

ارزیابی تأثیر وضعیت پوشش گیاهی بر ارتباط متقابل آن با رطوبت سطحی خاک در مناطق نیمه خشک

فهیمه رستمی^۱، مرزبان فرامرزی^{۲*}، رضا امیدی پور^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۱

چکیده

این تحقیق با هدف بررسی رابطه متقابل پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک و تأثیر تغییر در کلاس وضعیت پوشش گیاهی بر نوع و شدت ارتباط بین پوشش و رطوبت خاک در شهرستان ایوان در استان ایلام انجام گرفته است. در این راستا و با استفاده از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ OLI و با به کارگیری شاخص های پوشش گیاهی (NDVI و MSAVI) و رطوبت خاک (NDWI و LSWI)، ارتباط بین پوشش و رطوبت با استفاده از رگرسیون خطی بررسی گردید. براساس نتایج، بررسی ارتباط پوشش و رطوبت خاک نشان داد ارتباط مثبت و معنی داری ($P\text{-value} < 0.05$) بین شاخص های پوشش گیاهی و رطوبت وجود دارد. ضریب همبستگی پیرسون بین شاخص NDVI با شاخص های NDWI و LSWI به ترتیب برابر 0.75 و 0.73 و بین شاخص MSAVI با شاخص های NDWI و LSWI به ترتیب برابر 0.75 و 0.74 بود. بررسی تأثیر کلاس وضعیت پوشش گیاهی بر ارتباط پوشش و رطوبت خاک نشان داد در شاخص NDVI بیشترین همبستگی مشاهده شده با شاخص های NDWI و LSWI در کلاس وضعیت متراکم (به طور مشابهی $r=0.91$ and $P\text{-value} < 0.001$) و کلاس وضعیت خوب (به ترتیب $r=0.72$ and $P\text{-value} < 0.001$) و متراکم بود (برای هر دو شاخص NDWI و LSWI به ترتیب $r=0.88$ and $P\text{-value} < 0.001$ and $r=0.72$ and $P\text{-value} < 0.001$). درحالی که کمترین ارتباط در طبقات بدون پوشش و پوشش فقیر دیده شد. در نهایت مجموع نتایج نشان می دهد ارتباط پوشش و رطوبت خاک ارتباط مثبت و قوی بوده و هرچه وضعیت پوشش متراکم تر، این ارتباط قوی تر خواهد بود. همچنین سنجش از دور ابزار قدرتمندی برای تعیین وضعیت پوشش گیاهی مناطق مختلف است. شاخص MSAVI برای استفاده جهت تفکیک کلاس های وضعیت پوشش مناطق نیمه خشک کاربردی تر است.

کلیدواژه ها: شاخص های پوشش گیاهی، NDVI، MSAVI، شاخص های رطوبت سطحی خاک، LSWI، NDWI، تصاویر ماهواره ای، ضریب همبستگی پیرسون.

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، f.rostami2@ilam.ac.ir

۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، نویسنده مسئول، m.faramarzi@ilam.ac.ir

۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران، r.omidipour@ilam.ac.ir

مقدمه

مراتع یکی از مهم‌ترین و گسترده‌ترین اکوسیستم‌های زمینی هستند که پویایی و پایداری آن‌ها ناشی از تعاملات پیچیده بین عوامل زنده و غیرزنده از قبیل پوشش گیاهی، خاک، آب و هوا و فعالیت‌های انسانی است (مارتین-سوتوکا^۱ و همکاران، ۲۰۲۴). پوشش گیاهی با عوامل بسیاری در طبیعت رابطه مثبت و مستقیم دارد و از آنجاکه بارندگی مهم‌ترین عامل برای رشد پوشش گیاهی است (یو^۲ و همکاران، ۲۰۰۶)، رطوبت خاک عمده‌تأ به عنوان یک پارامتر کلیدی که پوشش گیاهی و بارندگی را به هم مرتبط می‌کند، شناخته شده است (ناندین تستسگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۰). بنابراین رطوبت خاک به عنوان یک قاعده کلی، بر میزان تاج پوشش گیاهان به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک تأثیرگذار است (باغانی و همکاران، ۲۰۲۴). به طور کلی، رطوبت خاک به میزان آبی گفته می‌شود که در فضای بین ذرات خاک وجود دارد. آنچه به عنوان رطوبت سطحی خاک تشخیص داده می‌شود، میزان آب موجود در خاک در لایه‌های سطحی خاک (برای مثال تا عمق ۱۰ سانتی متری) است که به آن، رطوبت سطحی خاک گفته می‌شود (معظم و همکاران، ۲۰۱۸) و کمبود آن به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک، معمولاً مهم‌ترین عامل تنش برای فعالیت پوشش گیاهی است (ناندین تستسگ، ۲۰۱۰). از طرف دیگر، خاک‌هایی با پوشش گیاهی متراکم، از پتانسیل بیشتری برای جذب آب و حفظ رطوبت سطح خاک در مقایسه با خاک‌هایی با پوشش گیاهی کم‌تراکم، یا خالی از پوشش، برخوردارند. بنابراین، افزایش تراکم پوشش گیاهی تأثیر مثبتی بر الگوی رطوبت خاک خواهد داشت (ژو^۴ و همکاران، ۲۰۲۱). براساس پژوهش‌های اخیر، تغییرات رطوبت خاک را می‌توان براساس تغییرات پوشش گیاهی ردیابی کرد (نیو^۵ و همکاران، ۲۰۲۳) و درمقابل برای تخمین رشد گیاه در مراتع، رطوبت خاک نسبت به

بارندگی ابزار قابل اطمینانی است (آندلس^۶ و همکاران، ۲۰۰۶). برخی نتایج مطالعات نشان داده‌اند که پوشش گیاهی برای بهبود رطوبت خاک مفید است؛ برای مثال، مشخص شده است که سایه‌های گیاهان، دمای سطح زمین و تبخیر خاک را کاهش داده و پس از آن، رطوبت خاک را افزایش می‌دهد (وانگ^۷ و همکاران، ۲۰۰۹). یانگ^۸ و همکاران (۲۰۱۲) معتقد بودند که توسعه معقول پوشش گیاهی می‌تواند منجر به تجمع رطوبت خاک شود. در تحقیقی دیگر، لی^۹ و همکاران (۲۰۰۸) پس از تجزیه و تحلیل داده‌های مشاهده‌ای سنجش از دور، مشخص کردند که در شرایط نسبتاً مرطوب، حفظ آب در مناطق جنگلی و بوته‌زارها بهتر از زمین‌های زراعی و مراتع است. بنابراین در بررسی ارتباط پوشش و رطوبت خاک، تفکیک کلاس‌های مختلف وضعیت پوشش از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ زیرا انواع مختلف پوشش گیاهی، دارای ارتباطات ویژه و خاصی با رطوبت خاک هستند. با توجه به تنوع و گستردگی انواع پوشش‌های گیاهی مختلف، برای بررسی ارتباط پوشش گیاهی و رطوبت خاک می‌توان از سنجش از دور که پرکاربردترین ابزار در چند دهه اخیر برای جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل داده می‌باشد (کمبل و وین^{۱۰}، ۲۰۱۱)، و مدل رگرسیون خطی (سبیر و لی^{۱۱}، ۲۰۰۳) استفاده کرد. توسعه و پیشرفت علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی نشان داده که سنجش از دور یک ابزار قدرتمند برای اندازه‌گیری و بررسی ارتباط بین منابع زمینی از جمله رطوبت خاک، دمای خاک پوشش گیاهی، به وسیله تولید شاخص‌های مختلف است (باداپالی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۱). در سال‌های اخیر، با گسترش علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی شاخص‌های بسیار مناسبی از جمله شاخص‌های پوشش گیاهی، رطوبت خاک و دمای خاک برای پایش اراضی مورد استفاده قرار گرفته است (بهروزه و همکاران، ۲۰۲۵)؛ برای مثال باغانی و همکاران (۲۰۲۴) با

6. Andales

7. Wang

8. Yang

9. Li

10. Campbell & Wynne

11. Lee & Seber

12. Badapalli

1. Martín-Sotoca

2. Yu

3. Nandintsetseg

4. Zhu

5. Niu

شده و شاخص‌های کمتری را مورد استفاده قرار داده‌اند. در این راستا این مقاله با هدف بررسی رابطه بین پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک و همچنین بررسی تأثیر تراکم‌های مختلف پوشش بر این ارتباط انجام شده است. بنابراین در این تحقیق علاوه بر بررسی رابطه کلی، تأثیر کلاس‌های وضعیت پوشش مختلف بر این ارتباط نیز بررسی شده است. همچنین نوع شاخص‌های استفاده در این تحقیق نیز متفاوت بوده است.

مناطق نیمه خشک در معرض کمبود بارش و دوره‌های خشکسالی هستند (دستورانی و همکاران، ۲۰۱۹) که این مشکل تأثیر زیادی بر میزان رطوبت خاک دارد (حسینی و همکاران، ۲۰۲۴). از طرف دیگر، رطوبت یک عامل حیاتی برای مراحل مختلف رشد گیاه است (رودریگز-ایتورب^۱ و همکاران، ۱۹۹۹). بنابراین به صورت کلی وجود ارتباط بین پوشش گیاهی و رطوبت خاک به ویژه در مناطق نیمه خشک که موضوع کمبود رطوبت بسیار حساس می‌باشد، مسئله‌ای انکارناپذیر است؛ اما میزان و جهت این ارتباط و همچنین بررسی آن در تراکم‌های مختلف گیاهی نیاز به اثبات علمی دارد. شهرستان ایوان به دلیل دارا بودن اقلیم نیمه خشک که بر میزان رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد و همچنین وجود خط لوله انتقال گاز به شهرهای اطراف که باعث تخریب پوشش گیاهی می‌شود، منطقه مناسبی برای انجام این تحقیق بوده و در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته است.

