Ahmad, M.D.; Chemin, Y., 2002.

Satellite Surveillance of Evaporative Depletion across the Indus Basin. Water Resource Research, (38)12, 1-9.

9- Bayat, M, Knoke, T, Heidari, S. Hamidi, S.K. Burkhart, H. and Jaafari, A. 2022. Modeling Tree Growth Responses to Climate Change: A Case Study in Natural Deciduous Mountain Forests. Forests, DOI: 10.3390/f13111816

10- Bell, G.E.; Howell, B.M.; Johnson, G.V.; Solie, J.B.; Raun, W.R.; Stone, M.L., 2004. A comparison of measurements obtained using optical sensing with turf growth, chlorophyll content, and tissue nitrogen. Horticultural Science, 39(5), 1130-1132.

11- Chen, J.M., 1996. Evaluation of vegetation indices and a modified simple ratio for boreal applications. Canadian Journal of Remote Sensing, 22(3), 229-242.

12- Chu, H.; Venevsky, S.; Wu, C.; Wang, M., 2019. NDVI-based vegetation dynamics and its response to climate changes at Amur-Heilongjiang River Basin from 1982 to 2015. Science of the Total Environment, 650, 2051-2062.

13- Farajzadeh, M.; Fathnia, A.; Alijani, B.; Ziaian, P., 2012. Evaluation of the effect of climatic factors on vegetation growth in dense grasslands of Iran using AVHRR images. Natural Geography Researches (Geographical Researches), 43 (75), 1-13.

14- Farajzadeh Asl, M.; Gwaidel Rahimi, Y.; Osivand, F., 2019. Modeling the changes in vegetation greenness index with atmospheric precipitation in Zagros region. Natural Geography Quarterly, 11 (14), 1-17.

15- Feng, W.; Wu, Y.; He, L.; Ren, X.; Wang, Y.; Hou, G.; Wang, Y.; Liu, W.; Guo, T., 2019. An optimized non-linear vegetation index for estimating leaf area index in winter wheat. Precision Agriculture, 20, 1157-1176.

16- Goodarzi, M.; Pourhashemi, M.; Azizi, Z., 2019. Investigation on Zagros forests cover changes under the recent droughts using satellite imagery. Journal of Forest Science, 65 (1), 9-17.

تقدیر و تشکر

پژوهش حاضر با حمایت مالی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری انجام شده است. به این وسیله از معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه برای تأمین مالی طرح پژوهشی با کد (۰۶-۱۴۰۱-۰۴) تشکر و قدردانی می شود.

منابع و مأخذ

1- Abdolizadeh, Z.; Ghorbani, A.; Mostafazadeh, R.; Moameri, M., 2020. Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran, Arabian Journal of Geosciences, 13, 245 (2020).

2- Ahmadi, B.; Ghorbani, A.; Safarrad, T.; Sobhani, B., 2015. Evaluation of surface temperature in relation to land use/cover using remote sensing Data. Journal of RS and GIS for Natural Resources (Journal of Applied RS & GIS Techniques in Natural Resource Science), 6(1), 66-77.

3- Amiri, M.; and Pourghasemi, H.R., 2022. Mapping the NDVI and monitoring of its changes using Google Earth Engine and Sentinel-2 images. In Computers in Earth and Environmental Sciences, 127-136.

4- Askarizadeh, D.; Arzani, H.; Jaffari, M.; Bazrafshan, J.; Prentice, I.C., 2018. Surveying of the past, present and future of vegetation changes in the central Alborz ranges in relation to climate change. RS & GIS for Natural Resources, 9(3), 1-18.

5- Bajwa, S. G.; Mozaffari, M., 2007. Effect of N availability on vegetative index of cotton canopy: A spatial regression approach. Trans. ASABE, 50(5), 1883-1892.

6- Balew, A.; Korme, T., 2020. Monitoring land surface temperature in Bahir Dar city and its surrounding using Landsat images. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science. doi:https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.02.001.

7- Barati, S.; Rayegani, B.; Saati, M.; Sharifi, A; Nasri, M., 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. The Egyptian Journal of Remote

