



Gonbad Kavous University
Journal of Plant
Ecosystem Conservation
Volume 13, Issue 27
<http://pec.gonbad.ac.ir>

Evaluation of Landsat Satellite Imagery Capability in Estimating Production and Cover of Different Vegetation Forms

Razieh Soureshjani Samani¹, Ali Asghar Naghipour^{*2}, Pejman Tahmasbi Kohyani³, Zahra Heidari Ghahfarrokhi⁴

¹MSc. in Rangeland Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Science, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

²Assistant Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

³Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

⁴Ph.D. of Rangeland Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

Received: 2025/05/16; Accepted: 2025/07/11

Abstract

Rangeland biomass production, as an indicator of annual plant growth, is influenced by various factors such as climate, soil, and topography. Due to the high cost of traditional field-based measurement methods, the use of remote sensing data as a fast, cost-effective, and reliable tool has gained significant importance in natural resource management. This study aimed to evaluate the efficiency of Landsat-8 satellite imagery in estimating the production of different vegetation forms in the semi-steppe rangelands of the Tang-e-Sayyad Protected Area in Chaharmahal-va-Bakhtiari Province. Field sampling was conducted using a systematic-random sampling across eight sites. In each site, three macroplots (30 × 30 m) were selected, and vegetation cover and biomass data were collected using 2 × 2 m plots. The results showed that vegetation indices, including NDVI, DVI, PVI, PVI1, CTVI, RATIO, RVI, SAVI, TTVI, and TVI in April, had a significant relationship ($P < 0.001$) with the production of annual forb species. Additionally, WDV in June was strongly correlated ($r=0.61$, $P < 0.001$) with the production of perennial grasses, and EVI ($P < 0.05$) in August showed a strong relationship with total and shrub annual production ("total and annual shrub production" or "total annual shrub production"?). NDVI in April, as well as NDVI and EVI in August, exhibited significant correlations ($P < 0.05$) with total and annual production. Vegetation indices, including NDVI, DVI, MSAVI1, MSAVI2, PVI1, PVI2, CTVI, RATIO, TSAVI1, TSAVI2, SAVI, TTVI, and TVI in June, showed a significant relationship with annual forbs cover ("annual forb cover" or "annual forbs' cover"? ($P < 0.01$). AVI in August and June was correlated with the perennial grasses cover (grasses' cover or grass cover) ($r=0.56$, $r=0.45$). The results highlighted the high potential of satellite imagery in estimating vegetation cover and biomass of different vegetation forms in a regional scale and its ability to replace traditional and expensive methods. Therefore, these results can be used in sustainable rangeland management.

Keywords: Semi-steppe rangelands, Tang-e-Sayyad protected area, Vegetation indices, Chaharmahal-va-Bakhtiari, Correlation

*Corresponding author: aa.naghipour@sku.ac.ir



دانشگاه گنبد کاووس

نشریه "حفاظت زیست بوم گیاهان"

دوره سیزدهم، شماره بیست و هفتم

<http://pec.gonbad.ac.ir>

علمی - پژوهشی

ارزیابی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست در برآورد تولید و پوشش اشکال مختلف رویشی

راضیه سورشجانی سامانی^۱، علی اصغر نقی‌پور^{۲*}، پژمان طهماسبی کهیانی^۳، زهرا حیدری قهفرخی^۴

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۲ استادیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۳ دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

^۴ دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۲۰

چکیده

تولید گیاهی مراتع که بازتابی از رشد سالیانه گیاهان است، تحت تأثیر عوامل گوناگونی نظیر اقلیم، خاک و توپوگرافی قرار دارد. به دلیل هزینه‌بر بودن روش‌های سنتی اندازه‌گیری، بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور به‌عنوان ابزاری سریع، مقرون‌به‌صرفه و قابل اعتماد در مدیریت منابع طبیعی اهمیت زیادی یافته است. این پژوهش با هدف بررسی کارایی تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 در برآورد تولید اشکال مختلف رویشی در مراتع نیمه‌استپی منطقه حفاظت‌شده تنگ صباد در استان چهارمحال و بختیاری انجام شد. نمونه‌برداری به‌صورت تصادفی -سیستماتیک در هشت سایت صورت گرفت و در هر سایت، سه ماکروپلات ۳۰×۳۰ متری انتخاب و اطلاعات پوشش و تولید گیاهی از طریق پلات‌های ۲×۲ متری گردآوری شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های NDVI، DVI، PVI، PVI1، CTVI، SAVI، RVI، RATIO، TVI و TTVI در فروردین با تولید شکل رویشی پهن‌برگ یک‌ساله رابطه معنی‌داری دارند ($P < 0.001$). همچنین، شاخص WVDI در خرداد با تولید گراس‌های چندساله ($P < 0.001$ و $r = 0.61$) و شاخص EVI در مرداد با تولید کل و تولید بوته‌ای‌ها ($P < 0.05$) ارتباط بالایی نشان دادند. شاخص NDVI در فروردین ($P < 0.01$ و $r = 0.56$) و نیز NDVI و EVI در مرداد با تولید کل و سالیانه ($P < 0.05$) دارای همبستگی معنی‌دار بودند. شاخص‌های NDVI، DVI، MSAVI1,2، PVI، PVI1,2، CTVI، RATIO، TSAVI1,2، SAVI، TVI و TTVI با پوشش شکل رویشی پهن‌برگ یک‌ساله در ماه خرداد ارتباط معنی‌داری نشان دادند ($P < 0.01$). شاخص AVI نیز در خرداد و مرداد با پوشش گراس‌های چندساله ارتباط نشان داد (به ترتیب $r = 0.56$ و $r = 0.45$). نتایج بیانگر توان بالای تصاویر ماهواره‌ای در برآورد پوشش و تولید گیاهی شکل‌های مختلف رویشی در مقیاس منطقه‌ای و جایگزینی آن‌ها با روش‌های سنتی و پرهزینه است، بنابراین می‌توان از آن‌ها در مدیریت پایدار مراتع استفاده کرد.

واژه‌های کلیدی: مراتع نیمه‌استپی، منطقه حفاظت‌شده تنگ صباد، شاخص‌های گیاهی، چهارمحال و بختیاری، همبستگی

مقدمه

همکاران، (۱۳۹۷). این اکوسیستم‌ها نه تنها از نظر گستردگی، بلکه از نظر کارکردهای اکولوژیکی و اقتصادی نیز به‌عنوان یکی از منابع کلیدی در سطح جهان مطرح هستند (Briske et al., 2024).

به مقدار رشد سال جاری گیاهان در واحد سطح، تولید گیاهی گفته می‌شود (Vallentine, 2001). تولید علوفه در مراتع بسیار متغیر است و به عوامل متعددی از جمله اقلیم، خاک و توپوگرافی بستگی دارد (Becchetti et al., 2016).

مراتع به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین اکوسیستم‌های خشکی (کاوایان‌پور و همکاران، ۱۳۹۸)، بیش از نیمی از سطح کشور را در برمی‌گیرند (پیچند، ۱۳۹۶) و از مهم‌ترین منابع طبیعی تجدیدپذیر محسوب می‌شوند (Arzani et al., 1995). از این رو، مراتع به‌منزله سرمایه‌ای ملی و ارزشمند شناخته می‌شوند که در فرآیند توسعه اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی نقش مؤثری ایفا می‌کنند (عوض‌پور و

*نویسنده مسئول: aa.naghipour@sku.ac.ir

اکولوژیکی گیاهان، سلامت پوشش گیاهی، بررسی فنولوژی و تحلیل تغییرات اکوسیستم نقش دارند (علوی‌پناه، ۱۳۹۵؛ Tsouros et al., 2019; Ahmad et al., 2020). این شاخص‌ها معمولاً مبتنی بر تفاوت بازتاب طیفی گیاهان در باندهای مرئی و مادون قرمز نزدیک تعریف می‌شوند و برای تحلیل ویژگی‌های گیاهان در مکان و زمان بسیار مفیدند (Gong et al. 2012; Chen et al., 2012).