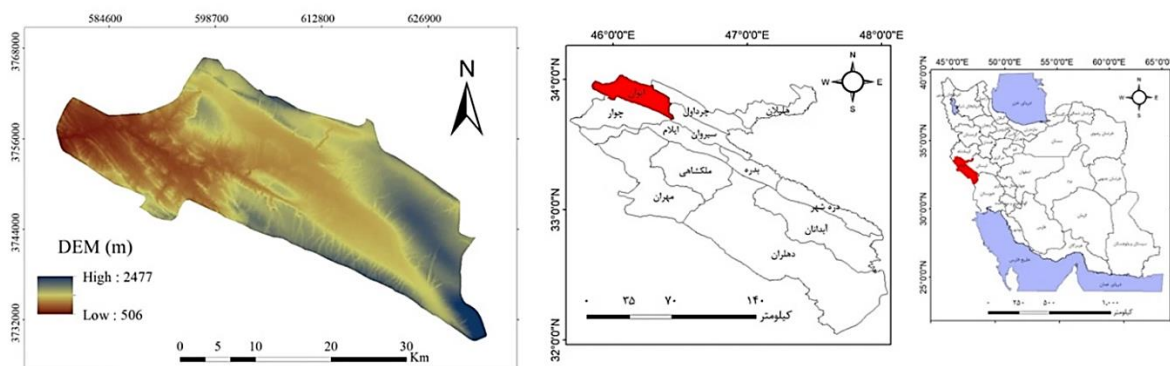
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، شهرستان ایوان، یکی از شهرستان‌های استان ایلام با مساحتی برابر ۸۷۷۱۰ هکتار واقع در طول جغرافیایی ۴۶° ۲۶' تا ۴۵° ۵۰' و عرض جغرافیایی ۳۴° ۲' تا ۳۳° ۴۱' است. براساس اطلاعات هواشناسی ایستگاه سینوپتیک واقع در شهر ایوان (۱۳۷۸-۱۴۰۳)، میانگین بارندگی بلندمدت سالانه در این منطقه ۶۶۷/۷ میلی متر بوده و اقلیم آن براساس طبقه‌بندی‌های مختلف در محدوده مدیترانه‌ای تا نیمه خشک قرار دارد. همچنین میانگین دمای

استفاده از فناوری سنجش از دور، میزان تاج پوشش جنگلی و رطوبت خاک را اندازه‌گیری و همبستگی آن‌ها را در ناحیه جنگلی سپیددشت استان لرستان بررسی کردند. نتایج نشان داد بین رطوبت خاک و شاخص NDVI همبستگی کامل وجود داشته و رطوبت خاک به تغییرات تاج پوشش وابستگی کامل دارد. ناندین تستسگ و همکاران (۲۰۱۰) رابطه بین رطوبت خاک مدل‌سازی شده منطقه ریشه (Wm) و فعالیت پوشش گیاهی را براساس داده‌های شاخص NDVI مستخرج از تصاویر ماهواره‌ای را برای استپ‌های کشور مغولستان در دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۵ بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که در مقیاس بین سالانه، فعالیت پوشش گیاهی در درجه اول توسط رطوبت خاک سال جاری کنترل می‌شود. در پژوهشی دیگر، بهروزه و همکاران (۲۰۲۵) رابطه پوشش گیاهی با رطوبت و دمای خاک با استفاده از سنجش از دور و تحلیل همبستگی در طبقات ارتفاعی و کاربری‌های مختلف را با استفاده از شاخص NDVI و SWV بررسی کردند. نتایج حاکی از آن بود که بیشترین همبستگی مثبت بین پوشش گیاهی و رطوبت خاک تابعی از تغییرات طبقات ارتفاعی و کاربری‌های مختلف بود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت بین رطوبت خاک و پوشش گیاهی رابطه‌ای متقابل برقرار بوده و انتظار می‌رود که این ارتباط مستقیم و مثبت باشد و برای اثبات آن باید تحقیقات لازم به عمل آید. در مطالعات پیشین، مسائلی که مورد توجه قرار گرفته، بیشتر شامل رابطه میان پوشش گیاهی با رطوبت خاک در اعماق مختلف و یا در منطقه ریشه بوده و کمتر به رابطه بین پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک (عمق ۰-۱۰ سانتی متری) پرداخته شده است. از طرفی، وابستگی به آب در بین کلاس‌های مختلف پوشش گیاهی متغیر است؛ برای مثال، به طور کلی گیاهان یک ساله دارای وابستگی بیشتری به آب سطحی هستند در حالی که گیاهان چندساله، به دلیل توسعه سیستم ریشه در اعماق خاک، وابستگی کمتری به رطوبت سطحی خواهند داشت؛ هرچند این موضوع تاکنون بررسی نشده است. در مطالعات اندک ایرانی و خارجی که در گذشته انجام شده، رابطه پوشش گیاهی و رطوبت فقط به صورت کلی بررسی

حداکثر سالانه ۲۳/۷ و میانگین حداقل دمای سالانه ۱۰/۸ درجه سانتی گراد است. میانگین تعداد ساعات آفتابی سالانه در این شهرستان برابر ۳۰۱۳/۵ ساعت است. همچنین تعداد روزهای همراه با بارندگی در سال ۱۴۰۳ برابر ۵۴ روز بوده است. حداکثر ارتفاع این منطقه ۲۴۷۷ و کمترین ارتفاع آن ۵۰۶ متر است (شکل ۱).



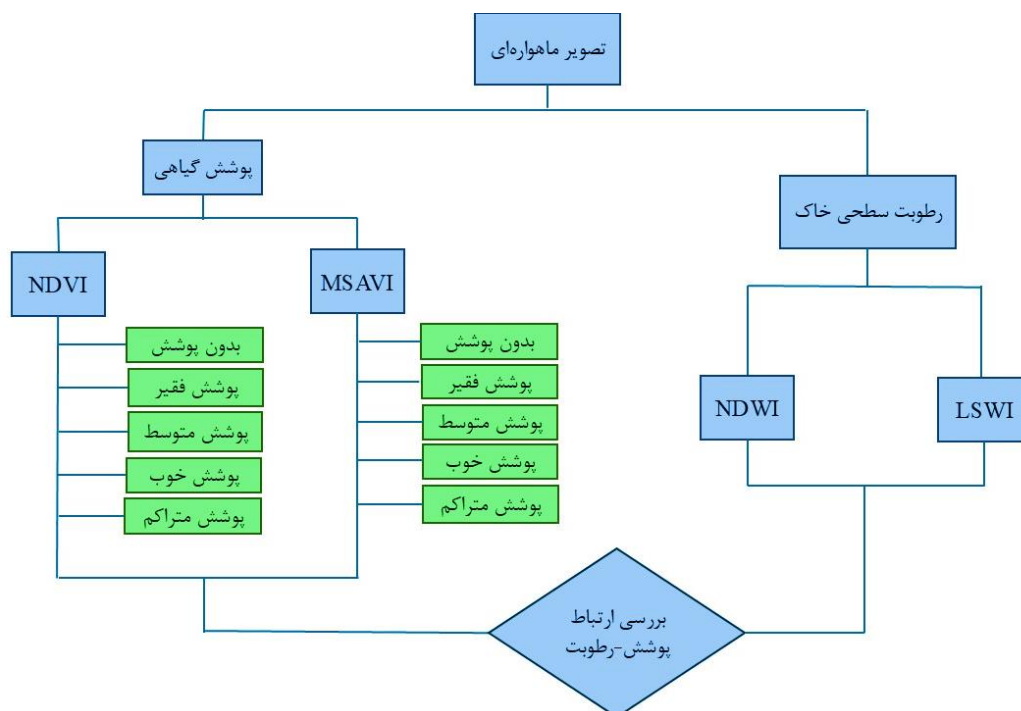
شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان ایلام و کشور

Figure (1): Location of the study area in Ilam Province and within the country

جمع‌آوری اطلاعات

در دهه‌های اخیر، تکنیک سنجش از دور در مطالعات بسیاری در زمینه پایش و طبقه‌بندی منابع کشاورزی، محیط‌زیست و جنگلی به کار گرفته شده است (آسکی^۱ و همکاران، ۲۰۱۸؛ شوشتاک^۲ و همکاران، ۲۰۱۸؛ کای‌زرمن^۳ و همکاران، ۲۰۱۹). از این رو در این تحقیق برای تهیه نقشه پوشش گیاهی از شاخص‌های پوشش گیاهی مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است (فلگاری^۴ و همکاران، ۲۰۲۲؛ گوننج و اوزردم، ۲۰۱۹). برای انجام این پژوهش تصویر ماهواره‌ای به تاریخ ۲۰۲۴/۶/۱۵، با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر و درصد ابرناکی صفر از سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا^۱ تهیه گردید. در این تحقیق برای کاهش خطای تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر اصلاح‌شده که با عنوان Lnadat Level-2 and Collection-2 نام‌گذاری شده‌اند و تصحیحات مورد نیاز اتمسفریک و ژئومتریک روی آن‌ها انجام شده است (امیدی‌پور و نداد، ۲۰۲۵) استفاده شد. مشخصات تصویر ماهواره‌ای استفاده‌شده در جدول (۱) آمده است.

1. Askae
2. Szostak
3. Caiserman
4. Felegari
5. Gonenc & Ozerdem



شکل (۲): طرح‌واره مراحل تحقیق

Figure (2): Flowchart of research steps

جدول (۱): مشخصات تصویر لندست استفاده شده در تحقیق

Table (1): Specifications of the Landsat image used in this study

ماهواره	سنجنده	تاریخ تصویر	اِبرناکی (درصد)	خطای هندسی (متر)
لندست ۸	OLI	1403/3/26	0.00	5.92

محاسبه شاخص‌ها

در این تحقیق، نقشه پوشش گیاهی با استفاده از دو شاخص مرسوم پوشش گیاهی تهیه شد: شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی^۱ (NDVI) پرکاربردترین شاخص برای سنجش از دور پوشش گیاهی (گانو،^۲ ۱۹۹۶)، که عمدتاً جهت پایش تغییرات پوشش گیاهی و ارتباط آن با پارامترهای اقلیمی و زیست محیطی استفاده شده است (اسکندری دامنه، ۲۰۲۲) و از رابطه (۱) به دست آمده است (راوس،^۳ ۱۹۷۳):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

در این رابطه، NIR و Red به باندهای مادون قرمز نزدیک و باند قرمز هستند. علاوه بر شاخص NDVI و با توجه به ماهیت نیمه خشک منطقه، یکی از شاخص‌های اصلاح‌کننده اثر بازتابش

خاک نیز مورد استفاده قرار گرفت. این گروه از شاخص‌ها با توجه به حساسیت کمتر به بازتابش خاک لخت، نتایج مطمئن‌تری فراهم می‌کنند (امیدی پور و نداف، ۲۰۲۵). در این تحقیق از نسخه اصلاح‌شده شاخص پوشش گیاهی تعدیل‌کننده اثر خاک (MSAVI) استفاده شده (چی^۴ و همکاران، ۱۹۹۴) که براساس رابطه (۲) محاسبه شده است (فابیانچیک و زاوادلزکی،^۵ ۲۰۲۲):

$$MSAVI2 = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - Red)}}{2} \quad (2)$$