- precipitation) on growth characteristics of trees (case study: Farim forest). *Forest Research and Development*, 6(4): 593-607. doi: 10.30466/jfrd.2020.120877.
- 26- Hamidi, S.K.; de Luis, M.; Bourque, Ch. P.-A.; Bayat, M.; Serrano-Notivol. R., 2022. Projected biodiversity in the Hyrcanian Mountain Forest of Iran: an investigation based on two climate scenarios. *Biodiversity and Conservation*, <https://doi.org/10.1007/s10531-022-02470-1>.
- 27- Heink, U.; Kowarik, I., What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecol. Ind* 2010, 10, 584-593.
- 28- Heydarian Agakhani, M.; Tamertash, R.; Jafarian, Z.; Turkesh Esfahani, M.; Tatian, M. R., 2016. Forecasting the effects of climate change on the potential distribution of *Amygdalus scoparia* species using consensus modeling in Central Zagros. *Remote sensing and geographic information system in natural resources*, 8(3), 1-14.
- 29- Hu, S.; Wang, F.Y.; Zhan, C.S.; Zhao, R.X.; Mo, X.G.; Liu, L.M., 2019. Detecting and attributing vegetation changes in Taihang Mountain, China. *Journal Mt science*, 16 (2), 337-350. <https://doi.org/10.1007/s11629-018-4995-1>
- 30- IPCC, Climate Change 2007. The Physical Science Basis. Contribution of I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 p.
- 31- Janizadeh, S.; Avand, M.; Jaafari, A.; Phong, TV.; Bayat, M.; Ahmadisharaf, E.; Prakash, I.; Pham, BT.; Lee, S., 2019. Prediction success of machine learning methods for fash food susceptibility mapping in the Tafresh Watershed. *Iran Sustain*, 11 (19), 5426.
- 32- Kalbi, S.; Fallah, A.; Shataee, Sh.; Bettinger, P.; Yousefpour, R., 2019. Growth and yield models for uneven-aged forest stands man-aged under a selection system in northern Iran. *Eurasian Journal Forest Science*, 7 (3), 321-333.
- 33- Lian, X.; Jiao, L.; Liu, Z.; Jia, Q.; Zhong, J.; Fang, M.; Wang, W., 2022. Multi-spatiotemporal heterogeneous
- 17- Goldsmith, F.B., 1991. *Monitoring for Conservation and Ecology*. Chapman & Hall, United Kingdom, 275p.
- 18- Govil, H.; Guha, S.; Diwan, P.; Gill, N.; Dey, A., 2020. Analyzing linear relationships of LST with NDVI and MNDISI using various resolution levels of Landsat 8 OLI and TIRS data. In: *Data Management, Analytics and Innovation*. Springer, 171-184. https://doi.org/110.1007/1978-1981-1032-9949-2020, 1008_1013.
- 19- Guan, Q.; Yang, L.; Guan, W.; Wang, F.; Liu, Z.; Xu, C.H., 2018. Assessing vegetation response to climatic variations and human activities: spa-tiotemporal NDVI variations in the Hexi Corridor and surrounding areas from 2000 to 2010. *Theor Appl Climatol*, 135, 1179–1193. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2437-1>.
- 20- Guha, S.; Govil, H., 2020. An assessment on the relationship between land surface temperature and normalized difference vegetation index. *Environment. Development and Sustainability*, doi: 10.1007/s10668-020-00657-6.
- 21- Hamidi, S.K.; Fallah, A.; Bayat, M.; Hosseini yekani. S.A., 2019. Investigating the diameter and height models of beech trees in uneven age forest of northern Iran (Case study: Forest Farim), *Iranian Forest Ecology*, 3 (11): 373-386.
- 22- Hamidi, S.K.; Fallah, A.; Bayat, M.; Hosseini yekani, S.A., 2017. Determining the Forest Volume Growth using Permanent Sample Plots (Case Study: Farim Forest, Jojadeh District). *Ecology of Iranian Forest*, 4 (8): 1-8.
- 23- Hamidi, S.K.; Weiskittel, A.; Bayat M.; Fallah. A., 2021. Development of individual tree growth and yield model across multiple contrasting species using nonparametric and parametric methods in the Hyrcanian forests of northern Iran. *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-020-01340-1>.
- 24- Hamidi, S.K.; Eric, Z.; Bayat, M.; Fallah, A., 2021. Analysis of Plot-level Volume Models Developed from Data Mining Applied to an Uneven-aged, Mixed Forest. *Annals of forest science*.
- 25- Hamidi, S.K.; Fallah, A.; Bayat, M.; de Luis, M., 2021. The effects of climate variables (temperature and