شاخص‌های طیفی را می‌توان به دو گروه عمده شیب‌محور و فاصله‌محور طبقه‌بندی کرد (Jackson & Huete, 1991). اصل اساسی در سنجش از دور این است که اجسام، به‌ویژه گیاهان، در طول موج‌های مختلف، تابش‌های دریافتی را به‌صورت متفاوتی بازتاب، جذب یا عبور می‌دهند. این تفاوت‌ها مبنای ویژگی‌های طیفی گیاهان را تشکیل می‌دهند و شناسایی این ویژگی‌ها برای تحلیل دقیق جوامع گیاهی و شرایط پوشش گیاهی ضروری است (علوی‌پناه، ۱۳۹۱). در مطالعه‌ای توسط سنایی و ابراهیمی (۱۴۰۱)، تولید مراتع طبیعی و رهاشده استان چهارمحال و بختیاری با استفاده از شاخص‌های سنجنده Landsat 8 بررسی شد. نتایج نشان داد که شاخص‌های TTVI، CTVI، TVI، NRVI و RATIO بیشترین همبستگی را با تولید گیاهی دارند و در این میان، شاخص NRVI بهترین عملکرد را در تخمین تولید مراتع رهاشده و شخم‌خورده داشته است. همچنین، در پژوهشی در منطقه Pen Tehsil، پویایی پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های CTVI، DVI و NDVI مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد که شاخص CTVI در تشخیص تغییرات ظریف پوشش گیاهی عملکرد قابل قبولی دارد (Bagade, 2025).

بنابراین، بهره‌گیری از سنجش از دور و شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی، روشی مؤثر برای پایش تولید و تغییرات پوشش گیاهی در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی محسوب می‌شود. این شاخص‌ها امکان ارزیابی کمی ویژگی‌های اکولوژیکی شکل‌های مختلف رویشی را فراهم ساخته و به شناسایی نوع، پراکنش و روند تغییرات در پوشش گیاهی کمک می‌کنند. چنین اطلاعاتی در تحلیل روندهای تخریب یا احیای پوشش گیاهی، ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی و برنامه‌ریزی برای بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی نقش کلیدی دارند. در همین راستا، هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای

اندازه‌گیری تولید گیاهی در مطالعات مختلفی نظیر ارزیابی ظرفیت چرای دام، تعیین غالبیت اکولوژیکی گونه‌ها، برآورد تولیدات دامی و برنامه‌ریزی‌های مدیریتی مرتع کاربرد دارد (Masters et al., 2007; Ebrahimi et al., 2010; Bonham, 2013; White et al., 2014). روش‌های متنوعی برای اندازه‌گیری تولید گیاهی توسعه یافته‌اند که هر یک از نظر دقت، هزینه، زمان و نیاز به مهارت، تفاوت‌هایی دارند (Ebrahimi et al., 2008). با توجه به تنوع شکل‌های رویشی گونه‌های گیاهی، استفاده از یک روش استاندارد برای اندازه‌گیری تولید به‌منظور کاهش خطا و زمان، ضروری به نظر می‌رسد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۰). به‌طور کلی، دو رویکرد زمینی و سنجش از دور برای برآورد تولید مرتع به کار گرفته می‌شود (Liu et al., 2019). در میان روش‌های موجود، روش قطع و توزین به‌عنوان دقیق‌ترین روش شناخته شده است (Arzani et al., 2019; Meshesha et al., 1994). با اینکه این روش اندازه‌گیری تولید، کامل‌ترین و دقیق‌ترین روش عنوان شده، اما بسیار زمان‌بر، پرهزینه و مخرب است (Arzani et al., 1995; Arzani et al., 2008; Ebrahimi et al., 1994). از این رو، تلاش‌های متعددی برای جایگزینی آن با روش‌هایی ساده‌تر، عملی‌تر و کم‌هزینه‌تر صورت گرفته است (Frank & McNaughton, 1990).

پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) امکان برآورد زیست‌توده گیاهی را با دقت و کارایی بیشتری نسبت به روش‌های سنتی فراهم کرده‌اند (Reeves et al., 2024). در چند دهه گذشته، روش‌های متعددی مبتنی بر داده‌های سنجش از دور نوری، راداری و لیدار توسعه یافته‌اند. در این میان، داده‌های نوری به دلیل در دسترس بودن، مقرون‌به‌صرفه بودن و پوشش وسیع، توجه بیشتری را به خود جلب کرده‌اند و به‌عنوان جایگزینی بالقوه برای نمونه‌برداری‌های زمینی در برآورد زیست‌توده مطرح شده‌اند (Reeves et al., 2024).

اغلب پژوهش‌ها از داده‌های نوری با وضوح پایین تا متوسط استفاده کرده و با استفاده از روابط تجربی، داده‌های میدانی زیست‌توده را با شاخص‌های گیاهی (VIs) مرتبط ساخته‌اند (Eisfelder et al., 2011; Kumar et al., 2015). شاخص‌های پوشش گیاهی ابزارهایی غیرمخرب، مقرون‌به‌صرفه و در دسترس هستند که در پایش ویژگی‌های

سایت نمونه‌برداری با توجه به شرایط و مدیریت مناطق چرای انتخاب شد. در ادامه، در هر کدام، ۳ ماکروپلات ۳۰ × ۳۰ متری مستقر شدند. نمونه‌برداری از تولید و در صد پوشش گیاهی شکل‌های رویشی با روش تصادفی-سیستماتیک و با استفاده از ۳ پلات ۲ × ۲ متری (طهماسبی و همکاران، ۱۳۹۱) در سه ترانسکت (با حداقل فاصله ۵۰ متر بین هر دو ترانسکت) انجام گرفت.

پس از تعیین محدوده مورد مطالعه، برای اندازه‌گیری پارامترهای تولید، این پارامتر به صورت تفکیک شده برای ۵ شکل رویشی (گراس یک‌ساله: AG، پهن‌برگ یک‌ساله: AF، گراس چندساله: PG، پهن‌برگ چندساله: PF و بوته‌ای: Sh) در هشت سایت محاسبه و موقعیت هر پلات نیز با استفاده از سیستم موقعیت‌یاب جغرافیایی (GPS) ثبت شد. در صد تاج پوشش به روش برآورد چشمی تخمین زده شد. دوره نمونه‌برداری از فروردین تا خرداد ماه ادامه داشت. برای محاسبه تولید زیست‌توده‌ی بالای سطح زمین، از روش نمونه‌برداری مضاعف استفاده شد؛ بدین صورت که ابتدا تولید در کلیه پلات‌ها تخمین زده شد و در یک‌سوم پلات‌ها، گیاهان یک‌ساله و چندساله از ارتفاع یک سانتی‌متری خاک قطع گردیده و خشک شدند. سپس رابطه رگرسیونی بین وزن خشک واقعی و مقادیر تخمینی محاسبه و برآورد تولید واقعی صورت گرفت. برای گیاهان بوته‌ای، از روش شاخص‌سازی استفاده شد. در ابتدا، شاخه‌هایی که نماینده‌ی ۱۰ تا ۲۰ درصد اندازه‌ی کل گیاه بودند انتخاب و با گیاهان موجود در پلات مقایسه شدند. سپس با استفاده از برآورد چشمی، مقدار کل زیست‌توده (تولید سال جاری و سال‌های قبل) هر بوته تخمین زده شد. بخش فتوسنتز کننده نیز از سایر اندام‌ها تفکیک گردید و وزن تر گیاهان بوته‌ای در هر دوره رویشی تخمین زده شد. نمونه‌ها پس از خشک شدن در هوای آزاد، در آزمایشگاه توزین شدند تا وزن خشک به دست آید.

تهیه تصاویر ماهواره‌ای

در این تحقیق، از تصاویر چند طیفی سنجنده OLI ماهواره Landsat 8 با استفاده از مختصات گذر (Path) ۱۶۴ و ردیف (Row) ۳۸ از مرکز داده پایگاه زمین‌شناسی ایالات‌متحده (USGS) با حداقل درصد ابرناکی (کمتر از ۵ درصد) و نزدیک‌ترین زمان به تاریخ نمونه‌برداری، برای تحلیل و پردازش استفاده شد (جدول ۱).

Landsat 8 و شاخص‌های طیفی استخراج‌شده از آن در برآورد تولید و پوشش گیاهی شکل‌های مختلف رویشی (بوته‌ای، گراس یک‌ساله، گراس چندساله، پهن‌برگ یک‌ساله و پهن‌برگ چندساله) در مراتع نیمه‌استپی منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد در استان چهارمحال و بختیاری است. یکی از جنبه‌های نوآورانه این پژوهش، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌های زمانی مختلف است که امکان بررسی تغییرات تولید در طول فصل رشد این شکل‌های رویشی را فراهم می‌نماید. یافته‌های این تحقیق می‌تواند زمینه‌ساز بهره‌گیری گسترده‌تر از ابزارهای سنجش از دور در مدیریت کارآمد و پایدار مراتع مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور باشد.