در تحقیق حاضر، علاوه بر شاخص‌های پوشش گیاهی، دو شاخص رطوبت خاک نیز مورد استفاده قرار گرفت. شاخص نرمال‌شده تفاضل آب^۶ (NDWI) (دو^۷ و همکاران، ۲۰۱۴) که براساس بازتابندگی سطحی باندهای مادون قرمز نزدیک (NIR)

4. Qi

5. Fabijańczyk & Zawadzki

6. Normalized Difference Water Index

7. Du

1. Normalized Difference Vegetation Index

2. Gao

3. Rouse

بررسی ارتباط بین شاخص‌ها

در تحقیق حاضر، برای بررسی ارتباط بین پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک و همچنین ارتباط بین کلاس‌های مختلف وضعیت مرتع و رطوبت سطحی خاک از رگرسیون خطی بر پایه نقشه‌رستری^۴ استفاده شد. در این آنالیز، پوشش گیاهی به‌عنوان متغیر وابسته و رطوبت سطحی خاک به‌عنوان متغیر مستقل به مدل معرفی شدند. رگرسیون خطی برای یافتن یک رابطه خطی بین یک یا چند متغیر استفاده می‌شود (ماولد و عبدالعزیز،^۵ ۲۰۲۰)؛ زیرا تحلیل رگرسیون خطی ساده‌ترین و رایج‌ترین روش برای اندازه‌گیری روابط بین متغیرهای پیوسته است (هوپ،^۶ ۲۰۲۰). برای اولین بار، سر فرانسیس گالتون مفهوم رگرسیون خطی را در سال ۱۸۹۴ پیشنهاد کرد. رگرسیون خطی (آکگون و اوکودوچو،^۷ ۲۰۱۵؛ عبدالقادر و همکاران، ۲۰۲۰) یک آزمون ریاضی است که برای ارزیابی و تعیین کمیت رابطه بین متغیرهای مورد نظر استفاده می‌شود (ماولد و عبدالعزیز، ۲۰۲۰). همچنین همبستگی جزئی و رگرسیون آزمون‌هایی هستند که محققان را قادر می‌سازند تا رابطه بین دو متغیر را درک کرده و تأثیر ابهامات را ارزیابی کنند (سلیمان، ۲۰۲۰؛ زیباری^۸ و همکاران، ۲۰۱۹؛ زیباره^۹ و همکاران، ۲۰۲۰). تحلیل نتیجه مدل رگرسیون خطی با استفاده از عدد ضریب همبستگی پیرسون^{۱۰} انجام شده است. ضریب همبستگی پیرسون، ضریبی است که برای اندازه‌گیری رگرسیون خطی استفاده می‌شود (فرونه و والپول،^{۱۱} ۱۹۸۶؛ گلدمن و واینبرگ،^{۱۲} ۱۹۸۵) و مقدار آن بین -۱ تا +۱ متغیر است. در این ضریب، هرچه مقدار همبستگی به عدد +۱ یا -۱ نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده وجود رابطه قوی‌تر بین متغیرهاست. علامت ضریب همبستگی جهت ارتباط (مثبت یا منفی) و مقدار عددی آن، شدت رابطه را مشخص می‌کند (زو^{۱۳} و همکاران، ۲۰۰۳). در

و مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) محاسبه شده است، از رابطه^۳ (۳) به دست آمد (چاندرا سکار،^۱ ۲۰۱۰):

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (3)$$

همچنین شاخص آب سطحی زمین^۲ (LSWI) به رطوبت سطح خاک و گیاه حساس (نوروزی و همکاران، ۲۰۱۹) است و از رابطه^۴ (۴) به دست آمده است (دونگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۴):

$$LSWI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (4)$$

تعیین کلاس‌های وضعیت پوشش گیاهی

برای کلاس‌بندی وضعیت پوشش گیاهی، از نقشه‌های NDVI و MSAVI استفاده گردید و با استفاده از آستانه‌های تعیین‌شده، این نقشه‌ها طبقه‌بندی شده و کلاس‌های وضعیت پوشش تعیین شدند. به عبارت دیگر، در این روش (کلاس‌بندی نقشه پوشش)، براساس دامنه‌های مشخصی از مقادیر شاخص NDVI و MSAVI، کلاس‌های وضعیت مختلف پوشش گیاهی مشخص شدند. براساس این روش، مقدار شاخص NDVI و MSAVI پس از تهیه به ۵ کلاس (بدون پوشش، پوشش فقیر، پوشش متوسط، پوشش خوب پوشش متراکم) کلاس‌بندی شدند. با توجه به نیمه‌خشک بودن اقلیم منطقه مورد مطالعه، در این تحقیق از آستانه‌های پیشنهادی توسط جعفری و همکاران (۲۰۱۷) که برای مناطق خشک و نیمه‌خشک استان اصفهان ارائه شده، استفاده گردیده است (جدول ۲).

جدول (۲): دامنه‌های تعیین‌شده برای کلاس‌بندی وضعیت پوشش گیاهی

(جعفری و همکاران، ۲۰۱۷؛ فرامرزی و همکاران، ۲۰۱۸)

Table (2): Defined ranges for vegetation cover classification (Jafari et al., 2017; Faramarzi et al., 2018)

وضعیت پوشش	حداقل شاخص	حداکثر شاخص
Vegetation condition		
بدون پوشش	-۱	۰/۰۱
پوشش گیاهی فقیر	۰/۰۱	۰/۱۲
پوشش گیاهی متوسط	۰/۱۲	۰/۱۷
پوشش گیاهی خوب	۰/۱۷	۰/۲۸
پوشش گیاهی متراکم	۰/۲۸	۱

4. Raster-based linear regression

5. Maulud & Abdulazeez

6. Hope

7. Akgün & Ögüdücü,

8. Zeebaree

9. Zebare

10. Pearson correlation coefficient

11. Freund & Walpole

12. Goldman & Weinberg

13. Zou

1. Chandrasekar

2. Land Surface Water Index

3. Dong

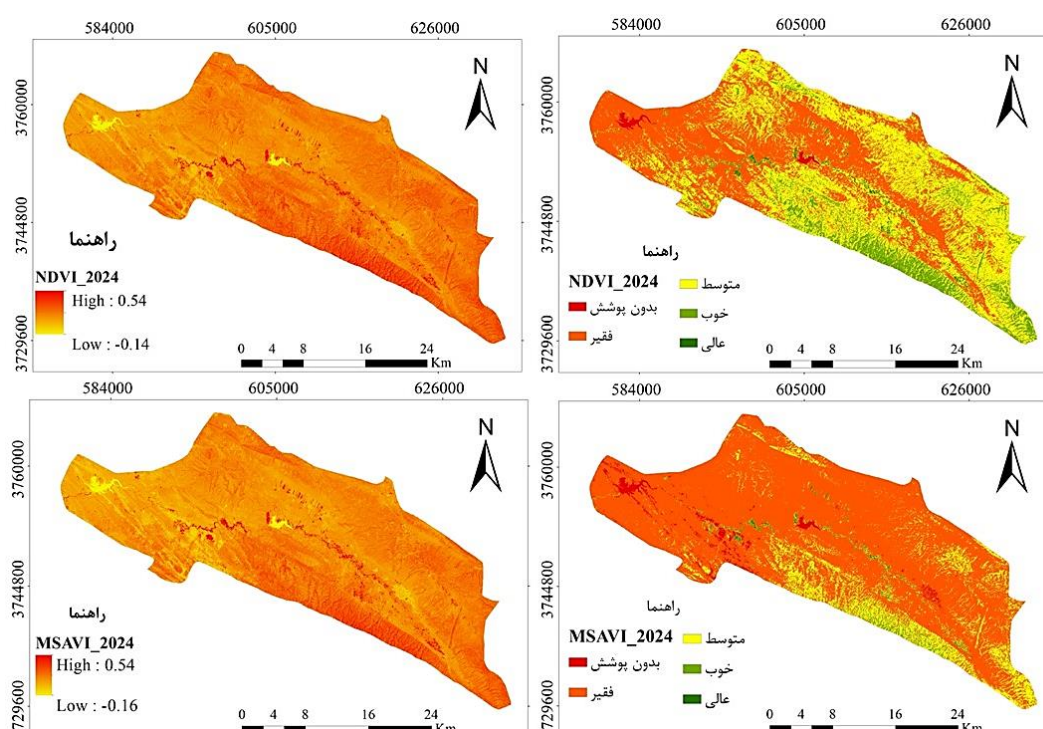
خوب و متراکم است. بیشترین مساحت (شکل ۳ و ۴) در بین کلاس‌های وضعیت پوشش شاخص NDVI و MSAVI کلاس وضعیت پوشش فقیر با مساحت‌های به ترتیب ۴۰۸۳۱/۷ (۴۶/۵۵ درصد) و ۸۰۳۸۵/۲ هکتار (۹۱/۶۵ درصد) بوده و کمترین مساحت برای کلاس پوشش متراکم در طبقه‌بندی هر دو شاخص با مساحت ۲۹۳/۷ هکتار (۰/۴۹ درصد) در شاخص NDVI و ۴۲۵/۶ هکتار (۰/۳۳ درصد) در شاخص MSAVI است.

تحقیق حاضر، برای بررسی رگرسیون خطی ارتباط بین نقشه‌های پوشش گیاهی و رطوبت خاک از نرم‌افزار IDRISI TerrSet ver 19.0 استفاده شد.