- 42- Prăvălie, R.; Sîrodoev, I.; Nita, I.A.; Patriche, C.; Dumitraşcu, M.; Roşca, B.; Tişcovschi, A.; Bandoc, G.; Săvulescu, I.; Mănoiu, V.; Birsan, M.V., 2022. NDVI-based ecological dynamics of forest vegetation and its relationship to climate change in Romania during 1987–2018. *Ecological Indicators*, 136, 108- 629.
- 43- Roujean, J.L.; Breon, F.M., 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing of Environment*, 51(3), 375-384.
- 44- Rouse J.W.; Haas, R.H.; Schell, J.A.; Deering, D.W., 1973. Monitoring vegetation system in the Great Plains with ERTS: Proceedings of the Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. Washington DC, 309-317.
- 45- Sagheb-Talebi, K.; Sajedi, T.; Pourhashemi, M., 2014. *Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future*. Netherlands: Springer Publishing.
- 46- Sanaiejad, S. H.; Shah Tahmasbi, A. R.; Sadr Abadi Haghighi, R.; Kelarestani, K., 2008. A study of spectral reflection on wheat fields in Mashhad using MODIS data. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 12(45), 11-19.
- 47- Scanlon, T.; Albertson, M.; John. D.; Caylor, Kelly. K.; Williams, Chris. A., 2002. Determining land surface fractional cover from NDVI and precipitation time series for a Savanna Ecosystem. *Remote Sensing of Environment*, 82, 376-388.
- 48- Souza, R.; Feng, X.; Antonino, A.; Montenegro, S.; Souza, E.; Porporato, A., 2016. Vegetation response to rainfall seasonality and interannual variability in tropical dry forests. *Hydrological Processes*, 30 (20), 3583-3595.
- 49- Timmer, B.; Reshitnyk, L.Y.; Hessing-Lewis, M.; Juanes, F; Costa, M., 2022. Comparing the Use of Red-Edge and Near-Infrared Wavelength Ranges for Detecting Submerged Kelp Canopy. *Remote Sensing*, 14(9), p.2241.
- 50- Vali, A.; Ranjbar, A.; Mokarram, M.; Taripana, F., 2019. An investigation of the relationship between land surface temperatures, geographical and environmental characteristics, and biophysical indices from Landsat legacy effects of climate on terrestrial vegetation dynamics in China. *GIS cience & Remote Sensing*, 1-20.
- 34- Liang, E.Y.; Shao, X.M.; He, J.C., 2005. Relationships between tree growth and NDVI of grassland in the semiarid grassland of north China. *International Journal of Remote Sensing* 26(13), 2901–2908.
- 35- Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W., 1987. *Remote Sensing and Image Processing*. John Wiley & Sons, Inc, New York, NY, USA.
- 36- Mohammadi, A.; Qazavi, R.; Mirzai, R.; Naseri, H., 2019. Examining the pattern of vegetation changes using MODIS sensor images and its relationship with precipitation. *Pasture and Watershed, Journal of Natural Resources of Iran*, 72 (3), 852-843.
- 37- Mahdovian, S.; Zinali, B.; Salahi, B., 2022. Monitoring of land use changes and its relationship with surface temperature and vegetation index in southern areas of Ardabil province (Givi Chai catchment area). *Remote sensing and geographic information system in natural resources* 2021, published online from November.
- 38- Motohka, T.; Nasahara, K.N.; Oguma, H.; Tsuchida, S., 2010. Applicability of green-red vegetation index for remote sensing of vegetation phenology. *Remote Sensing*, 2 (10), 2369-2387.
- 39- Naji, T.A., May. 2018. Study of vegetation cover distribution using DVI, PVI, WdVI indices with 2D-space plot. In *Journal of Physics. Conference Series*, 1003(1), 12-83). IOP Publishing.
- 40- Nickolson, S.E.; Davenport, M.L.; Malo, A.L., 1990. A Comparision of the Vegetation Response to Precipitation in the Sahel and East Africa Using Normalized Defference Vegetation Index from NOAA AVHRR. *Climatic Change*, 17, 209-241.
- 41- Pôças, I.; Cunha, M.; Pereira, L.S; Allen, R.G., 2013. Using Remote Sensing Energy Balance and Evapotranspiration to Characterize Montane Landscape Vegetation with Focus on Grass and Pasture Lands. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 159–172.

- images. RS & GIS for Natural Resources, 10 (3), 35-58.
- 51- Valizadeh Kamran, Kh.; Zand Karimi, A.; Abedi Qashlaghi, H.; Zand Karimi, S., 2014. Investigating climate changes and its effect on vegetation index in Arsbaran forest protected area using remote sensing and GIS (Khoda Afarin case study). National Conference on Climate Change and Engineering Sustainable Development of Agriculture and Natural Resources, 5th of July, Tolo Farzin Science and Industry Company, Hamedan.
- 52- Wu, W., 2014. The generalized difference vegetation index (GDVI) for dryland characterization. Remote Sensing, 6(2), 1211-1233.
- 53- Yamani, M.; Muzhesi, M.A., 2009. Investigating surface changes and vegetation cover of Siah Kouh desert using remote sensing data, Journal of Geography Research, 11, 4-42 pp.
- 54- Yin, G.; Hu, Z.; Chen, X.; Tiyp, T., 2016. Vegetation dynamics and its response to climate change in Central Asia. Journal of Arid Land, 8 (3), 375-388.

COPYRIGHTS

©2023 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 3.0 Unported \(CC BY-ND 3.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/3.0/)