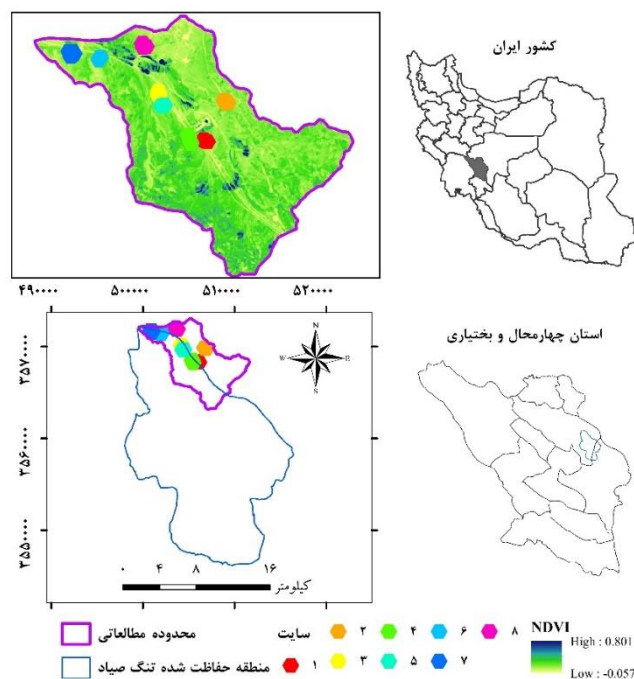
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه حفاظت‌شده تنگ صیاد در شرق شهرستان شهرکرد و غرب شهرستان بروجن در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. مساحت این منطقه برابر با ۵۱۱۸۱ هکتار بوده و از نظر جغرافیایی در محدوده‌ای با طول‌های شرقی ۵۹° ۵۰' تا ۵۱° ۱۰' و عرض‌های شمالی ۳۲° ۳۲' تا ۳۲° ۱۷' قرار دارد. ارتفاع میانگین منطقه از سطح دریا حدود ۲۷۲۰ متر است (شکل ۱). بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی دومارتن و آمبرژه، این منطقه دارای اقلیم خشک تا نیمه‌خشک است. میانگین دمای سالانه در محدوده ۶/۱ تا ۶/۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش سالانه حدود ۴۲۴ میلی‌متر گزارش شده است (حیدری قهفرخی و همکاران، ۱۴۰۳). از جمله گونه‌های گیاهی غالب منطقه می‌توان به *Stipa*, *Scariola orientalis*, *Cousinia Astragalus verus hohenackeriana*, *Astragalus microphysa bachtiarica*, *Bromus Acanthophyllum bracteatum* و *Camphorosma monspeliaca* اشاره کرد.

نمونه‌برداری میدانی

بعد از تعیین محدوده مورد بررسی، نمونه‌برداری از پوشش گیاهی در دو دوره زمانی مختلف انجام شد. دوره اول در اوایل بهار و دوره دوم مطابق با حداکثر رشد در اواخر اردیبهشت و اوایل خرداد انجام شد. ابتدا، با انجام پیمایش‌های میدانی و بررسی شرایط محیطی، هشت



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در ایران و استان چهارمحال و بختیاری به همراه سایت‌های نمونه‌برداری

جدول ۱- تاریخ تصاویر Landsat-8 مورد استفاده در مطالعه

قدرت تفکیک	تعداد باند	تاریخ تصاویر	
		شمسی	میلادی
۳۰ m	۹	۱۴۰۲/۰۱/۱۶	۲۰۲۳/۰۴/۰۵
۳۰ m	۹	۱۴۰۲/۰۲/۲۵	۲۰۲۳/۰۵/۱۵
۳۰ m	۹	۱۴۰۲/۰۳/۰۲	۲۰۲۳/۰۵/۲۳
۳۰ m	۹	۱۴۰۲/۰۳/۱۸	۲۰۲۳/۰۶/۰۸
۳۰ m	۹	۱۴۰۲/۰۳/۲۶	۲۰۲۳/۰۶/۱۶
۳۰ m	۹	۱۴۰۲/۰۴/۰۳	۲۰۲۳/۰۶/۲۴
۳۰ m	۹	۱۴۰۲/۰۵/۲۸	۲۰۲۳/۰۸/۱۸

محاسبه شاخص‌های پوشش گیاهی

برای پردازش شاخص‌های گیاهی، از نرم‌افزارهای Terrset 2020 و ArcGIS 10.8.2 استفاده شد. شاخص‌های گیاهی با استفاده از نرم‌افزار Terrset و بر اساس تصاویر ماهواره‌ای استخراج و تولید شدند. این شاخص‌ها با ترکیب باندهای قرمز و مادون قرمز نزدیک با استفاده از نسبتی بین این دو باند ایجاد شدند. از میان شاخص‌های استفاده شده در این تحقیق می‌توان به NDVI، RATIO، RVI، TVI، CTVI، TTVI، EVI و SAVI که به گروه شاخص‌های شیب‌محور تعلق دارند (جدول ۲) و PVI1، PVI2، PVI3، TSAVI1،

TSAVI2، DVI، WdVI، MSAVI1، MSAVI2 و AVI که در گروه شاخص‌های فاصله محور قرار دارند (جدول ۳)، اشاره کرد. این شاخص‌ها به صورت رگرسیونی بین باندهای مستقل (بسته به نوع شاخص) و باندهای وابسته (بسته به نوع شاخص) با استفاده از خط خاک که نقاط غیر پوشیده از گیاهی را نشان می‌دهد، محاسبه شدند. پس از محاسبه شاخص‌های گیاهی، مقادیر عددی این شاخص‌ها برای هر تصویر ماهواره‌ای استخراج شدند. در نهایت، به منظور بررسی همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و شکل‌های مختلف رویشی، از تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 در سه بازه زمانی استفاده شد. در دوره نخست نمونه‌برداری (فروردین ۱۴۰۲؛ ۲۰۲۳/۰۴/۰۵)،

محاسبه ارتباط همبستگی تصاویر با تولید و درصد پوشش

تحلیل آماری و میزان معنی دار بودن ارتباط بین شاخص‌های پوشش گیاهی (استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8) با تولید و درصد پوشش گیاهی هر شکل رویشی با استفاده از همبستگی پیرسون بر اساس کتابخانه‌های ggcorrplot, ggplot2, dplyr و reshape2 در نرم‌افزار R4.4.1 انجام شد.

شاخص‌های گیاهی برای شکل‌های رویشی پهن‌برگ یک‌ساله و گراس یک‌ساله استخراج و تحلیل شدند. در دوره دوم نمونه‌برداری (خرداد ۱۴۰۲؛ ۱۴۰۲/۰۶/۰۸ تا ۲۰۲۳/۰۶/۰۸)، پنج شکل رویشی شامل پهن‌برگ یک‌ساله، گراس یک‌ساله، پهن‌برگ چندساله، گراس چندساله و بوته‌ای مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در نهایت، در دوره سوم (مرداد ۱۴۰۲؛ ۲۰۲۳/۰۸/۱۸ تا ۲۰۲۳/۰۹/۱۸)، ارزیابی مجددی از شاخص‌ها برای برخی شکل‌ها انجام شد.

جدول ۲- شاخص‌های شیب‌محور

نام مخفف	نام انگلیسی	فرمول	منبع
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	$(NIR - Red) / (NIR + Red)$	(Rouse et al., 1974)
TVI	Transformed Vegetation Index	$(NDVI + 0.5) \times 0.5$	(Qi et al., 1994)
EVI	Enhanced Vegetation Index	$(NIR - Red) / (1 + NIR + C1 \cdot Red + C2 \cdot Blue)$ C1=6.0, C2=7.5, L=1.0	(Huete et al., 2002)
RVI	Ratio Vegetation Index	Red / NIR	(Richardson & Wiegand, 1997)
CTVI	Corrected Transformed Vegetation Index	$NDVI + 0.5 / (NDVI + 0.5) \cdot \sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$	(Perry & Lautenschlager, 1984)
TTVI	Thiam's Transformed Vegetation Index	$\sqrt{ABS(NDVI + 0.5)}$	(Thiam, 1997)
Ratio	Ratio Index	NIR / Red	(Rouse et al., 1974)

NIR: باند مادون قرمز، Red: باند قرمز، Blue: باند آبی، C1 و C2 ضرایب پایداری ذرات معلق (C1 = ۶ و C2 = ۷/۵)، G = ۲/۵.