نتایج

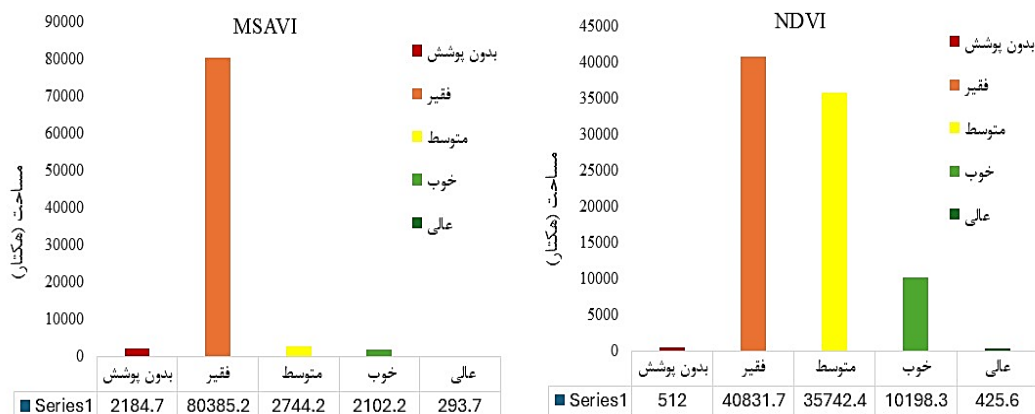
نتایج کلاس‌بندی وضعیت پوشش

نقشه‌های شاخص‌های NDVI و MSAVI و کلاس‌بندی وضعیت پوشش مربوط به هر کدام در شکل (۲) آمده است. نتایج طبقه‌بندی وضعیت پوشش در شهرستان ایوان نشان‌دهنده پنج کلاس وضعیت بدون پوشش، پوشش فقیر، پوشش متوسط،



شکل (۲): نقشه شاخص‌های NDVI و MSAVI به همراه کلاس‌بندی وضعیت پوشش آن‌ها

Figure (2): Maps of NDVI and MSAVI indices along with the classification of their vegetation cover status



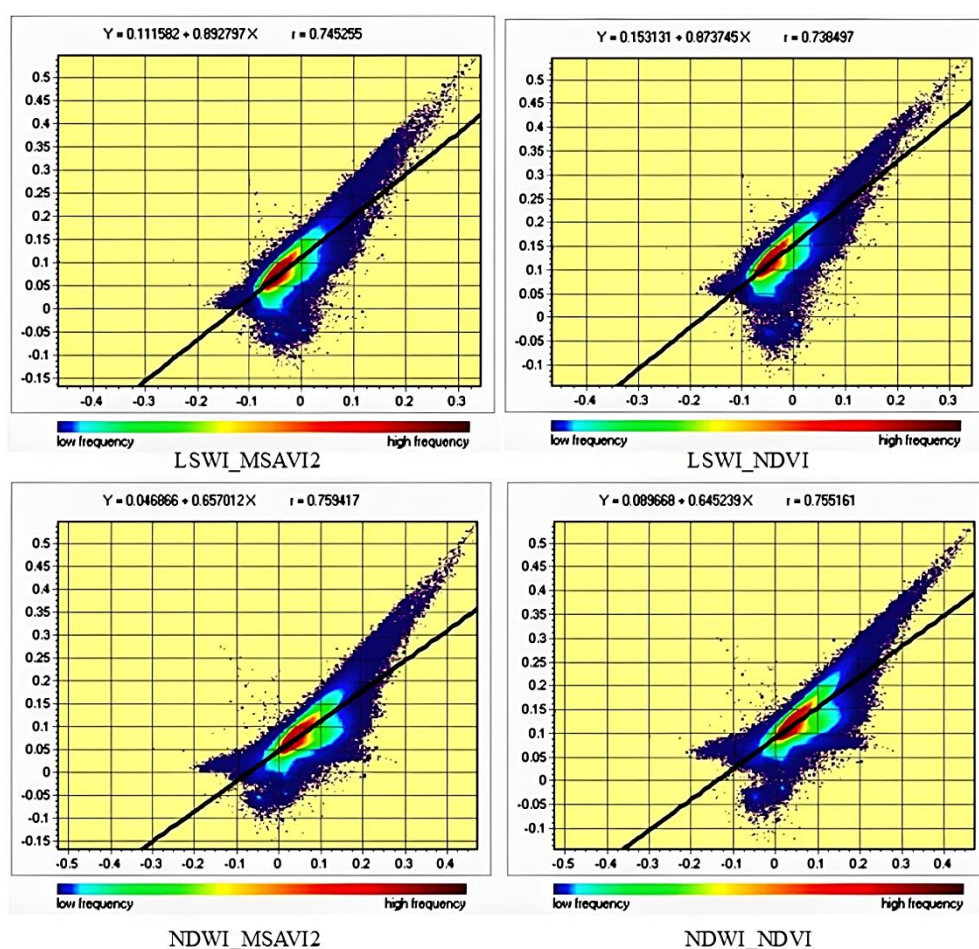
شکل (۳): مساحت طبقات مختلف پوشش گیاهی در شاخص‌های MSAVI و NDVI

Figure (3): Area of different vegetation cover classes in the MSAVI and NDVI indices

بررسی رابطه پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک

نتایج رگرسیون گیری بین شاخص های پوشش و رطوبت سطحی خاک در شکل (۴) آمده است. همان طور که در شکل (۴) مشاهده می شود، مقدار ضریب همبستگی بین شاخص NDVI و NDWI برابر ۰/۷۵، بین این شاخص و LSWI برابر ۰/۷۳ بوده است. همچنین مقادیر به دست آمده این ضریب در بررسی رابطه بین شاخص MSAVI و شاخص های NDWI و LSWI به ترتیب برابر ۰/۷۵ و ۰/۷۴ است. بنابراین مقادیر

به دست آمده ضریب همبستگی از نتایج رگرسیون خطی بین شاخص های پوشش گیاهی و شاخص های رطوبت سطحی در همه حالات به عدد ۱ بسیار نزدیک بوده اند و اختلاف قابل توجهی در مقدار اعداد به دست آمده برای شاخص های مختلف دیده نشد. مقادیر ضرایب همبستگی و سایر مشخصات خروجی های تحلیل رگرسیون شاخص ها در جدول (۳) آمده است.



شکل (۴): بررسی ارتباط بین شاخص های MSAVI_NDVI و NDWI_LSWI در سال ۲۰۲۴

Figure (4): Analysis of the relationship between NDVI_MSAVI and NDWI_LSWI indices in 2024

جدول (۳): آماره های رگرسیون بین شاخص های پوشش (NDVI_MSAVI) و شاخص های رطوبت سطحی (NDWI_LSWI)

Table (3): Regression statistics between vegetation indices (NDVI_MSAVI) and surface moisture indices (NDWI_LSWI)

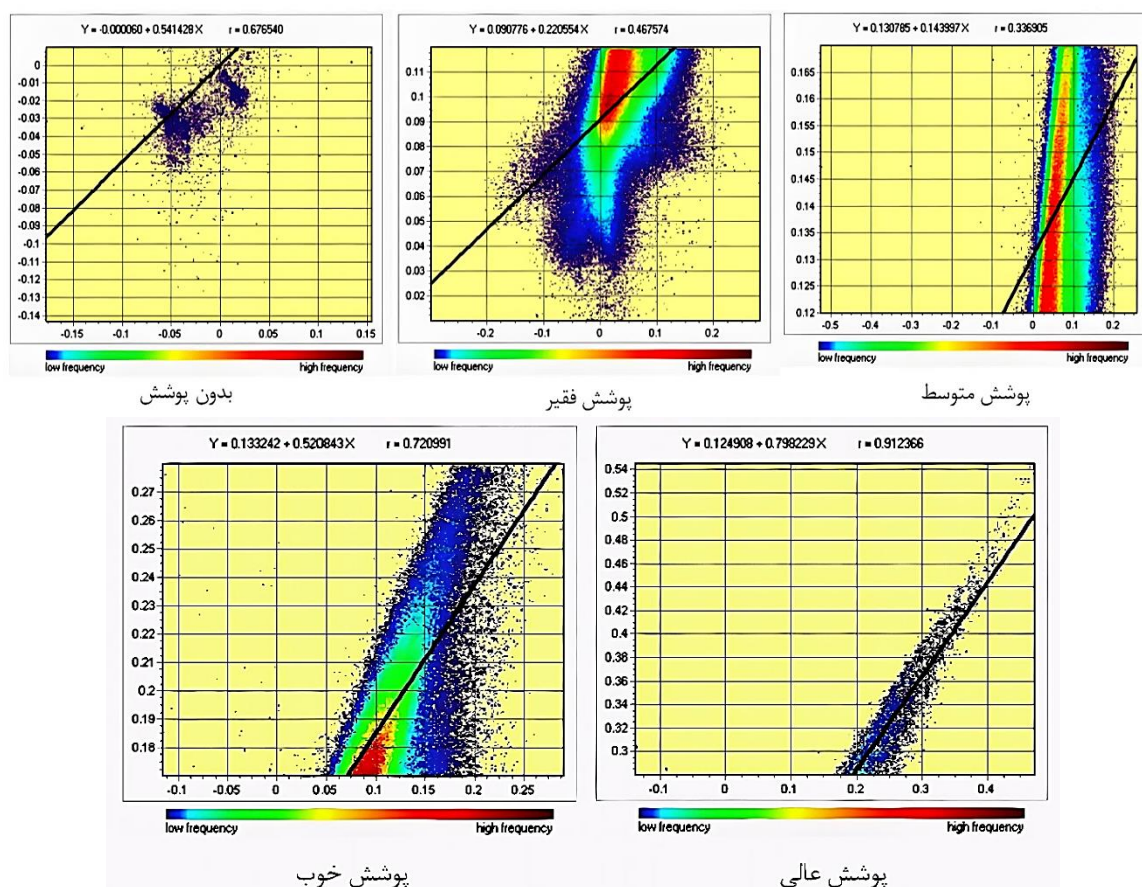
S.E. of Estimate	Sample Size (n)	Y	r	Indicators
0.026	974552	0.657X + 0.046	0.75	MSAVI_NDWI
0.027	974552	0.892X + 0.111	0.74	MSAVI_LSWI
0.026	974552	0.645X + 0.089	0.75	NDVI_NDWI
0.027	974552	0.873X + 0.153	0.73	NDVI_LSWI

شد که ضریب همبستگی کلاس‌های خوب و متراکم در ارتباط با NDWI به ترتیب برابر ۰/۷۲، ۰/۸۸ و در ارتباط با شاخص LSWI نیز به ترتیب، ۰/۷۲ و ۰/۸۸ بوده است.

همچنین مقدار این ضریب در سایر کلاس‌های وضعیت شاخص NDVI در ارتباط با شاخص NDWI به ترتیب بدون پوشش برابر ۰/۶۷، در کلاس پوشش فقیر ۰/۴۶ و در کلاس پوشش متوسط برابر ۰/۳۳ و در ارتباط با شاخص LSWI به ترتیب بالا برابر ۰/۷۶، ۰/۲۶ و ۰/۳۹ بوده است. همچنین این ضریب در ارتباط بین طبقات وضعیت پوشش شاخص MSAVI و شاخص NDWI به ترتیب در کلاس بدون پوشش برابر ۰/۲۷، در کلاس پوشش فقیر ۰/۵۷، در کلاس پوشش متوسط برابر ۰/۴۶ و در ارتباط با شاخص LSWI به ترتیب برابر ۰/۳۵، ۰/۵۶ و ۰/۵۲ است. مقادیر ضرایب همبستگی و سایر مشخصات خروجی‌های تحلیل رگرسیون خطی هر کلاس، در جداول (۴) تا (۷) آمده است.