جدول ۳- شاخص‌های فاصله محور

نام مخفف	نام انگلیسی	فرمول	منبع
PVI	Perpendicular Vegetation Index	$\sqrt{(R_{gg} - NIR)^2 + (R_{gg} - Red)^2}$	(Richardson & Wigand, 1997)
PVI1	Perpendicular vegetation index1	$\frac{(bNIR - Red) + a}{\sqrt{b^2 + 1}}$	(Perry & Lautenschlager, 1984)
PVI2	Perpendicular vegetation index 2	$\frac{(bNIR - Red) + a}{\sqrt{b^2 + 1}}$	(Bannari et al., 1996)
PVI3	Perpendicular vegetation index 3	a NIR - b Red	(Qi, 1994)
DVI	Divergence Vegetation Index	a NIR - Red	(Richardson & Wigand, 1997)
WDVI	Weighted Difference Vegetation Index	NIR - b Red	(Clevers, 1989)
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index	$(1 + L) NIR - Red) / NIR + Red + L$, where L = 0.5	(Huete, 1988)
TSAVI1	Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index 1	$b (NIR - b Red - a) (Red + b NIR - ab)$	(Baret & Guyot, 1991)
TSAVI2	Transformed Soil-Adjusted Vegetation Index 2	$b (NIR - b Red - a) / Red + b NIR - ab + 0.08(1 + b^2)$	(Baret & Guyot, 1991)
MSAVI1	Modified Soil- Adjusted Vegetation Index 1	$\{(NIR - Red)/(NIR + Red + L)\}(1 + L)$	(Qietal, 1994)
MSAVI2	Modified Soil-Adjusted Vegetation Index 2	$(0.5) * (2 * (NIR + 1) - \sqrt{((2 * NIR + 1)^2 - 8 * (NIR - Red))})$	(Qi, 1994)
AVI	Ashburn Vegetation Index	$2 MSS7 - MSS5$ In OLI: NIR - Red	(Ashburn, 1979)

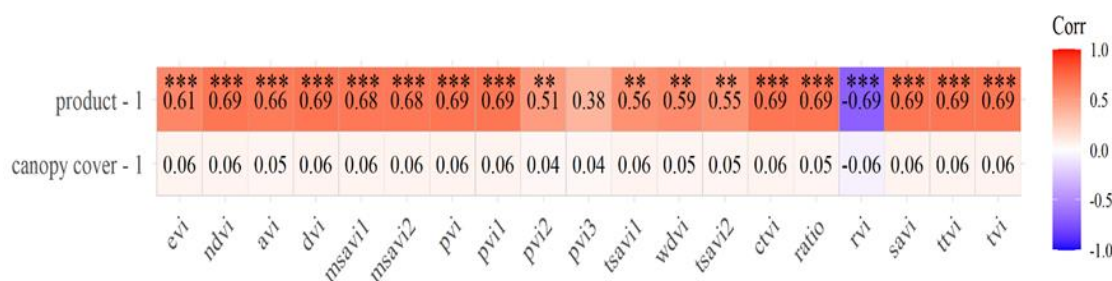
NIR = باند مادون قرمز، Red = باند قرمز، a = شیب خط خاک، b = عرض از مبدأ خط خاک، L = ۰/۵، G = ۲/۵ و R_{gg} = خط خاک

نتایج

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر فروردین ۲۰۲۳/۰۴/۰۵ با شکل رویشی AF

نتایج همبستگی بین شاخص‌های گیاهی و شکل رویشی پهن‌برگ یک‌ساله (AF) نشان داد که شاخص‌های گیاهی NDVI، DVI، PVI، PVI1، CTVI، RATIO، SAVI، TTVI، TVI و EVI در سطح ۰/۱ درصد ($P < 0.001$)

و شاخص‌های PVI2 و TSAVI1,2 در سطح ۰/۰۰۱ درصد با تولید همبستگی مثبت معنی‌داری داشتند ($P < 0.01$). در مقابل، شاخص گیاهی RVI با تولید همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد داشت ($P < 0.001$). همچنین هیچ‌یک از شاخص‌ها با درصد پوشش گیاهی در این بازه زمانی ارتباط معنی‌داری نشان ندادند (شکل ۲).

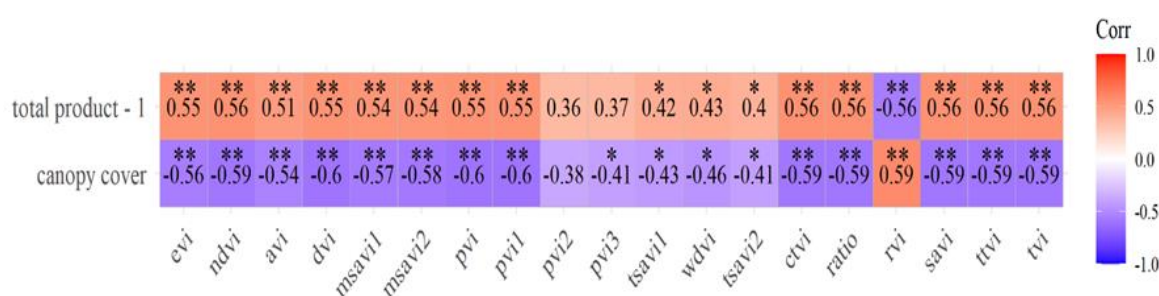


شکل ۲- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی AF
Product 1 و Canopy cover 1: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید دوره اول نمونه‌برداری (فروردین)

همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت ($P < 0.01$). نتایج همچنین نشان داد که شاخص‌های گیاهی $MSAVI1,2$, DVI , AVI , PVI , DVI , $NDVI$, EVI و TVI , $TTVI$, $SAVI$, $RATIO$, $CTVI$, $PVI1$ در سطح ۱ درصد با پوشش گیاهی کل ارتباط نشان داده ($P < 0.01$) و شاخص‌های $TSAVI1,2$, $WDVI$ و $PVI3$ در سطح ۵ درصد با پوشش گیاهی کل همبستگی منفی معنی‌داری داشتند ($P < 0.05$). شاخص RVI نیز با پوشش گیاهی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان داد ($P < 0.01$) (شکل ۳).

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر فروردین (۲۰۲۳/۰۴/۰۵) با تولید کل

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۴/۰۵ و تولید کل، نشان داد که شاخص‌های گیاهی PVI , DVI , $NDVI$, AVI , $MSAVI1,2$, $CTVI$, $PVI1$, $RATIO$, $SAVI$, $TTVI$ و TVI در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) و شاخص‌های $TSAVI1,2$ و $WDVI$ در سطح ۵ درصد با تولید کل، همبستگی مثبت معنی‌داری داشتند ($P < 0.05$). همچنین، شاخص گیاهی RVI با تولید کل

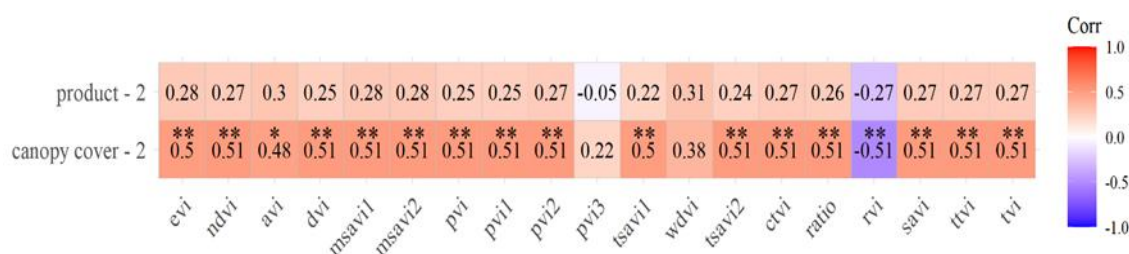


شکل ۳- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با تولید کل
Product 1 و Canopy cover 1: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید دوره اول نمونه‌برداری (فروردین)

با پوشش گیاهی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشتند ($P < 0.01$) در حالی که شاخص گیاهی RVI با پوشش گیاهی، همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۱ درصد نشان داد ($P < 0.01$). در این دوره، بین شاخص‌ها و تولید رابطه معنی‌داری مشاهده نشد (شکل ۴).

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر خرداد (۲۰۲۳/۰۶/۰۸) با شکل رویشی AF

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۶/۰۸ و شکل رویشی پهن‌برگ یک‌ساله، نشان داد که شاخص‌های گیاهی EVI , TVI , $TTVI$, $SAVI$, $RATIO$, $CTVI$, $NDVI$, $MSAVI1,2$ و DVI , AVI , PVI , $PVI1$ و $TSAVI1,2$



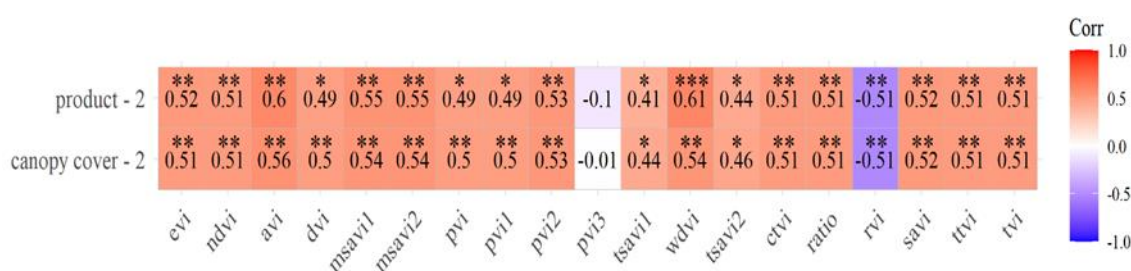
شکل ۴- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی AF
Product 2 و Canopy cover 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید دوره دوم نمونه‌برداری (خرداد)

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر خرداد

PG با شکل رویشی (۲۰۲۳/۰۶/۰۸)

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۶/۰۸ و شکل رویشی گراس چند ساله، نشان داد که شاخص گیاهی WDV با تولید، همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد داشت ($P < 0.001$) و شاخص‌های گیاهی TVI، EVI، AVI، TTVI، PVI2، CTVI، RATIO، SAVI، NDVI و MSAVI1,2 با تولید، همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) و شاخص‌های

گیاهی DVI، PVI، PVI1 و TSAVI1,2 با تولید همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان دادند ($P < 0.05$). همچنین شاخص‌های گیاهی PVI1,2، WDV، EVI، PVI، AVI، DVI، MSAVI1,2، CTVI، NDVI و TTVI با پوشش گیاهی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) و شاخص‌های TSAVI1,2 با پوشش گیاهی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان دادند ($P < 0.05$). در حالی که شاخص گیاهی RVI با تولید و پوشش گیاهی همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشت ($P < 0.01$) (شکل ۵).



شکل ۵- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی PG

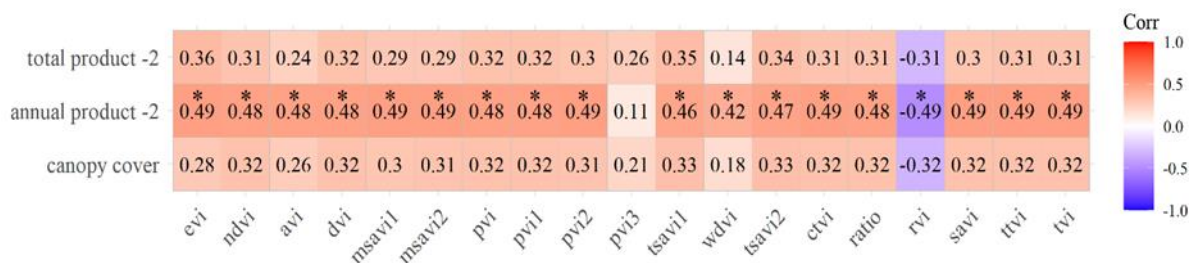
Product 2 و Canopy cover 2 به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید دوره دوم نمونه‌برداری (خرداد)

TTVI، PVI2، DVI، PVI، PVI1,2، RATIO، NDVI، SAVI، CTVI، WDV، TSAVI1,2 و MSAVI1,2 با تولید سالیانه کل همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارند ($P < 0.05$) و شاخص RVI با تولید سالیانه کل همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت ($P < 0.05$) (شکل ۶).

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر خرداد

(۲۰۲۳/۰۶/۰۸) با تولید کل

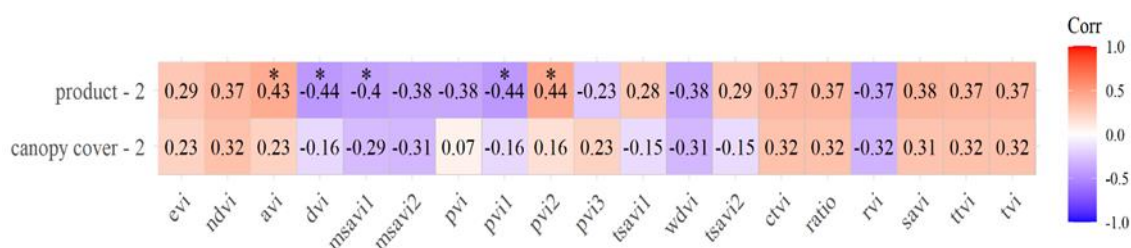
نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۶/۰۸ و تولید کل، نشان داد که شاخص‌های گیاهی TVI، EVI، AVI،



شکل ۶- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 تولید کل

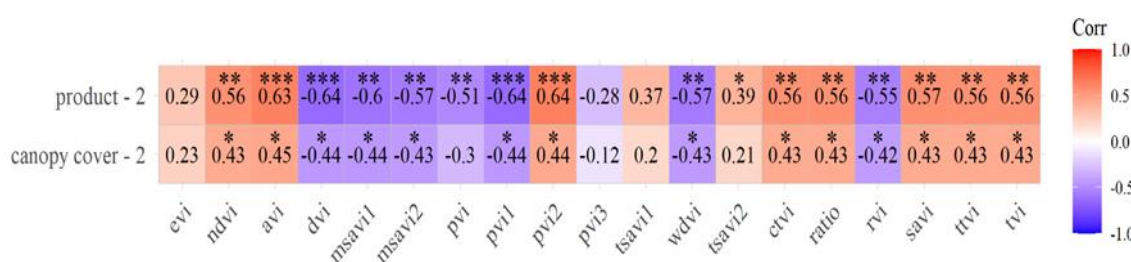
Canopy cover و Product 2 و annual product 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل و تولید سالیانه دوره دوم نمونه‌برداری (خرداد)

AVI و PVI2 با تولید همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) و شاخص‌های گیاهی PVI1، DVI و MSAVI1 با تولید همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند ($P < 0.05$). در این تصویر نیز رابطه معنی‌داری بین شاخص‌ها و درصد پوشش گیاهی مشاهده نشد (شکل ۷).



شکل ۷- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی AF
Product 2 و Canopy cover 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید دوره دوم نمونه‌برداری (مرداد)

مثبت معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشتند ($P < 0.01$). همچنین، شاخص‌های گیاهی RATIO، TTVI، TVI، SAVI، CTVI، AVI، NDVI، PVI2، DVI و MSAVI1 با پوشش گیاهی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشتند ($P < 0.05$)، در حالی که شاخص‌های گیاهی DVI، MSAVI1، 2، PVI1، WDV، RVI و پوشش گیاهی همبستگی منفی معنی‌داری نشان دادند ($P < 0.05$) (شکل ۸).



شکل ۸- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل رویشی PG
Product 2 و Canopy cover 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید دوره دوم نمونه‌برداری (مرداد)

بوته‌ای، نشان می‌دهد که شاخص EVI با تولید کل و تولید سالیانه همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد دارد ($P < 0.05$) (شکل ۹).