ارتباط وضعیت پوشش و شاخص‌های رطوبت سطحی

ارتباط بین هر کدام از کلاس‌های وضعیت پوشش، با شاخص‌های NDWI و LSWI بررسی شد. نتایج رگرسیون‌گیری بین پارامترها در شکل (۵) تا (۸) آمده است. با توجه به نقشه‌های به دست آمده از مدل رگرسیون خطی بین کلاس‌های وضعیت پوشش و شاخص‌های NDWI و LSWI (شکل ۵ و ۶) می‌توان نتیجه گرفت که مهم‌ترین وضعیت پوشش شاخص NDVI از نظر دارا بودن قوی‌ترین ارتباط با شاخص‌های رطوبت سطحی خاک، کلاس وضعیت پوشش خوب با ضریب همبستگی ۰/۷۲ و کلاس متراکم با ضریب ۰/۹۱ در ارتباط با شاخص NDWI و ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۹۱ در ارتباط با شاخص LDWI بوده است. در بررسی ارتباط بین کلاس‌های وضعیت پوشش شاخص MSAVI و شاخص‌های NDWI و LSWI نیز (شکل ۷ و ۸)، بهترین ارتباط در طبقات پوشش خوب و متراکم دیده



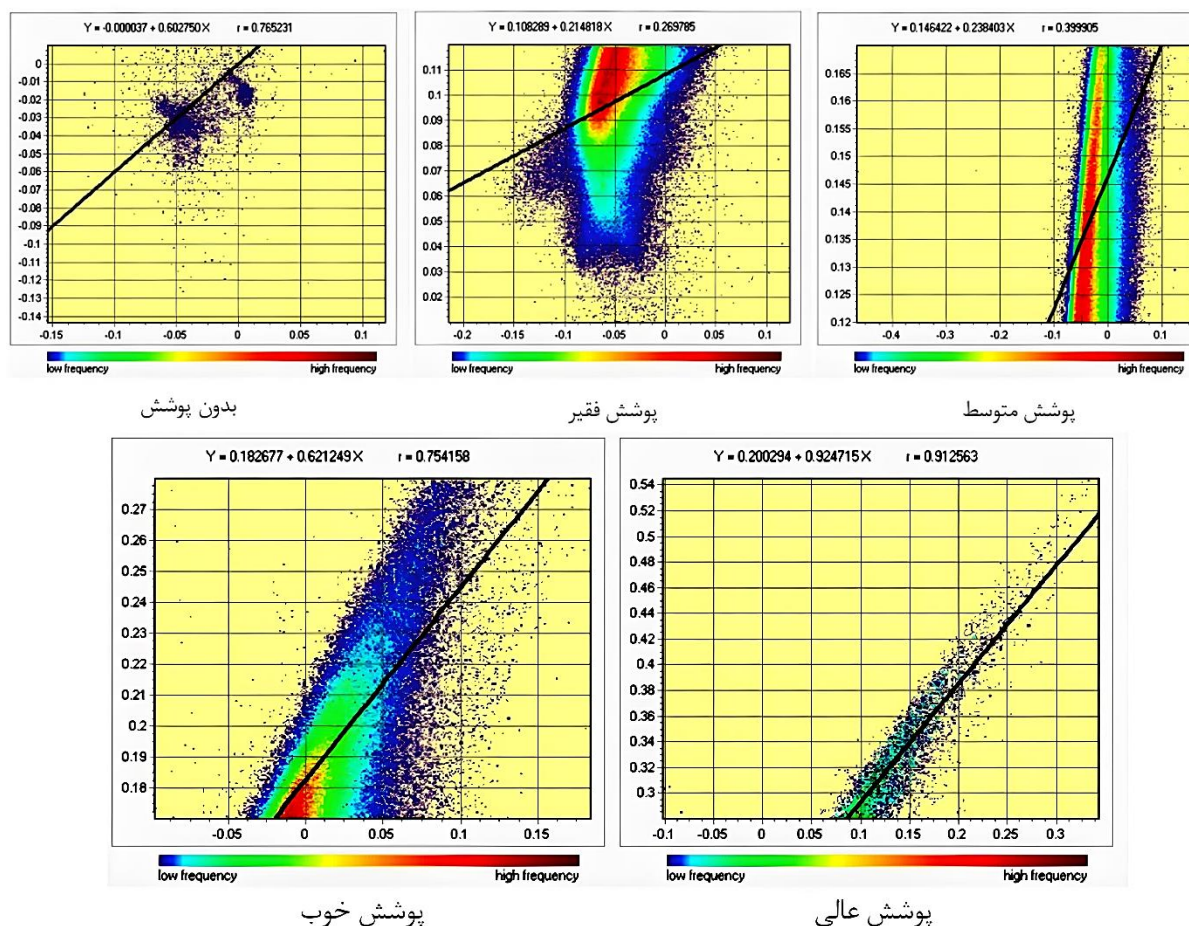
شکل (۵): نتایج رگرسیون خطی بین کلاس‌های وضعیت پوشش شاخص NDVI و شاخص NDWI در سال ۲۰۲۴

Figure (5): Results of linear regression between NDVI vegetation cover classes and the NDWI index in 2024

جدول (۴): آماره‌های رگرسیون بین کلاس‌های وضعیت پوشش NDVI و NDWI

Table (4): Regression statistics between NDVI vegetation cover classes and the NDWI index

S.E. of Estimate	Sample Size (n)	Y	r	Vegetaion condition
0.001	1418092	$0.541X - 0.000$	0.67	بدون پوشش
0.015	457550	$0.220X + 0.090$	0.46	پوشش فقیر
0.013	396716	$0.143X + 0.130$	0.33	پوشش متوسط
0.015	110195	$0.520X + 0.133$	0.72	پوشش خوب
0.019	4457	$0.798X + 0.124$	0.91	پوشش متراکم



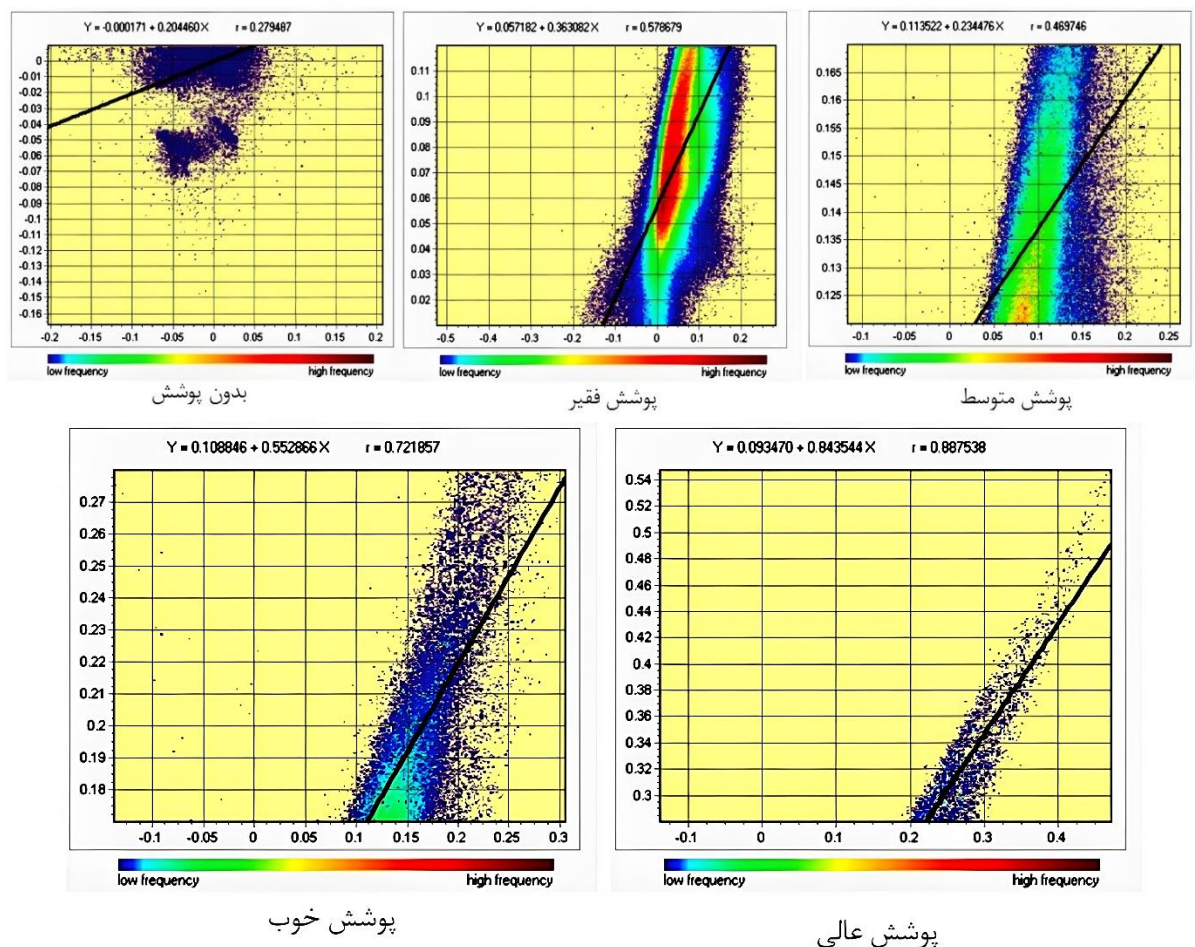
شکل (۶): نتایج رگرسیون خطی بین کلاس‌های وضعیت پوشش شاخص NDVI و شاخص LSWI در سال ۲۰۲۴

Figure (6): Results of linear regression between NDVI vegetation cover classes and the LSWI index in 2024

جدول (۵): آماره‌های رگرسیون بین کلاس‌های وضعیت پوشش NDVI و LSWI

Table (5): Regression statistics between NDVI vegetation cover classes and the LSWI index