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر مرداد (۲۰۲۳/۰۸/۱۸) با شکل رویشی AF

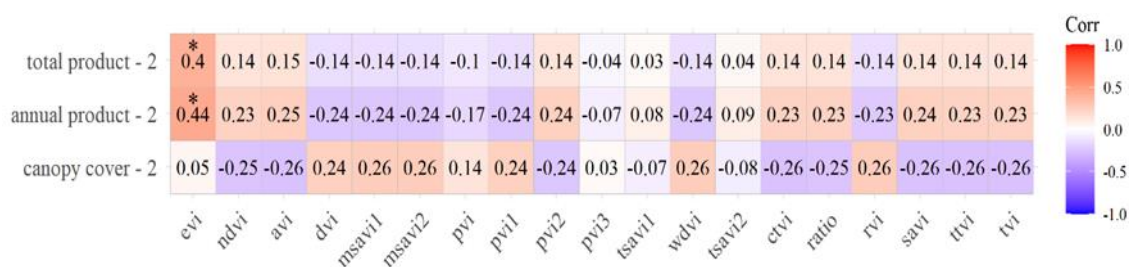
نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۸/۱۸ و شکل رویشی پهن‌برگ یک ساله، نشان می‌دهد که شاخص‌های گیاهی

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر مرداد (۲۰۲۳/۰۸/۱۸) با شکل رویشی PG

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۸/۱۸ و شکل رویشی گراس چندساله، نشان داد که شاخص‌های گیاهی AVI و PVI2 با تولید همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۰/۱ درصد ($P < 0.001$) و شاخص‌های گیاهی TTVI، TVI، SAVI، RATIO، NAVI و CTVI با تولید همبستگی

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر مرداد (۲۰۲۳/۰۸/۱۸) با شکل رویشی SH

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۸/۱۸ و شکل رویشی



شکل ۹- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با شکل روشی SH

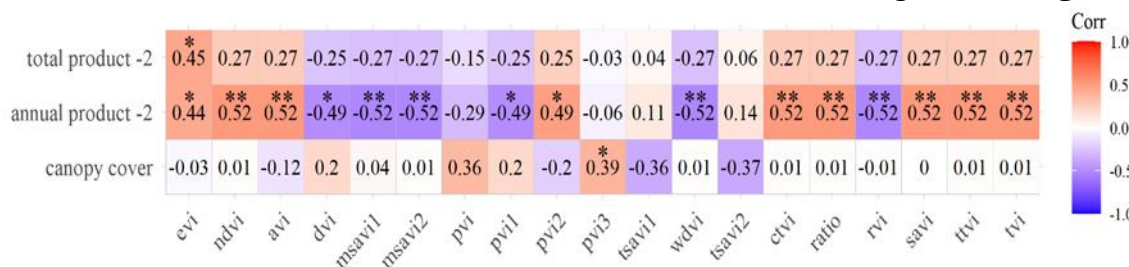
Canopy cover 2 و Product 2 و annual product 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل و تولید سالیانه دوره دوم نمونه‌برداری (مرداد)

شاخص‌های گیاهی EVI و PVI2 با تولید سالیانه کل همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان دادند ($P < 0.05$). در حالی که شاخص‌های گیاهی WDVI، MSAVI1,2 و RVI با تولید سالیانه کل همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۱ درصد داشتند ($P < 0.01$). شاخص‌های DVI و PVI1 با تولید سالیانه کل همبستگی منفی معنی‌داری در سطح ۵ درصد نشان دادند ($P < 0.05$). همچنین، شاخص PVI3 با پوشش گیاهی همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد داشت ($P < 0.05$) (شکل ۱۰).

بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر مرداد (۲۰۲۳/۰۸/۱۸) با تولید کل

نتایج حاصل از تحلیل همبستگی بین شاخص‌های گیاهی در تصویر ماهواره‌ای ۲۰۲۳/۰۸/۱۸ با تولید کل، نشان می‌دهد که شاخص گیاهی EVI با تولید کل، همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۵ درصد ($P < 0.05$) داشت.

شاخص‌های گیاهی TVI، TTVI، SAVI، RATIO، NAVI، AVI و CTVI با تولید سالیانه کل همبستگی مثبت معنی‌داری در سطح ۱ درصد ($P < 0.01$) و



شکل ۱۰- بررسی ارتباط شاخص‌های گیاهی تصویر Landsat-8 با تولید کل

Canopy cover و Product 2 و annual product 2: به ترتیب درصد پوشش گیاهی و تولید کل و تولید سالیانه دوره دوم نمونه‌برداری (مرداد)

مبتنی است که اشیاء و پدیده‌های سطح زمین، در طول دوره‌های زمانی مختلف، مقادیر متفاوتی از تابش را جذب، منتشر یا عبور می‌دهند. گیاهان نیز با انواع مختلف، نسبت‌های گوناگونی از تابش دریافتی را بازتاب می‌دهند که به‌عنوان ویژگی‌های طیفی گیاه شناخته می‌شود. این مسئله باعث می‌شود که محاسبه یک شاخص گیاهی در یک منطقه، با استفاده از باندهای مختلف تصاویر، مقادیر متنوعی را نشان دهد و نقش اساسی را در انتخاب شاخص‌های گیاهی مناسب برای مطالعات سنجش از دور ایفا کند. این امر همچنین نشان می‌دهد که انتخاب شاخص‌های گیاهی مناسب برای هر منطقه باید با در نظر

بحث و نتیجه‌گیری

سنجش از دور به‌عنوان یک فناوری پیشرفته و مؤثر در مدیریت منابع طبیعی، امکان پایش دقیق اکوسیستم‌های وسیع مانند مراتع را فراهم کرده است. این پژوهش با هدف ارزیابی قابلیت تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 در برآورد تولید اشکال مختلف رویشی انجام شد. نتایج نشان داد که این تصاویر توانایی بالایی در برآورد تولید گیاهی دارند و می‌توانند جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی و پرهزینه باشند. این یافته‌ها با مطالعات مشابهی که تأثیر مثبت داده‌های سنجش از دور در ارزیابی زیست‌توده را تأیید کرده‌اند، همسو است (Reeves et al., 2024; Kumar et al., 2015). اساس سنجش از دور، بر این اصل

نشان می‌دهد (Cui et al., Maselli et al., 2009).
(2013).

شاخص‌های WDI بهترین ارتباطات را در ماه خرداد با تولید شکل رویشی گراس چند ساله نشان داده است. WDI با در نظر گرفتن تفاوت بازتاب نور توسط گیاه و خاک و کاهش اثرات خاک، به خوبی با تراکم پوشش گیاهی مرتبط است و در تراکم‌های بالا دچار اشباع نمی‌شود. این شاخص در تخمین زیست‌توده، پایش تغییرات پوشش گیاهی، ارزیابی سلامت گیاهان و مدیریت منابع طبیعی کاربرد دارد. در مطالعه‌ای به بررسی واکنش شاخص‌های گیاهی، از جمله WDI، به پوشش مواد مرده در مراتع مختلط پرداخته و نشان داده‌اند که WDI در مقادیر بالای پوشش مواد مرده (>0.5) حساسیت بیشتری نسبت به تغییرات این مواد دارد (Xiaohui and Xulin, 2014).

شاخص PVI2 برای اشکال رویشی پهن‌برگ یک ساله و گراس چندساله در مرداد بهتر عمل کرده است. با این حال، شاخص PVI2 احتمالاً به دلیل بهبود در کاهش اثرات پس‌زمینه خاک، افزایش حساسیت به تغییرات پوشش گیاهی، کاهش اثرات اتمسفری یا بهبود در تفکیک انواع پوشش گیاهی، در مقایسه با سایر شاخص‌ها در یک کاربرد خاص، بهترین عملکرد را نشان داده است.

برای شکل رویشی بوته‌ای شاخص گیاهی EVI بهترین ارتباط را با تولید کل و تولید سالیانه بوته‌ای در ماه مرداد نشان می‌دهد. شاخص‌های NDVI و EVI ارتباط قوی‌تری با تولید کل مراتع نشان دادند. شاخص EVI با در نظر گرفتن اثرات جوی و پس‌زمینه تاج پوشش و همچنین افزایش حساسیت در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، در بسیاری از مطالعات و کاربردها، به‌ویژه در مقیاس‌های بزرگ و در شرایط مختلف محیطی، به‌عنوان یک شاخص پوشش گیاهی برتر شناخته می‌شود (Gao et al., 2000; Didan, 2015). این یافته‌ها با مطالعات قبلی که از شاخص NDVI برای برآورد زیست‌توده در مقیاس‌های وسیع استفاده کرده‌اند (Liu et al., 2019)، تطابق دارد.

شاخص‌های NDVI، DVI، MSAVI1,2، PVI، SAVI، TSATI1,2، CTVI، PVI1,2 و TTVI با پوشش گیاهی شکل رویشی پهن‌برگ یک‌ساله در ماه خرداد ارتباط نشان دادند. شاخص DVI به

گرفتن نوع تصاویر و ویژگی‌های آن منطقه، به دقت انجام شود (Theau et al., 2010).