S.E. of Estimate	Sample Size (n)	Y	r	Vegetation condition
0.00	1418092	$0.602X - 0.000$	0.76	بدون پوشش
0.016	457550	$0.214X + 0.108$	0.26	پوشش فقیر
0.012	396716	$0.238X + 0.146$	0.39	پوشش متوسط
0.014	110195	$0.621X + 0.182$	0.75	پوشش خوب
0.019	4457	$0.924X + 0.200$	0.91	پوشش متراکم

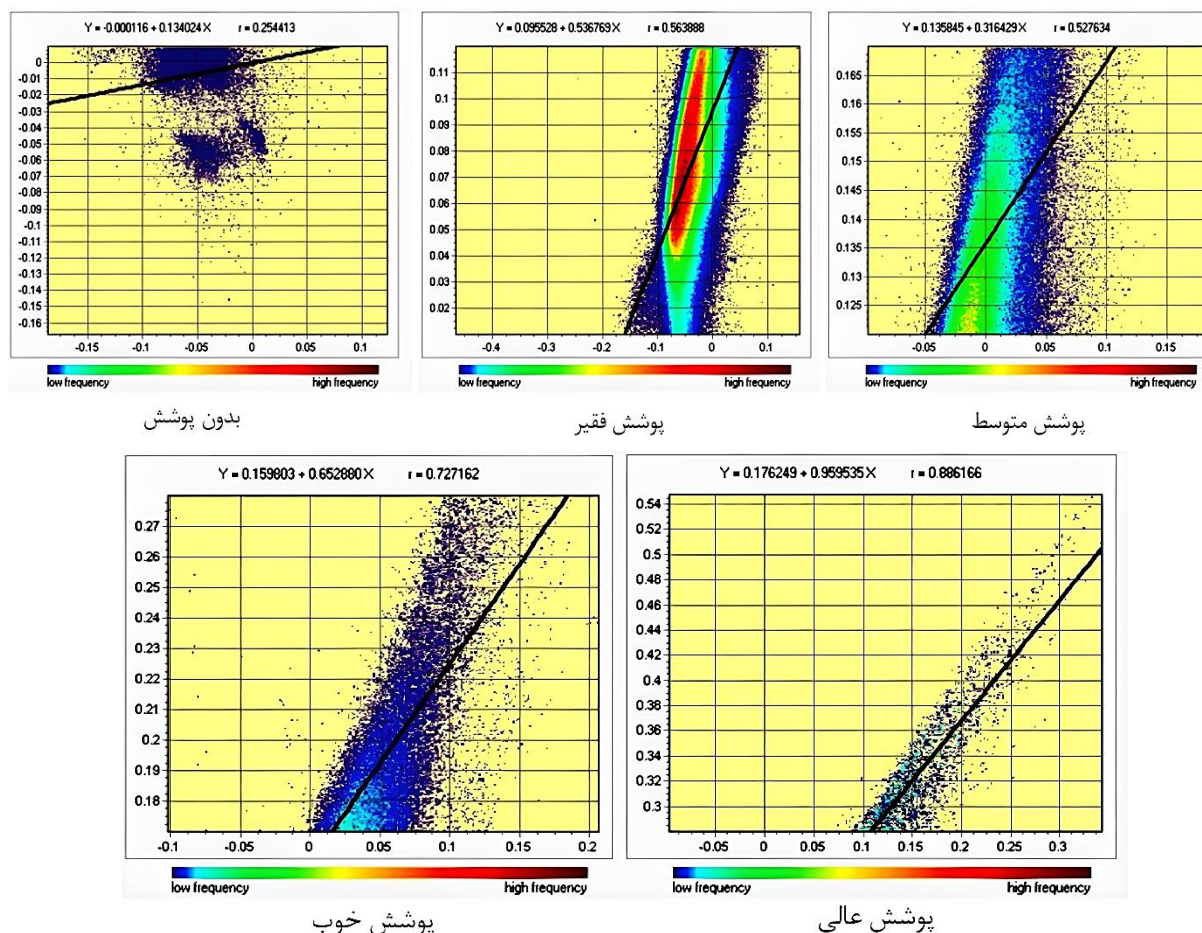


شکل (۷): نتایج رگرسیون خطی بین کلاس‌های وضعیت پوشش شاخص MSAVI و شاخص NDWI در سال ۲۰۲۴
Figure (7). Results of linear regression between MSAVI vegetation cover classes and the NDWI index in 2024

جدول (۶): آماره‌های رگرسیون بین کلاس‌های وضعیت پوشش MSAVI و NDWI

Table (6): Regression statistics between MSAVI vegetation cover classes and the NDWI index

S.E. of Estimate	Sample Size (n)	Y	r	Vegetation condition
0.003	1433792	$0.0204X - 0.000$	۰/۲۷	بدون پوشش
0.019	802134	$0.363X + 0.057$	۰/۵۷	پوشش فقیر
0.011	12714	$0.234X + 0.113$	۰/۴۶	پوشش متوسط
0.018	21235	$0.552X + 0.108$	۰/۷۲	پوشش خوب
0.022	27070	$0.843X + 0.093$	۰/۸۸	پوشش متراکم



شکل (۸): نتایج رگرسیون خطی بین کلاس‌های وضعیت پوشش شاخص MSAVI و شاخص LSUI در سال ۲۰۲۴
Figure (8): Results of linear regression between MSAVI vegetation cover classes and the LSUI index in 2024

جدول (۷): آماره‌های رگرسیون بین کلاس‌های وضعیت پوشش MSAVI و LDWI

Table (7): Regression statistics between MSAVI vegetation cover classes and the LDWI index

S.E. of Estimate	Sample size (n)	Y	r	Vegetaion condition
0.003	1433792	$0.134X - 0.000$	۰/۳۵	بدون پوشش
0.020	802134	$0.536X + 0.095$	۰/۵۶	پوشش فقیر
0.011	127142	$0.316X + 0.135$	۰/۵۲	پوشش متوسط
0.018	21235	$0.652X + 0.159$	۰/۷۲	پوشش خوب
0.022	2707	$0.959X + 0.176$	۰/۸۸	پوشش متراکم

بحث و نتیجه‌گیری

درصد را به خود اختصاص داده است. همان‌طور که عیفی (۲۰۲۱) در تحقیق خود، همبستگی بین پوشش گیاهی و خشکسالی را گزارش کرده، خشکسالی می‌تواند به پوشش گیاهی آسیب جدی وارد نماید. از طرفی، شهرستان ایوان نیز دارای اقلیم نیمه‌خشک بوده که کمبود بارش و پراکنش نامناسب آن از ویژگی‌های این مناطق بوده و موجب کاهش پوشش

نتیجه کلاس‌بندی وضعیت پوشش با استفاده از شاخص‌های NDVI و MSAVI نشان داد که کلاس پوشش فقیر در این شهرستان در سال ۲۰۲۴ بیشترین مساحت را داشته است. مساحت این کلاس در شاخص NDVI حدود ۴۶ درصد از کل مساحت منطقه و در طبقه‌بندی شاخص MSAVI حدود ۹۱

خاک می شود (پینگ پینگ^۳ و همکاران، ۲۰۱۳) دانست که منجر به این رابطه متقابل می شود. همچنین همان طور که گفته شد، همبستگی پوشش گیاهی و رطوبت در مناطق خشک و نیمه خشک مثبت و بالا می باشد که ممکن است منجر به این ارتباط متقابل شده باشد. قوی ترین ارتباط بین شاخص های پوشش گیاهی و شاخص NDWI، با مقدار ضریب ۰/۷۵ در هر دو حالت بوده است. دلیل رابطه بهتر با شاخص NDWI می تواند نشان دهنده این باشد که این شاخص نماینده بهتری برای رطوبت سطحی خاک باشد چون اثر خاک و پوشش گیاهی را تعدیل می بخشد (مک فیتز، ۱۹۹۶^۴). نتایج تحلیل رگرسیون خطی در بررسی ارتباط هر کلاس وضعیت پوشش برگرفته از نقشه های NDVI و MSAVI با شاخص های رطوبت سطحی خاک، نشان داد در کلاس های وضعیت پوشش خوب و متراکم ارتباط قوی تر و بهتری با رطوبت سطحی وجود دارد و هرچه پوشش ضعیف تر و در دسته پوشش فقیر و متوسط قرار گیرد، این ارتباط کم رنگ تر خواهد بود. این امر گویای این است که هرچه پوشش متراکم تر باشد، مساحت بیشتری از خاک در سایه گیاهان قرار گرفته و ضمن پایین آوردن دمای سطح زمین، باعث می شود تبخیر رطوبت از سطح خاک در وسعت بیشتری از آن کاهش پیدا کند. همچنین پوشش گیاهی عامل مهمی در نفوذ آب به داخل خاک بوده و هرچه پوشش به سمت تراکم بیشتر و وضعیت متراکم برود، این نقش نیز پررنگ تر خواهد بود این روند در حالت بررسی کلاس های وضعیت پوشش برگرفته از شاخص MSAVI بهتر نشان داده شده است که دلیل آن همان طور که گفته شد، این است که شاخص MSAVI در نشان دادن کلاس های بدون پوشش قوی تر عمل می کند. شایان ذکر است دلیل بالا بودن عدد ضریب همبستگی در کلاس های بدون پوشش NDVI (با NDWI ۰/۶۷- با LSWI ۰/۷۶) این است که در کلاس بندی این شاخص هیچ مساحتی از زمین در کلاس بدون پوشش قرار نگرفته و فقط دو سد آبی موجود در منطقه را در بر می گیرد و این موضوع باعث بالا رفتن عدد ضریب همبستگی پیرسون بین مناطق بدون پوشش در این شاخص و رطوبت سطحی خاک

گیاهی خواهد شد. همچنین وجود دام مازاد در ایران (تا بیش از ۳ برابر ظرفیت دامی) از مهم ترین عوامل تخریب پوشش گیاهی است (فرجی و همکاران، ۲۰۲۴؛ سالاریان و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین غالبیت کلاس وضعیت پوشش گیاهی فقیر در این منطقه دور از انتظار نبوده است. همان طور که از شکل (۲) و نقشه های طبقه بندی وضعیت هر دو شاخص مشخص است، در کلاس بدون پوشش شاخص NDVI فقط سدهای آبی قرار گرفته اند ولی در شاخص MSAVI علاوه بر سدهای آبی، مناطقی که خاک لخت و شهری بودند نیز قرار گرفته اند؛ این موضوع نشان می دهد شاخص MSAVI برای مناطق نیمه خشک مناسب تر است. این نتیجه هم راستا با نتایج تحقیقات گذشته در زمینه برتری شاخص های اصلاح کننده اثر بازتابش خاک نسبت به شاخص های مرسوم از قبیل NDVI است (صفری و همکاران، ۲۰۲۵؛ علیخانوا^۱ و همکاران، ۲۰۲۵؛ بلحاج^۲ و همکاران، ۲۰۲۳). به عبارت دیگر، شاخص های مرسوم در مناطق با درصد خاک لخت (بدون پوشش یا پوشش تنک) به دلیل تداخل بازتاب خاک و پوشش، این بازتاب را به عنوان پوشش گیاهی ثبت می کند که در نهایت موجب بیش تخمینی پوشش خواهد شد که این فرایند موجب توسعه گروهی از شاخص های تعدیل کننده اثر بازتابش خاک شده است.