زمان رویش گیاهان مختلف، به ویژه در مراتع نیمه‌استپی، نقش حیاتی در تحلیل داده‌های سنجش از دور و برآورد تولید دارد. گراس‌های یک‌ساله در اواخر زمستان و اوایل بهار شروع به رویش می‌کنند و در اواسط بهار به اوج رشد خود می‌رسند. گراس‌های چندساله نیز در همین بازه زمانی رشد می‌کنند، اما به دلیل سیستم ریشه‌ای عمیق‌تر تا اواخر بهار تولید گیاهی خود را حفظ می‌کنند (مقدم، ۱۳۹۳). پهن‌برگ‌های یک‌ساله مشابه گراس‌های یک‌ساله در اوایل بهار رویش دارند و رشد آن‌ها تا پایان فصل بهار ادامه می‌یابد. پهن‌برگ‌های چندساله فصل رشد طولانی‌تری دارند و در شرایط مناسب تا اوایل تابستان نیز رشد می‌کنند (Hurtado-Uria et al., 2013). بوته‌ای‌ها در طول سال فعال هستند، اما اوج رشد آن‌ها در مناطق نیمه‌استپی معمولاً در تابستان مشاهده می‌شود. زمان رویش بوته‌ای‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی از جمله نوع گونه، شرایط آب و هوایی، نوع خاک و ارتفاع از سطح دریا قرار دارد (مصادقی، ۱۳۹۴). بنابراین، جمع‌آوری تصاویر ماهواره‌ای در بازه‌های زمانی مختلف برای ثبت دقیق تغییرات تولید هر شکل رویشی ضروری است.

تصاویر ماهواره‌ای Landsat-8 قابلیت بالایی در برآورد تولید گیاهی دارند و می‌توانند جایگزین روش‌های سنتی شوند. Landsat-8 در این پژوهش به دلیل سری زمانی طولانی، متداول بودن این ماهواره و سازگاری بیشتر با شرایط منطقه استفاده گردید. اما استفاده از داده‌های Sentinel-1 و Sentinel-2 و SAR ممکن است تحقیقات در این زمینه را در آینده بهبود بخشد (Cilia et al., 2014; Reinermann et al., 2020).

ارتباط شاخص‌های NDVI، DVI، PVI، PVI1، CTVI، SAVI، RVI، TTVI و TVI با تولید شکل رویشی پهن‌برگ یک‌ساله در ماه فروردین مشاهده شده است. شاخص NDVI معمولاً برای اندازه‌گیری میزان سبزی‌نگی و پوشش گیاهی استفاده می‌شود و به دلیل قدمت و کارایی بالا، یکی از مهم‌ترین شاخص‌های پوشش گیاهی محسوب می‌شود. این شاخص به‌ویژه در مناطق با پوشش گیاهی کم تا متوسط، نسبت به تغییرات تراکم گیاهان و میزان فعالیت فتوسنتزی آن‌ها حساسیت بالایی

ویژگی‌های عملکردی روش تحلیل چشم‌انداز (LFA).
مرتع، ۱۷: ۱۳۲-۱۵۱.
سنایی، ز.، ابراهیمی، ع. ۱۴۰۱. مقایسه تولید مراتع طبیعی و رهاشده با استفاده از سنجش از دور مبتنی بر بررسی عملکرد شاخص‌های گیاهی در مراتع چهارمحال و بختیاری. مرتع، ۱۷: ۱۶۵-۱۷۸.
طهماسبی، پ.، ابراهیمی، ع.، فعال، م. ۱۳۹۰. بررسی مدل‌های رگرسیونی در برآورد تولید گیاهان مرتعی. مجله علمی پژوهشی مرتع، ۲: ۱۳۷-۱۴۶.
طهماسبی، پ.، ابراهیمی، ع.، یارعلی، ن. ۱۳۹۱. تعیین مناسب‌ترین شکل و اندازه کوادرات برای برآورد چند متغیر مرتعی در نیمه استپی. فصلنامه مرتع و آبخیزداری، ۱: ۲۰۳-۲۱۶.
علوی‌پناه، س.ک. ۱۳۹۵. کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک) (چاپ پنجم). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۹۶ صفحه.
علوی‌پناه، س.ک. ۱۳۹۱. اصول سنجش از دور نوین و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و عکس‌های هوایی (چاپ دوم). انتشارات دانشگاه تهران، ۷۸۴ صفحه.
عوض‌پور، ل.، قربانی، م.، عرفانزاده، ر. ۱۳۹۷. تحلیل خصوصیات ساختاری سرمایه اجتماعی بهره‌برداران در راستای استقرار مدیریت مشارکتی مرتع (منطقه مورد مطالعه: سامان عرفی نردین، شهرستان میامی، استان سمنان). مرتع، ۴: ۳۹۱-۴۰۰.
کاوایان‌پور، ا.، بارانی، ح.، سپهری، ع.، بهره‌مند، ع. ۱۳۹۸. اثرات تغییرات اقلیمی بر فعالیت‌های بهره‌برداران مرتع (مطالعه موردی: مراتع حوزه آبخیز هراز). مرتع، ۱: ۳۸-۲۶.
محمدی، م.، ابراهیمی، ع.، حق زاده، ا. ۱۳۹۱. قابلیت داده‌های ماهواره IRS در برآورد تاج پوشش گیاهی (مطالعه موردی: چهارمحال و بختیاری). مجله تحقیقات منابع طبیعی تجدید شونده، ۱: ۴۲-۵۲.
مصادقی، م. ۱۳۹۴. مرتعداری در ایران (چاپ هفتم). انتشارات دانشگاه امام رضا، ۳۲۸ صفحه.
مقدم، م. ۱۳۹۳. مرتع و مرتعداری (چاپ هشتم). انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۴ صفحه.
Ahmad, A., Ordoñez, J., Cartujo, P., Martos, V. 2020. Remotely piloted aircraft (RPA) in agriculture: A pursuit of sustainability. *Agronomy*, 11(1): 7.

دلیل سادگی و ارتباط مستقیم با تفاوت بازتاب طیفی گیاهان، در شرایط خاص (مانند تشخیص اولیه پوشش گیاهی از خاک یا در مناطق با پوشش گیاهی کم) می‌تواند ارتباط خوبی با وضعیت پوشش گیاهی نشان دهد (Richardson & Wiegand, 1997).
شاخص CTVI یک شاخص گیاهی است که در سنجش از دور برای ارزیابی تراکم و سلامت پوشش گیاهی استفاده می‌شود. در مطالعه‌ای به بررسی پویایی پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های CTVI، DVI و NDVI در یک منطقه خاص می‌پردازد و نشان می‌دهد که شاخص CTVI در شناسایی تغییرات ظریف در پوشش گیاهی مؤثر است (Bagade, 2025).
شاخص AVI بهترین عملکرد را با پوشش گیاهی شکل رویشی گراس چندساله در خرداد و مرداد داشته است. در حالی که شاخص AVI برای اندازه‌گیری پوشش گیاهی در شرایط جوی مختلف و معیارهای مقاومتی در برابر جو و هوا استفاده می‌شود که یافته‌های مشابهی در مطالعات مربوط به ارتباط شاخص‌های گیاهی و پوشش گیاهی توسط سالم و همکاران (Salem et al., 2024)، Fatiha et al (2013) و محمدی و همکاران (۱۳۹۱) گزارش شده است.
در مجموع، یافته‌های این پژوهش تأکید می‌کند که بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور نه تنها به بهبود مدیریت مراتع و منابع طبیعی کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به عنوان ابزاری اساسی در تحقیقات منابع طبیعی و محیط‌زیست مورد استفاده قرار گیرد. توسعه این مطالعات و استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پیشرفته‌تر می‌تواند دقت و کارایی این روش‌ها برای به دست آوردن تولید گیاهی را بهبود بخشد و نقش مؤثری در پایداری اکوسیستم‌های مرتعی ایفا کند.