نتایج به دست آمده از مدل رگرسیون خطی بین شاخص ها نشان داد که به طور کلی، ارتباط بین پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک، جدا از نوع و تراکم پوشش گیاهی در منطقه، ارتباطی مثبت و قوی است. بنابراین طبق این نتیجه و نتایج به دست آمده از مطالعات گذشته (باغانی و همکاران، ۲۰۲۴؛ بهروزه و همکاران، ۲۰۲۵؛ ناندین تستسگ، ۲۰۱۰) می توان اذعان کرد که به طور کلی بین پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک، رابطه مثبت و قوی وجود دارد؛ این امر را می توان ناشی از نیاز گیاهان به ویژه گیاهانی با ریشه کوتاه به رطوبت سطحی و نقش سایه گیاهان در کاهش تبخیر رطوبت از سطح خاک (وانگ و همکاران، ۲۰۱۸) و همچنین نقش آن ها در کاهش سرعت حرکت رواناب سطحی که باعث نفوذ آب به سطح

وضعیت بدون پوشش و پوشش فقیر این ارتباط کم‌رنگ‌تر خواهد بود. بنابراین به‌طور کلی ارتباطی که بین پوشش گیاهی و رطوبت سطحی بوده، ارتباطی مستقیم و در جهت مثبت است. در مناطق نیمه‌خشک از جمله شهرستان ایوان وابستگی پوشش گیاهی به آب شدید بوده؛ به همین دلیل هرچه پوشش در این مناطق متراکم‌تر باشد، براساس نتایج این رابطه قوی‌تر خواهد بود. همچنین فناوری سنجش از دور در این مطالعه نشان داد که ابزاری قدرتمند برای بررسی وضعیت پوشش گیاهی بوده و شاخص MSAVI برای نشان دادن وضعیت پوشش گیاهی در مناطق نیمه‌خشک از جمله شهرستان ایوان مناسب‌تر است، زیرا اثر خاک را تعدیل می‌بخشد. بنابراین در راستای اطلاع از شرایط پوشش گیاهی در مناطق وسیع و مدل‌سازی آن به‌خصوص در آینده و براساس سناریوهای اقلیمی موجود، استفاده از شاخص‌های رطوبت خاک اهمیت بالایی دارد. به عبارتی، همان‌طور که بیان می‌شود، «پوشش گیاهی آیینۀ تمام‌نمای اقلیم»، «رطوبت خاک نیز آیینۀ تمام‌نمای پوشش گیاهی» است. درنهایت پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آینده، تکرار آزمایش مشابه برای سایر مناطق اقلیمی و همچنین روند تغییرات زمانی ارتباط رطوبت و پوشش گیاهی با در نظر گرفتن دوره‌های ترسالی و خشکسالی انجام گیرد.

شده است. بنابراین از نتایج به‌دست‌آمده مشخص است که به‌طور کلی هرچه منطقه بدون پوشش و یا پوشش آن کمتر و یا فقیرتر باشد، همبستگی پوشش گیاهی و رطوبت سطحی خاک ضعیف‌تر و هرچه وضعیت پوشش بهتر و در طبقات وضعیت متراکم‌تر قرار گیرد، ارتباط آن با رطوبت سطحی خاک بهتر و قوی‌تر خواهد بود. این پدیده می‌تواند ناشی از کمبود پوشش که باعث اختلال در ایفای نقش آن به‌عنوان مانعی برای کاهش تبخیر سطحی و کاهش دمای محیط در کنار نقش آن در کاهش سرعت رواناب و کاهش شدت بارندگی باشد. بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که پوشش گیاهی به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک، و جدای از نوع و تراکم یا وضعیت پوشش، وابستگی شدیدی به آب دارد و این وابستگی حتی در مناطق با پوشش بیشتر شدیدتر است. به همین دلیل، جدای از کارایی بالای سنجش از دور در بررسی این ارتباط دوسویه، می‌توان از نقشه رطوبت سطحی خاک برای مدل‌سازی پوشش گیاهی استفاده کرد.

نتایج به‌دست‌آمده نشان داد که هرچه وضعیت پوشش ضعیف‌تر باشد، مقدار ضریب همبستگی ضریب همبستگی بین پوشش و رطوبت کمتر، و هرچه وضعیت پوشش بهتر باشد، مقدار این ضریب بالاتر خواهد بود. بهترین حالت ارتباط مثبت بین این دو پارامتر در وضعیت پوشش خوب تا متراکم و در

منابع

1. Askae, Nuthammachot, N., Phairuang, W., Wicaksono, P., & Sayektiningsih, T. (2018). Estimating Aboveground Biomass on Private Forest Using Sentinel-2 Imagery. *Journal of Sensors*, 2018(1), 6745629.
2. Abdulqader, D. M., Abdulazeez, A. M., Zeebaree, D., & Zeebaree, D. Q. (2020). *Machine Learning Supervised Algorithms of Gene Selection: A Review Machine Learning View project How to Choose a Performance Metric View project Machine Learning Supervised Algorithms of Gene Selection: A Review*.
3. Afifi, M. E. (2021). Investigation of the Effect of Drought on Vegetation Using Remote Sensing Techniques, Case Study of Dorodzan Dam Catchment. *Geography*, 19(70), 153-172.
4. Akgün, B., & Ögüdücü, Ş. G. (2015, August). Streaming linear regression on spark MLlib and MOA. In *Proceedings of the 2015 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining 2015* (pp. 1244-1247).
5. Alikhanova, S., Tarantino, C., & Bull, J. W. (2025). Tracking Vegetation Dynamics in Drylands with MSAVI: Insights from the South Aral Sea. *Earth Systems and Environment*, 1-13.
6. Andales, A. A., Derner, J. D., Ahuja, L. R., & Hart, R. H. (2006). Strategic and tactical prediction of forage production in northern mixed-grass prairie. *Rangeland Ecology & Management*, 59(6), 576-584.
7. Badapalli, P. K., Kottala, R. B., Madiga, R., & Mesa, R. (2023). Land suitability analysis and water resources for agriculture in semi-arid

- regions of Andhra Pradesh, South India using remote sensing and GIS techniques. *International Journal of Energy and Water Resources*, 7(2), 205-220.
8. Baghani, A., Rahimi, A. and Fadaei Tehrani, M. (2024). Investigating Changes in Oak Forest Canopy and Its Relationship with Soil Moisture. *Iran Nature*, 9(5), 51-63.
 9. Behroozeh, S., Khoorani, A. and Eskandari Damaneh, H. (2025). The interrelationship among vegetation, soil water volume and soil temperature across various altitude classes and land uses in Iran using land degradation approach. *Journal of Environmental Studies*, 50(4), 435-455.
 10. Belhadj, A., Boulghobra, N., & Demnati Allache, F. (2023). Multi-temporal Landsat imagery and MSAVI index for monitoring rangeland degradation in arid ecosystem, case study of Biskra (southeast Algeria). *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(6), 656.
 11. Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to remote sensing*. Guilford press.
 12. Caiserman, A., Dumas, D., Bennafla, K., Faour, G., & Amiraslani, F. (2019). Application of remotely sensed imagery and socioeconomic surveys to map crop choices in the Bekaa Valley (Lebanon). *Agriculture*, 9(3), 57.
 13. Chandrasekar, K., Sesha Sai, M. V. R., Roy, P. S., & Dwevedi, R. S. (2010). Land Surface Water Index (LSWI) response to rainfall and NDVI using the MODIS Vegetation Index product. *International journal of remote sensing*, 31(15), 3987-4005.
 14. Dastorani, M., komaki, C. B., Khosravi, H. and Ghelichipour, Z. (2019). Investigation of the trend of rainfall and vegetation changes in arid and semiarid regions (Case Study: Khorasan Razavi, Iran). *Journal of Arid Biome*, 9(1), 11-19.
 15. Dong, Z., Wang, Z., Liu, D., Song, K., Li, L., Jia, M., & Ding, Z. (2014). Mapping wetland areas using Landsat-derived NDVI and LSWI: A case study of West Songnen plain, Northeast China. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 42(3), 569-576.
 16. Du, Z., Li, W., Zhou, D., Tian, L., Ling, F., Wang, H., ... & Sun, B. (2014). Analysis of Landsat-8 OLI imagery for land surface water mapping. *Remote sensing letters*, 5(7), 672-681.
 17. Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Mahdavi, R., Khoorani, A., & Li, J. (2022). Evaluation of land degradation trend using satellite imagery and climatic data (Case study: Fars province). *Desert Ecosystem Engineering*, 8(24), 49-64.
 18. Fabijańczyk, P., & Zawadzki, J. (2022). Spatial correlations of NDVI and MSAVI2 indices of green and forested areas of urban agglomeration, case study Warsaw, Poland. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26, 100721.
 19. Faramarzi, M., Heidarizadi, Z., Mohamadi, A., & Heydari, M. (2018). *Detection of vegetation changes in relation to normalized difference vegetation index (NDVI) in semi-arid rangeland in western Iran*.
 20. Faraji, A., Tatian, M., Tamartash, R., & Sanaei, A. (2024). The Effects of Livestock Grazing on Species Diversity and Functional Indicators of Vegetation in Two Watersheds with Different Climates. *J Watershed Manage Res.* 15(2), 154-168.
 21. Felegari, S., Sharifi, A., Moravej, K., Golchin, A., & Tariq, A. (2022). Investigation of the relationship between ndvi index, soil moisture, and precipitation data using satellite images. *Sustainable Agriculture Systems and Technologies*, 314-325.
 22. Freund, J. E., & Walpole, R. E. (1986). *Mathematical statistics*. Prentice-Hall, Inc.
 23. Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.
 24. Goldman, R. N., & Weinberg, J. (1985). *Statistics, an introduction*. Prentice Hall.
 25. Gonenc, A., & Ozerdem, M. S. (2019, July). Comparison of NDVI and RVI vegetation indices using satellite images. In *2019 8th International Conference on Agro-Geoinformatics (Agro-Geoinformatics)* (pp. 1-4). IEEE.
 26. Hope, T. M. (2020). Linear regression. In *Machine learning* (pp. 67-81). Academic Press.
 27. hosseini, S. M., khoramabadi, F. and zolfagharzadeh, S. (2024). Climatology of Arid and Semi-Arid Regions in Central Iran. *Geography and Human Relationships*, 7(1), 498-517.
 28. Jafari, R., Bashari, H., & Tarkesh, M. (2017). Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands. *Arid land research and management*, 31(1), 94-110.

29. Li, Z., Wang, Y., Zhou, Q., et al., 2008. Spatiotemporal variability of land surface moisture based on vegetation and temperature characteristics in Northern Shaanxi Loess Plateau, China. *J. Arid Environ.* 72 (6), 974–985.
30. Martín-Sotoca, J. J., Sanz, E., Saa-Requejo, A., Moratiel, R., Almeida-Ñañay, A. F., & Tarquis, A. M. (2024). Relationship between vegetation and soil moisture anomalies based on remote sensing data: A semiarid rangeland case. *Remote Sensing*, 16(18), 3369.
31. Maulud, D., & Abdulazeez, A. M. (2020). A review on linear regression comprehensive in machine learning. *Journal of applied science and technology trends*, 1(2), 140-147.
32. McFeeters, S. K. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International journal of remote sensing*, 17(7), 1425-1432.
33. Moazzam, S., Mosleh Arani, A., Mokhtari, M. H., Azimzadeh, H. R., & Moradi, G. (2018). Investigation of the effect of different vegetation types on soil surface moisture in Bagh Shadi region of Yazd using remote sensing. *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering and Natural Resources*.
34. Nandintsetseg, B., Shinoda, M., Kimura, R., & Ibaraki, Y. (2010). Relationship between soil moisture and vegetation activity in the Mongolian steppe. *Sola*, 6, 29-32.
35. Niu, X., Chen, Z., Pang, Y., Liu, X., & Liu, S. (2023). Soil moisture shapes the environmental control mechanism on canopy conductance in a natural oak forest. *Science of the Total Environment*, 857, 159363.
36. Norouzi, A. A., Sanaei, M., & Razaghi, Z. (2019). Identification and discrimination of rice fields using a semi-automatic method in northern Iran. *Journal of Crop Production and Plant Breeding*, 14(4), 11–21.
37. Omidipour, R., & Nadaf, M. (2025). Study of Vegetation Cover Changes in North Khorasan Province Using Remote Sensing-Based Vegetation Indices (Case Study: Jiransu Rangelands). *Integrated Watershed Management*.
38. Pingping, H., Xue, S., Li, P., & Zhanbin, L. (2013). Effect of vegetation cover types on soil infiltration under simulating rainfall. *Nature Environment and Pollution Technology*, 12(2), 193.
39. Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 48(2), 119-126.
40. Rodriguez-Iturbe, I., D'odorico, P., Porporato, A., & Ridolfi, L. J. W. R. R. (1999). On the spatial and temporal links between vegetation, climate, and soil moisture. *Water Resources Research*, 35(12), 3709-3722.
41. Rouse, J. W., Hass, R. H., Schell, J. A., & Deering, D. W. (1973). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Proceedings of the third ERTS symposium, Goddard Space Flight Center, December 1973, NASASP 351 (pp. 309–317). Washington, DC: NASA.
42. Safari, M., Faramarzi, M., Omidpour, R., & Fathizad, H. (2025). Estimation of Vegetation Cover and Aboveground Biomass Using Satellite Images in the Arid Rangelands of Western Iran. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 32(2), 140-159.
43. Salarian, F., Ghorbani, J., & Safaeian, N. A. (2013). Vegetation changes under exclosure and livestock grazing in Chahar Bagh rangelands in Golestan province. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(1), 115-129.
44. Seber, G. A., & Lee, A. J. (2003). *Linear regression analysis*. John Wiley & Sons.
45. Sulaiman, M. A. (2020). Evaluating data mining classification methods performance in internet of things applications. *Journal of Soft Computing and Data Mining*, 1(2), 11-25.
46. Szostak, M., Hawryło, P., & Piela, D. (2018). Using of Sentinel-2 images for automation of the forest succession detection. *European Journal of Remote Sensing*, 51(1), 142-149.
47. Wang, L., Wei, S. P., & Wu, F. Q. (2009). Soil water environment and vegetation growth in the hilly and gully region of the Loess Plateau: a case study of Yangou Catchment. *Acta Ecological Sinica*, 29(3), 1543-1553.
48. Wang, X., Wang, B., Xu, X., Liu, T., Duan, Y., & Zhao, Y. (2018). Spatial and temporal variations in surface soil moisture and vegetation cover in the Loess Plateau from 2000 to 2015. *Ecological indicators*, 95, 320-330.
49. Yang, L., Wei, W., Chen, L., & Mo, B. (2012). Response of deep soil moisture to land use and afforestation in the semi-arid Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*, 475, 111-122.
50. Yu, X., Zhang, X., Li, J., Zhang, M., & Xie, Y. (2006). Effects of vegetation cover and precipitation on the process of sediment

- produced by erosion in a small watershed of loess region. *Acta Ecologica Sinica*, 26(1), 1-8.
51. Zebari, D. A., Zeebaree, D. Q., Abdulazeez, A. M., Haron, H., & Hamed, H. N. A. (2020). Improved threshold based and trainable fully automated segmentation for breast cancer boundary and pectoral muscle in mammogram images. *Ieee Access*, 8, 203097-203116.
 52. Zeebaree, D. Q., Haron, H., Abdulazeez, A. M., & Zebari, D. A. (2019, April). Machine learning and region growing for breast cancer segmentation. In *2019 International Conference on Advanced Science and Engineering (ICOASE)* (pp. 88-93). IEEE.
 53. Zhu, P., Zhang, G., Wang, H., Zhang, B., & Liu, Y. (2021). Soil moisture variations in response to precipitation properties and plant communities on steep gully slope on the Loess Plateau. *Agricultural Water Management*, 256, 107086.
 54. Zou, K. H., Tuncali, K., & Silverman, S. G. (2003). Correlation and simple linear regression. *Radiology*, 227(3), 617-628.

Assessing the Effect of Vegetation Condition on its Interaction with Soil Surface Moisture in a Semi-Arid Region

Fahimeh Rostami,¹ Marzban Faramarzi,^{2*} Reza Omidipour³

Received: 19/09/2025

Accepted: 12/11/2025

Extended Abstract

Introduction: Vegetation cover and soil moisture are fundamental, interdependent components of terrestrial ecosystems, playing a crucial role in maintaining ecological balance. This relationship is particularly critical in arid and semi-arid regions, where soil moisture—primarily derived from precipitation—is a key limiting factor for plant growth and survival. Conversely, vegetation significantly influences the hydrological cycle; dense cover enhances water infiltration and soil water retention capacity, thereby creating a positive feedback loop. A reciprocal relationship between vegetation cover and surface soil moisture (0–10 cm) is therefore well-conceptualized. However, the precise nature and strength of this linkage, and how it is modulated by varying vegetation conditions, have not been directly and comprehensively examined at a regional scale. This study aims to address this gap by first quantifying the general relationship and then assessing how different vegetation conditions affect this critical interaction.

Materials and Methods: This study was conducted in the semi-arid regions of Ilam Province, Iran. Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) satellite imagery was employed as the primary data source. Remote sensing technology was used to calculate two key indices: vegetation condition and soil surface moisture. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Modified Soil Adjusted Vegetation Index (MSAVI) were utilized to assess vegetation cover. For soil moisture, the Normalized Difference Water Index (NDWI) and the Land Surface Water Index (LSWI) were calculated. The derived NDVI and MSAVI maps were classified into distinct vegetation condition categories based on predefined value thresholds. The relationship between these vegetation indices (NDVI, MSAVI) and the soil moisture indices (NDWI, LSWI) was then analyzed using linear regression. All spatial and statistical analyses were performed using the TerrSet 2020 software system.

Results: The analysis revealed that the MSAVI index was more suitable for representing vegetation conditions in the semi-arid study area, as it demonstrated reduced sensitivity to soil background reflectance. Linear regression between the vegetation and soil moisture indices showed strong, positive relationships. The highest overall correlations were observed between NDVI and NDWI ($r = 0.75$) and MSAVI and NDWI ($r = 0.75$). A more detailed examination across different vegetation condition classes showed that the strength of this relationship was directly influenced by vegetation cover. Areas classified as having "excellent" vegetation cover exhibited the strongest correlation with soil moisture (maximum $r = 0.91$ between the NDVI class and moisture indices). In contrast, the "no cover" class showed the weakest relationship (minimum $r = 0.25$ between the MSAVI class and LSWI).

Discussion and Conclusion: This study successfully quantified the dynamic relationship between vegetation cover and surface soil moisture in a semi-arid region using remote sensing indices (NDVI, MSAVI, NDWI, LSWI) and linear regression analysis. The key finding was the superior performance of the MSAVI index in characterizing vegetation conditions, attributable to its algorithm's correction for soil background reflectance, a common source of noise in sparsely vegetated, semi-arid landscapes. The results confirm a strong, positive correlation between vegetation cover and soil moisture. Crucially, this relationship was found to be non-uniform; it intensified with increasing vegetation density. This finding empirically validates the established ecological principle that denser vegetation enhances water retention capacity, suggesting a positive feedback loop between plant growth and soil water availability. In conclusion, these findings underscore the critical role of vegetation management in the hydrological dynamics of semi-arid ecosystems. The methodologies applied demonstrate the utility of remote sensing as a powerful tool for monitoring these interactions. Therefore, we recommend the integration of such indices into sustainable land and water management strategies to guide restoration efforts and combat desertification effectively.

Keywords: Vegetation indices, MSAVI, NDVI, Soil surface moisture indices, LSWI, NDWI, Satellite images, Pearson correlation coefficient.

1. MSc Student, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran; Email: f.rostami2@ilam.ac.ir

2. Associate Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran. (Corresponding Author); Email: m.faramarzi@ilam.ac.ir

3. Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran; Email: r.omidipour@ilam.ac.ir
DOI: 10.22052/deej.2025.257621.1119