منابع

پیچند، م. ۱۳۹۶. مطالعه تأثیر تبدیل مرتع به سایر کاربری‌های کشاورزی بر برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز امامه). فصلنامه اکوسیستم‌های طبیعی ایران، ۱: ۸۱-۹۹.
حیدری قهفرخی، ز.، طهماسبی، پ.، نقی پور، ع. ۱۴۰۳. ارتباط بین برخی از شاخص‌های تنوع و تنوع عملکرد با

- soil moisture. *Remote Sensing of Environment*, 29: 25-37.
- Cui, X., Gibbes, C., Southworth, J., Waylen, P. 2013. Using remote sensing to quantify vegetation change and ecological resilience in a semi-arid system. *Land*, 2(2): 108-130.
- Didan, K. 2015. MODIS Vegetation Index User's Guide (Collection 6). University of Arizona, 1-28.
- Ebrahimi, A., Bossuyt, B., Hoffmann, M. 2008. Effects of species aggregation, habitat and season on the accuracy of double-sampling to measure herbage mass in a lowland grassland ecosystem. *Grass and forage science*, 63(1): 79-85.
- Ebrahimi, A., Milotić, T., Hoffmann, M. 2010. A herbivore specific grazing capacity model accounting for spatio-temporal environmental variation: A tool for a more sustainable nature conservation and rangeland management. *Ecological Modelling*, 221(6): 900-910.
- Eisfelder, C., Kuenzer, C., Dech, S. 2011. Derivation of biomass information for semi-arid areas using remote-sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 33(9): 2937-2984.
- Fatiha, B., Abdelkader, A., Latifa, H., Mohamed, E. 2013. Spatio temporal analysis of vegetation by vegetation indices from multi-dates satellite images: application to a semi arid area in ALGERIA. *Energy Procedia*, 36: 667-675.
- Frank, D.A., McNaughton, S.J. 1990. Aboveground biomass estimations with the canopy intercept method: a plant growth form caveat. *Oikos*, 1: 57-60.
- Gao, X., Huete, A.R., Ni, W., Miura, T. 2000. MODIS bidirectional reflectance distribution function and albedo Algorithm: Algorithm Theoretical Basis Document Version 5.1. NASA Center for AeroSpace Information (CASI).
- Gong, B., Im, J., Jensen, J.R., Coleman, M., Rhee, J., Nelson, E. 2012. Characterization of forest crops with a range of nutrient and water treatments using AISA hyperspectral imagery. *GIScience & remote sensing*, 49(4): 463-491.
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E.P., Gao, X., Ferreira, L.G. 2002. Overview
- Arzani, H., King, G.W. 1994. Comparison of wheel point and point frame methods for plant cover measurement of semiarid and arid rangeland vegetation of New South Wales. *The Rangeland Journal*, 1: 94-105.
- Arzani, H., King, G.W. 1995. A double sampling method for estimating forage production from cover measurement. In proceeding of 8th biennial Australian rangelands conference, 201-202.
- Ashburn, P. 1979. The vegetative index number and crop identification. *Remote Sensing Review*, 13: 95-120.
- Bagade, R.J. 2025. Evaluating Vegetation Dynamics through Multiple Vegetation Indices: An Integrated Study of CTVI, DVI, and NDVI in Pen Tehsil. *International Journal of Advance and Applied Research*, 12(3): 216-223.
- Baret, F., Guyot, G. 1991. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote sensing of environment*, 35: 161-173.
- Becchetti, T., George, M., McDougald, N., Dudley, D.M., Connor, M., Flavell, D.K., Vaughn, C.E., Forero, L.C., Frost, B., Oneto, S.R. 2016. Annual Range Forage Production. Univ. Calif, Agric, Nat, Resour. Publ, 8018: 1-12.
- Bonham, C.D. 2013. Measurements for Terrestrial Vegetation: A John Wiley & Sons, Ltd., Publication.
- Briske, D.D., Vetter, S., Coetsee, C., Turner, M.D. 2024. Rangeland afforestation is not a natural climate solution. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 22(5): e2727.
- Chen, C.F., Chen, C.R., Son, N.T. 2012. Investigating rice cropping practices and growing areas from MODIS data using empirical mode decomposition and support vector machines. *GIScience & Remote Sensing*, 49(1): 117-138.
- Cilia, C., Panigada, C., Rossini, M., Meroni, M., Busetto, L., Amaducci, S., Boschetti, M., Picchi, V., Colombo, R. 2014. Nitrogen status assessment for variable rate fertilization in maize through hyperspectral imagery. *Remote Sens*, 6: 6549-6565.
- Clevers, J.G.P.W. 1989. Application of a weighted infrared-red vegetation index for estimating leaf area index by correcting for

- evolution, applications, future pathways. In *Remote Sensing Handbook, Volume III* (pp. 361-418). CRC Press.
- Reinermann, S., Asam, S., Kuenzer, C. 2020. Remote Sensing of Grassland Production and Management-A Review. *Remote Sensing*, 12: 1949.
- Richardson, A.J., Wiegand, C.L. 1977. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 43: 1541-1552
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *NASA. Goddard Space Flight Center 3d ERTS-1 Symp*, 1: 309-317.
- Salem, I.B., Nazzal, Y., Sharma, M., Howari, F.M., Kumaresan, P.R., Karthi, A., Al-Taani, A.A., Maloukh, L., Xavier, C. 2024. Mapping and monitoring of mangrove species in Eastern Lagoon National Park, Abu Dhabi, using Landsat 8 OLI data. *Arabian Journal of Geosciences*, 17(4): 118.
- Theau, J., Sankey, T.T., Weber, K.T. 2010. Multisensor analyses of vegetation indices in a semiarid environment, *GIS Science and Remote Sensing*, 47(2): 260-275.
- Thiam, A.K. 1997. Geographic information systems and remote sensing methods for assessing and monitoring land degradation in the Sahel region: The case of southern Mauritania, 490.
- Tsouros, D.C., Bibi, S., Sarigiannidis, P.G. 2019. A review on UAV-based applications for precision agriculture. *Information*, 10(11): 349.
- Vallentine, J.F. 2001. *Grazing Management*. Academic Press, 2: 559-578.
- White, R.R., Brady, M., Capper, J.L., Johnson, K.A. 2014. Optimizing diet and pasture management to improve sustainability of U.S. beef production. *Agricultural Systems* 130: 1-12.
- Xiaohui, Y., Xulin, G. 2014. Quantifying Responses of Spectral Vegetation Indices to Dead Materials in Mixed Grasslands. *Remote Sensing*, 6(5): 4289-4304.
- of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83: 195-213.
- Hurtado-Uria, C., Hennessy, D., Shalloo, L., Schulte, R.P.O., Delaby, L., O'Connor, D. 2013. Evaluation of three grass growth models to predict grass growth in Ireland. *The Journal of Agricultural Science*, 151: 91-104.
- Jackson, R.D., Huete, A.R. 1991. Interpreting vegetation indices. *Preventive veterinary medicine*, 11(3-4): 185-200.
- Kumar, L., Sinha, P., Taylor, S., Alqurashi, A.F. 2015. Review of the use of remote sensing for biomass estimation to support renewable energy generation. *Journal of Applied Remote Sensing*, 9(1): 097696-097696.
- Liu, H., Dahlgren, R.A., Larsen, R.E., Devine, S.M., Roche, L.M., O'Geen, A.T., Wong, A.J., Covello, S., Jin, Y. 2019. Estimating rangeland forage production using remote sensing data from a small unmanned aerial system (sUAS) and planetscope satellite. *Remote Sensing*, 11(5): 595.
- Maselli, F., di Gregorio, A., Capecchi, V. Breda, F. 2009, Enrichment of land-cover polygons with eco-climatic information derived from MODIS NDVI imagery. *Journal of Biogeography* 36(4): 639-650.
- Masters, D.G., Benes, S.E., Norman, H.C. 2007. Biosaline agriculture for forage and livestock production. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119: 234-248.
- Meshesha, D.T., Mohammed, M., Yosuf, D. 2019. Estimating carrying capacity and stocking rates of rangelands in Harshin District, eastern Somali Region, Ethiopia. *Ecology and Evolution*, 9(23):13309-13319.
- Perry Jr, C.R., Lautenschlager, L.F. 1984. Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 14: 169-182.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H., Sorooshian, S. 1994. A modified soil adjusted vegetation index. *Remote sensing of environment*, 48: 119-126.
- Reeves, M., Washington-Allen, R., Angerer, J., Hunt, E.R., Kulawardhana, W., Kumar, L., Loboda, T., Loveland, T., Metternicht, G., Ramsey, R.D., Hall, J.V. 2024. A global view of remote sensing of rangelands: