

ارزیابی شاخص‌های گیاهی برآورد پوشش و تولید گیاهی مراتع مناطق خشک در دوره‌های رویشی مختلف

۱- فاطمه پردل، دانش آموخته کارشناسی ارشد مرتعداری، دانشگاه شهرکرد

F.pordel@stu.sku.ac.ir

۲- عطاالله ابراهیمی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه شهرکرد

۳- زهرا عزیزی، استادیار گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۱

چکیده

یکی از کاربردهای مهم سنجش از دور در مدیریت منابع طبیعی، تشخیص و ارزیابی کمی پوشش گیاهی است. هدف این پژوهش بررسی شاخص‌های گیاهی حاصل از ماهواره لندست ۸ به منظور ارائه مدل برآورد تاج پوشش سبز و تولید گیاهی در مرتع مرجن شهرستان بروجن طی فصل رویش است. به این منظور، در طول ترانسکتی به طول ۱۰ کیلومتر و در فواصل حدود ۴۰۰-۱۰۰۰ متر در ۱۹ محل نمونه برداری (به صورت تصادفی) و در هر نقطه با ۵ کوادرات ۲×۲ متری به صورت کوادراتی مرکزی و چهار کوادرات در چهار جهت اصلی اطراف آن ۹۵ کوادرات در هر دوره آماربرداری و در طی ۴ دوره عملیات صحرایی ۳۸۰ کوادرات، بین اردیبهشت تا شهریور سال ۱۳۹۳ اندازه‌گیری‌های متغیرهای تولید (به روش اندازه‌گیری مضاعف) و پوشش تاجی (به روش پلات مشبک) انجام شد. پس از انجام تصحیح اتمسفری به روش FLAASH، ۱۲ شاخص گیاهی برای تمام تصاویر محاسبه شد. سپس ارزش‌های شاخص‌های گیاهی در روابط رگرسیونی در برابر ارزش‌های زمینی تاج پوشش سبز و تولید گیاهی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های ARVI، SARVI و EVI در برآورد تاج پوشش سبز گیاهی ($r^2=0.81$) و تولید گیاهی (به ترتیب با ضرایب تبیین ۰/۶۱، ۰/۶۱ و ۰/۶۰) در رگرسیون درجه سوم مناسب‌ترین گزینه‌ها بودند. به طور کلی نتایج این تحقیق نشان‌دهنده ارتباط قوی شاخص‌های گیاهی حاصل از لندست ۸ با تاج پوشش سبز و تولید گیاهی است، هر چند تاج پوشش سبز گیاهی دارای ارتباط قوی‌تری در مقایسه با تولید گیاهی با شاخص‌های گیاهی می‌باشد. به طور کلی نتیجه‌گیری می‌شود که تولید و پوشش گیاهی مناطق خشک با دقت نسبتاً بالایی می‌تواند به وسیله شاخص‌های گیاهی مستخرج از تصاویر ماهواره ای لندست ۸ برآورد گردد.

واژگان کلیدی: تاج پوشش سبز؛ تولید گیاهی؛ دوره رویشی؛ ARVI؛ EVI؛ SARVI.

مقدمه

بسیار مهمی دارد، تعیین ظرفیت بهینه چرای است در این امر تعیین میزان تولید گیاهی یکی از گام‌های اصلی است [۳۱]. زیتوده گیاهی میزان توده گیاهی یا انرژی انباشته شده است که به صورت وزن یا انرژی در واحد سطح (kJ.m^{-2} یا gr.m^{-2}) بیان می‌شود [۱۵]. یکی از کاربردهای مهم سنجش از دور در مدیریت منابع زیست محیطی، ارزیابی کمی و بررسی تغییرات پوشش گیاهی است [۴۲]. در طول سه دهه گذشته و تقریباً از زمان راه‌اندازی اولین ماهواره سنجش از دور مطالعات قابل توجهی در زمینه پویایی پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های گیاهی انجام شده است [۶]. در اواسط دهه ۱۹۸۰ چندین شاخص پوشش گیاهی پیشنهاد شد و

با توجه به کارکردهای زیست محیطی مراتع هم‌چون پالایش گاز کربنیک [۳۰]، تثبیت نیتروژن [۴۳]، نفوذ و نگهداشت آب و در نتیجه نقش مراتع در اقتصاد کشورها، ارزیابی و نظارت بر الگوی تغییرات پوشش گیاهی به عنوان یک موضوع اساسی در مطالعات منابع طبیعی تبدیل شده است [۴۲]. منظور از آنالیز مرتع، تولید اطلاعاتی است که بتوان با توجه به آن اطلاعات، برنامه‌هایی برای مدیریت و بهره‌برداری پایدار از مراتع ارائه داد. تاج پوشش گیاهی از جمله مؤلفه‌های مهم در ارزیابی و اندازه‌گیری مراتع است. پوشش تاجی عبارت است از مساحتی از زمین که به وسیله تصویر عمودی محیط خارجی گیاه پوشیده می‌شود [۸]. یکی از مواردی که در سلامت و بقای مراتع نقش

تنظیم پس زمینه تاج پوشش (L) است که در مناطق با پوشش متوسط، ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود. (۲) توسعه شاخص‌های گیاهی مقاوم به اثرات جو توسط محققانی همچون [۲۵] که به طور مستقیم اثر هواویز را در باند قرمز با ترکیب کردن باند آبی از بین می‌برد. تفاوت ARVI به اثرات جوی در مقایسه با NDVI توسط یک فرآیند خود تصحیح در باند قرمز است که با استفاده از تفاوت در ارزش باند آبی و قرمز انجام می‌شود و (۳) که در این راستا، شاخص گیاهی SARVI توسط معرفی شد [۲۷]. در این شاخص گیاهی از باند آبی به منظور کاهش اثر جو استفاده شد؛ همچنین برای کاهش اثر بازتاب خاک از ضریب تعدیل کننده اثر خاک (L) استفاده شده است. شاخص گیاهی EVI نیز با حساسیت به مناطق با زیتوده بالا و با کاهش اثر جو و بازتاب خاک، توسعه یافته است [۱۸]. شاخص‌های گیاهی در دو دسته قرار دارند، شاخص‌های شیب‌محور و فاصله‌محور [۲۳]. شاخص‌های شیب‌محور ترکیب ریاضی ساده‌ای هستند که بر تضاد بین الگوی پاسخ طیفی گیاهان در محدوده قرمز و مادون قرمز نزدیک در طیف الکترومغناطیسی تمرکز می‌کنند. در مقابل، شاخص‌های فاصله‌محور، مقدار پوشش گیاهی در هر پیکسل را با استفاده از تفاوت بازتاب هر پیکسل از بازتاب خاک لخت اندازه‌گیری می‌کند. پوشش گیاهی در مراحل مختلف رویشی، خود از نظر ترکیب شیمیایی و مورفولوژی دچار تغییر می‌شوند [۳۴]. به عنوان مثال، در گیاهان بالغ نسبت ساقه به برگ، مقدار لیگنین و سلولز آن‌ها در طول دوره رویشی افزایش می‌یابد و این افزایش به طور همزمان با یک کاهش در مقدار کلروفیل همراه است [۱۳]؛ در نتیجه پاسخ طیفی گیاهان در مراحل مختلف رشد رویشی تغییر می‌یابد [۲۶]. بنابراین، توسعه روش‌هایی با دقت بیشتر و به صورت غیر مخرب به منظور حصول اطمینان از پایداری تولید، حفاظت خاک و تولید انرژی زیستی طی فصل رویش از اهمیت بسزایی برخوردار است [۳۶]. در پژوهش مرتبط با شاخص‌های گیاهی در برآورد پوشش گیاهی که در منطقه شیطان بافق یزد، که نتایج نشان داده شد که، شاخص‌های گیاهی که ضرایب خط خاک در محاسبه آن‌ها در نظر گرفته می‌شود از دقت مناسب‌تری برخوردار بوده و می‌توانند بیانگر درصد پوشش

مطالعات پیرامون این موضوع به تدریج افزایش یافت، به ویژه خواص باند مادون قرمز بر روی پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت [۴۵]. شاخص‌های گیاهی مختلف بر اساس ترکیبی از دو یا چند باند با فرض تولید اطلاعات بیشتر در آنالیز چند بانندی در مقایسه با تک بانندی توسعه یافته‌اند. بسیاری از شاخص‌های گیاهی با استفاده از ارزش‌های رادیانس یا بازتاب بالای جو^۱ در باندهای قرمز^۲ و مادون قرمز نزدیک^۳ که می‌تواند توسط دستگاه‌های طیف سنج هوا برد یا ماهواره‌های فضایی جمع‌آوری شده باشد، محاسبه می‌شوند. ارتباط معنی‌دار شاخص‌های گیاهی با مؤلفه‌های مختلف پوشش گیاهی همچون زیست توده سبز [۴۵]، تاج پوشش سبز گیاهی [۱۱]، شاخص سطح برگ [۴]، فعالیت فتوسنتزی [۴۰] و ... اثبات شده است. شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده^۴ از جمله شاخص‌های گیاهی است که به طور گسترده در علوم جنگل، مرتع و برنامه‌های کاربردی محیط زیست استفاده می‌شود [۲۴]. تمام شاخص‌های گیاهی با توجه به ساختار سلولی برگ، براساس تفاوت بین بیشترین انعکاس رنگدانه‌ها (مثل کلروفیل a و b) در محدوده مادون قرمز نزدیک و بیشترین میزان جذب رنگدانه‌ها در محدوده باند قرمز توسعه یافته‌اند [۲۸]. طیف خاک، به طور معمول فاقد این مکانیسم بوده و در واقع چنین تفاوت طیفی چشمگیری را نشان نمی‌دهد. با وجود استفاده از فراوان شاخص NDVI در برنامه‌های کاربردی، چندین محدودیت برای این شاخص برشمرده شده است، از آن جمله حساسیت به خاک به ویژه، پس زمینه تیره یا مرطوب خاک [۲۰]، و حساسیت به اثر جو [۱۷]، است. هواویز توسط پدیده پراکندگی نور خورشید باعث افزایش بازتاب در باند قرمز و توسط فرآیند جذب باعث کاهش بازتاب در محدوده مادون قرمز نزدیک می‌شوند [۱۶]. شاخص‌هایی که بر پایه باندهای قرمز و مادون قرمز بودند در سه جهت بهبود یافتند: (۱) توسعه شاخص‌های گیاهی که اثر پیش زمینه خاک را به حداقل می‌رساند مانند شاخص پوشش گیاهی تعدیل کننده اثر خاک (SAVI)^۵ [۱۹] که دارای ضریب

1 - TOA

2 - Red

3 - NIR

4 - Normalized Difference Vegetation Index

5 - Soil-Adjusted Vegetation Index

مواد و روش‌ها

مرتع مرجن در دو کیلومتری شهرستان بروجن با مساحتی معادل ۵۶۹۴ هکتار در استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. از نظر جغرافیایی در حدفاصل $32^{\circ} 06' 30''$ تا $32^{\circ} 07' 30''$ عرض شمالی قرار گرفته است. ارتفاع سطح در این رویشگاه ۲۲۰۰ متر از سطح دریای آزاد است. متوسط بارندگی بر اساس آمار ۲۵ ساله برابر ۲۵۵ میلی‌متر بوده ولی در سالهای اخیر و با توجه به بروز خشکسالی‌ها این مقدار به حدود ۲۰۰ میلی‌متر کاهش یافته است. طبق تقسیم‌بندی کوپن، این منطقه دارای اقلیم معتدل و سرد با تابستان‌های گرم و خشک است. در این منطقه پنج واحد مدیریتی مجزا وجود دارد که در فصل بهار و تابستان حدود ۴۵۰۰ رأس واحد دامی کوچک در این منطقه چرا می‌کنند. پوشش غالب مرتع گراس‌های چندساله و گونه‌های بوته‌ای است. از جمله گیاهان موجود در این منطقه عبارتند از:

Bromus tomentellus Boiss, *Festuca ovina* L, *Stipa hohenackeriana* Trin & Rupr, *Poa bulbosa* L., *Taeniatherium crinitum* Schreb, *Heteranthelium piliferum* (Banks & Soland.) Hochst, *Astragalus effusus* Bunge, *Astragalus verus* Olivier, *Astragalus susianus* Boiss, *Astragalus pinetorum* Boiss, *Noaea mucronata* (Forssk.) Asch. & Schweinf, *Scariola orientalis* Boiss, *Phlomis persica* Boiss, *Phlomis olivieri* Benth, *Stachys pilifera* Benth, *Stachys inflata* Benth, *Stachys lavandulifolia* Vahl.

گیاهی در مناطق خشک باشند [۱۰]. در مطالعه‌ای دیگر قابلیت شاخص‌های طیفی ماهواره‌ی IRS را به منظور برآورد تاج پوشش گیاهی در مراتع کرسنک در استان چهارمحال و بختیاری بررسی شد نتایج نشان داد که، شاخص‌های GNDVI و DVI بیشترین همبستگی را با پوشش کل و شاخص‌های PD321 با تاج پوشش علفیان و شاخص‌های GNDVI، GI و MIRV2 با تاج پوشش گندمیان بیشترین همبستگی را دارند [۳۲] هر چند تحقیقات زیادی در خصوص ارتباط بین داده‌های ماهواره‌ای و شاخص‌های گیاهی حاصله در یکی از مراحل رویشی صورت گرفته است اما تا کنون مطالعات دقیقی به ویژه در شرایط مناطق خشک و با در نظر گرفتن دوره‌های رویشی مختلف در رابطه بین پوشش و تولید گیاهی و همچنین شاخص‌های گیاهی کمتر صورت گرفته است. تحقیق حاضر با هدف تعیین مناسب‌ترین شاخص گیاهی به منظور برآورد تاج پوشش سبز و تولید گیاهی با در نظر گرفتن مرحله رویشی گیاهان در طول فصل رویش در مرتع مرجن بروجن انجام شد. بررسی وجود ارتباط معنی‌داری بین داده‌های زمینی تولید و همچنین تاج پوشش گیاهی با در نظر گرفتن مراحل رویشی مختلف با شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای وجود دارد یا نه از هدف‌های اصلی این پژوهش می‌باشد.



شکل ۱- الف) تصویر ماهواره لندست ۸ از منطقه مورد مطالعه و ب) موقعیت آن نسبت به استان چهارمحال و بختیاری و ج) ایران

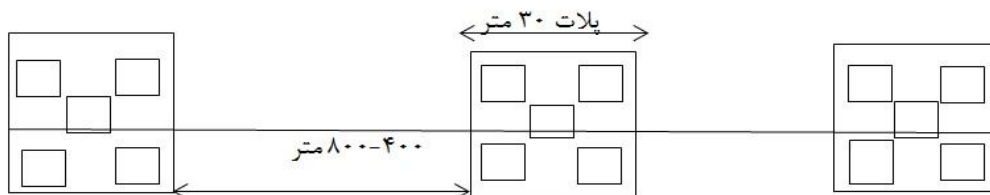
اندازه‌گیری پوشش و تولید در عرصه

انجام شد. به منظور ثبات در اندازه‌گیری‌ها فقط یک نفر اقدام به آمار برداری نمود. برای تاج پوشش سبز گیاهی، از کوادرات مشبک با دقت بالا استفاده شد [۴۱]. در هر دوره نمونه برداری، فقط تاج پوشش سبز گیاهی و بخش فتوسنتز کننده گیاه اندازه‌گیری شد.

برای اندازه‌گیری زیتوده بالای سطح زمین از روش نمونه‌گیری مضاعف [۸] استفاده شد. بدین منظور در ۲۰ درصد از تعداد کل پلات‌ها پوشش سرپا از ارتفاع یک سانتی‌متری بریده و بخش فتوسنتز کننده گیاهان در هر دوره رویشی تفکیک شده و پس از خشک شدن در هوای آزاد توزین شدند. همچنین در تمام کوادرات‌ها وزن زیتوده گیاهی تخمین زده شد. سپس با استفاده از رابطه رگرسیونی بین مقادیر نظری (متغیر مستقل) و وزن شده (متغیر وابسته)، مقادیر زیتوده در مابقی پلات‌ها که زیتوده گیاهی فقط تخمین زده شده بود برآورد شد.

در این پژوهش پس از تعیین محدوده مورد مطالعه، به منظور اندازه‌گیری تاج پوشش سبز و تولید گیاهی به تفکیک ۵ شکل رویشی گندمی بلند، گندمی کوتاه، فورب بلند، فورب کوتاه و بوته‌ای با استقرار ۹۵ کوادرات به صورت تصادفی در امتداد یک ترانسکت [۲] ۱۰ کیلومتری با در نظر گرفتن تیپ‌های گیاهی موجود در منطقه اندازه‌گیری شد.

با توجه به یافته‌های تحقیقی شکل کوادرات مربع و به ابعاد ۲×۲ متر در نظر گرفته شد [۴۴]. اندازه‌گیری‌های فوق در چهار دوره رویشی (اواسط اردیبهشت، اواخر خرداد، اوایل مرداد و اواسط شهریور) در سال ۱۳۹۳ تکرار شد. در ضمن، مختصات کوادرات‌های موجود در عرصه توسط دستگاه GPS با دقت زیاد، ثبت شد با نشان گذاری محل‌ها نمونه برداری، برای نمونه برداری دوره‌های بعد، علامت گذاری شد. نمونه برداری در هر مرحله طی ۳-۴ روز



شکل ۲- طرح شماتیک از سه نقطه نمونه برداری (هر نقطه شامل پنج کوادرات، با چهار متر فاصله از کوادرات مرکزی)

محاسبه شاخص‌های گیاهی مبتنی بر سنجش از دور

پس از انجام پیش پردازش‌های لازم، ۱۲ شاخص گیاهی، به عنوان بهترین شاخص‌های گیاهی برآورد پوشش و تولید گیاهی، انتخاب شد (جدول ۱) و برای تمام تصاویر (۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد و ۱۲ شهریور) محاسبه شد. شاخص‌های NDVI, RVI, ARVI و EVI در دسته شاخص‌های شیب‌محور قرار دارند. شاخص‌هایی که در دسته شاخص‌های فاصله محور قرار دارند، بر اساس فاصله عمودی نمونه مورد نظر، از خط خاک در نمودار طیفی قرمز در برابر مادون قرمز که از تقابل بین بازتاب طیفی نمونه‌هایی از نقاط عاری از پوشش گیاهی حاصل می‌شود، محاسبه گردید.

در این تحقیق از تصاویر ماهواره لندست ۸ مربوط به مسیر ۱۶۴ و ردیف ۰۳۸ در تاریخ‌های ۲۴ اردیبهشت، ۹ خرداد، ۲۵ خرداد ۱۱ مرداد، ۱۲ شهریور سال ۱۳۹۳ استفاده شد. برای به‌علت تطابق هندسی تصاویر و نقاط کنترل و در نتیجه دقت بالای تصاویر لندست ۸، نیازی به انجام تصحیح هندسی تصاویر ماهواره‌ای نبود. سپس، به منظور بررسی تغییرات و کاهش اثر جو و عوامل دیگر در تصاویر چندزمانه، از روش تصحیح اتمسفری FLAASH استفاده شد. برای انجام پیش‌پردازش‌ها و پردازش‌ها بر روی تصاویر ماهواره‌ای از نرم افزارهای ENVI 5.1، IDRISI Selva (ver. 17)، و Arc GIS (ver. 10.2) کمک گرفته شد.

جدول ۱- شاخص‌های گیاهی انتخابی برای یافتن بهترین شاخص گیاهی

شاخص گیاهی	رابطه	خصوصیات	منبع
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	$\frac{NIR - Red}{NIR + Red}$	شیب محور	(۲۸)
Ratio Vegetation Index (Ratio)	NIR/Red	شیب محور	(۷)
Perpendicular Vegetation Index (PVI)	$\sqrt{(R_{gg} - NIR)^2 + (R_{gg} - Red)^2}$	فاصله محور	(۳۸)
Perpendicular Vegetation Index 1 (PVI1)	$\frac{(bNIR - Red) + a}{\sqrt{b^2 + 1}}$	فاصله محور	(۳۵)
Perpendicular Vegetation Index 2 (PVI2)	$\frac{(NIR - a) * (Red + b)}{\sqrt{1 + a^2}}$	فاصله محور	(۵)
Perpendicular Vegetation Index 3 (PVI3)	$aNIR - bRed$	فاصله محور	(۳۷)
Ratio Vegetation Index (RVI)	Red/NIR	شیب محور	(۳۸)
Difference vegetation index (DVI)	$aNIR - Red$	فاصله محور	(۳۸)
Weighted Difference vegetation index (WDVI)	$NIR - aRed$	فاصله محور	(۳۸)
Atmospheric Resistant Vegetation Index (ARVI)	$\frac{NIR - (2 * Red - Blue)}{NIR + (2 * Red - Blue)}$	مقاوم به شرایط جوی	(۲۵)
Enhanced Vegetation Index (EVI)	$G \frac{NIR - Red}{NIR + C_1 Red - C_2 Blue + L}$	مقاوم به شرایط جوی - دارای ضریب تعدیل کننده خاک	(۱۸)
Soil & Atmospheric Resistant Vegetation Index (SARVI)	$\frac{(1 + L) * (NIR - (Red - (Blue - Red)))}{NIR + (Red - (Blue - Red)) +}$	مقاوم به شرایط جوی - دارای ضریب تعدیل کننده خاک	(۲۷)

NIR = باند مادون قرمز، Red = باند قرمز، $Blue$ = باند آبی a = شیب خط خاک، b = عرض از مبدأ خط خاک، $C_1 = 6$ و $C_2 = 7.5$ ، G برابر $2/5$ م همچنین L برابر 0.5 ، R_{gg} = خط خاک

تجزیه و تحلیل اطلاعات

به منظور بررسی رابطه بین تاج پوشش سبز و تولید گیاهی با داده‌های ماهواره‌ای از تحلیل رگرسیون استفاده شد. مقادیر شاخص‌های گیاهی محاسبه شده در هر پیکسل از داده‌های ماهواره‌ای در محل پیکسل‌های نمونه برداری زمینی به عنوان متغیر مستقل و مقادیر محاسبه شده تاج پوشش سبز و تولید زمینی به تفکیک به عنوان متغیر وابسته وارد رابطه رگرسیونی خطی و غیر خطی درجه دوم و درجه سوم شدند. قبل از ایجاد مدل‌های رگرسیونی نرمال بودن توزیع متغیر وابسته بررسی شد و پس از اطمینان از نرمال یا نزدیک به نرمال بودن توزیع این متغیر، تجزیه و تحلیل رگرسیون خطی و غیرخطی انجام شد. از شاخص ضریب همبستگی (R) ضریب تبیین (R^2) و سطح معنی داری و خطای برآورد برای تعیین

مقادیر زمینی تاج پوشش گیاهی و تولید، میانگین ۵ کوادرات در هر پلات محاسبه گردید که به عنوان نماینده ارزش یک پیکسل در تصاویر ماهواره‌ای در نظر گرفته شد. در تحقیقات زیادی [۳۶] و [۲۹] یک کوادرات ۱ متر مربعی نماینده پیکسل ۹۰۰ متر مربعی لندست در نظر گرفته شده است ولی در این تحقیق با توجه به تنوع گونه‌های گیاهی در طول دوره رویش، اختلاف در به اوج رسیدن تولید در شکل‌های رویشی مختلف، الگوی پراکنش گیاهان، ناهمگنی‌های موجود و در نهایت برای اطمینان بیشتر میانگین ۵ کوادرات 2×2 متر مربعی که سطحی معادل ۲۰ متر مربع بود، به عنوان نماینده یک پیکسل در نظر گرفته شد (شکل ۲).

مقادیر تاج پوشش سبز و تولید گیاهی اندازه‌گیری شده در عملیات صحرایی به تفکیک ۴ دوره در جدول ۲ آورده شده است. میانگین تاج پوشش سبز و تولید گیاهی با در نظر گرفتن انحراف معیار مقادیر اندازه‌گیری شده این دو مؤلفه در نقاط نمونه‌برداری مختلف در هر دوره نیز آورده شده است. چنانچه در این جدول مشاهده می‌شود میزان تاج پوشش سبز گیاهی در منطقه مورد مطالعه از $(7/865 \pm) 15/5$ درصد در اولین مرحله آماربرداری (در تاریخ $93/02/24$) به میزان $(1/63 \pm) 2/52$ درصد در آخرین مرحله آماربرداری (در تاریخ $93/06/12$) کاهش یافته است. این روند با شیب نسبتاً یکنواختی از مرحله اول به مرحله آخر نمونه‌برداری کاهش یافته است. در خصوص تولید گیاهی نیز روند مشابهی می‌توان یافت به طوری که در مرحله اول میزان تولید گیاهی $(173/6 \pm)$ $330/17$ کیلوگرم در هکتار و در مرحله آخر میزان آن به $(57/13 \pm) 98/15$ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته است. انحراف معیار تاج پوشش سبز و تولید گیاهی از دوره اول به دوره چهارم کاهش پیدا می‌کند.

مناسب‌ترین شاخص گیاهی به‌منظور برآورد تاج پوشش سبز و تولید گیاهی استفاده شد. پس از یافتن بهترین مدل‌های برازشی بین متغیر مستقل و وابسته (مدل برآورد تاج پوشش سبز و تولید)، آزمون دقت و صحت-مدل‌های رگرسیونی توسعه یافته، انتخاب شد. بدین ترتیب که در ۳۵ درصد از داده‌هایی که در ایجاد مدل رگرسیونی وارد نشده بودند مقادیر تاج پوشش سبز گیاهی اندازه‌گیری شده در عملیات صحرایی در برابر مقادیر برآورد شده از رابطه رگرسیونی توسعه یافته قرار گرفت و با آزمون نمونه برداری تی جفتی^۱ وجود یا عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین مقادیر برآوردی مدل‌ها و مقادیر واقعی اندازه‌گیری شده در عرصه این دو ارزش مورد بررسی قرار گرفت. تحلیل‌های آماری در این تحقیق با نرم‌افزار SPSS و Excel انجام شد.

نتایج

مقادیر اندازه‌گیری تولید و پوشش گیاهی در دوره‌های مختلف

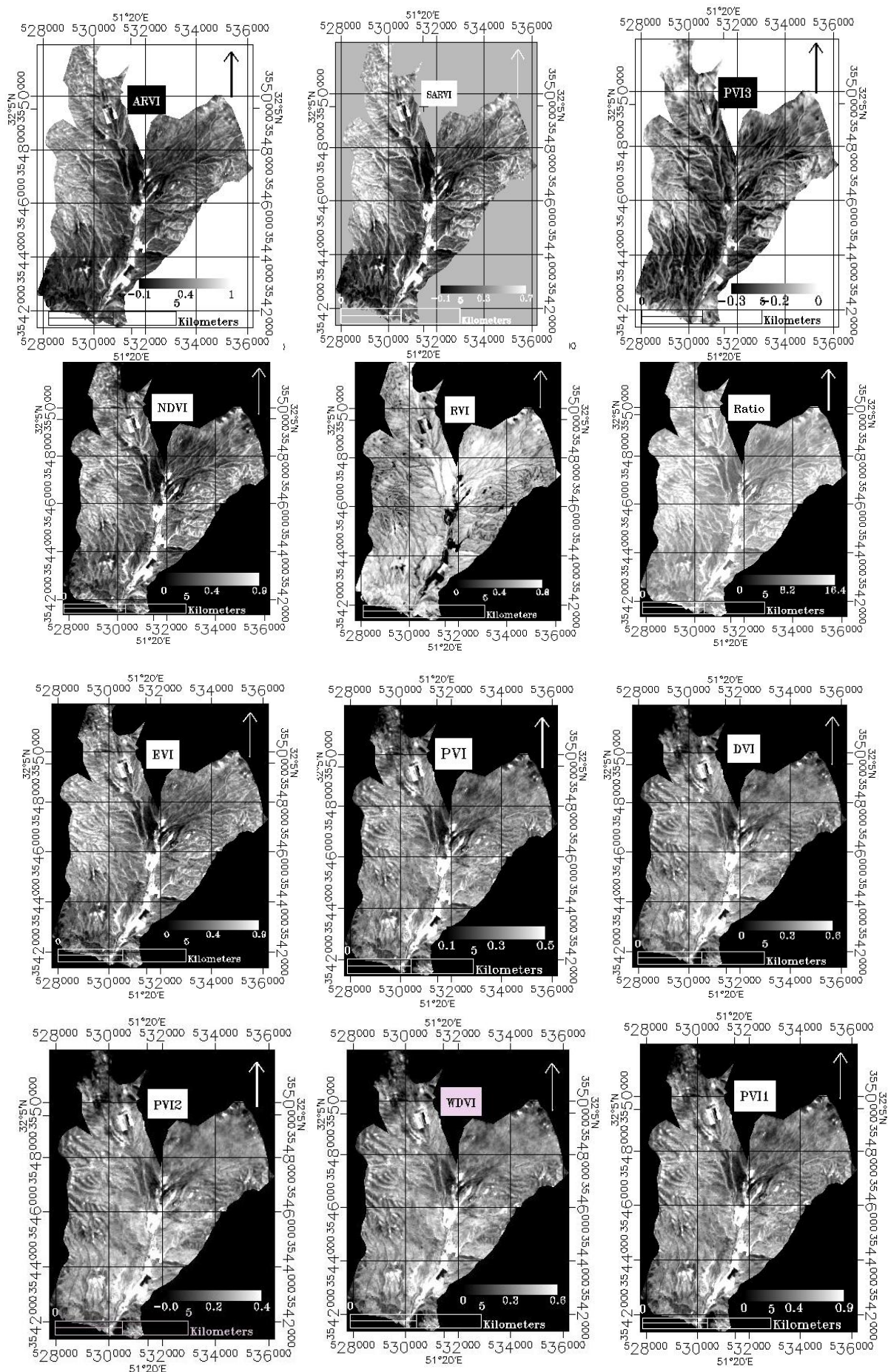
جدول ۲- مقادیر اندازه‌گیری شده درصد تاج پوشش سبز و تولید برحسب پلات‌های نمونه‌برداری صحرایی

مرحله	تاریخ نمونه‌برداری	تولید (Kg/ha)	تولید $\pm SD$ (Kg/ha)	تاج پوشش سبز (%)	درصد تاج پوشش سبز $\pm SD$
مرحله ۱	۹۳/۰۲/۲۴	۳۳۰/۱۷	۵۰۳/۷۷-۱۳۶/۵۷	۱۵/۵	۲۲/۹۸-۷/۲۵
مرحله ۲	۹۳/۰۳/۲۵	۲۵۴/۲۷	۳۹۳/۲-۹۵/۳۴	۸/۵۵	۸/۵۵-۴/۰۴
مرحله ۳	۹۳/۰۵/۱۱	۱۶۲/۰۷	۲۵۰/۱۷-۵۳/۹۷	۳/۷۵	۶/۰۳-۱/۴۷
مرحله ۴	۹۳/۰۶/۱۲	۹۸/۱۵	۱۵۵/۲۸-۳۱/۰۱	۲/۵۲	۴/۱۶-۰/۸۹

نتایج محاسبه شاخص‌های گیاهی

پیکسل‌های با رنگ روشن‌تر ارزش شاخص بیشتری را به خود اختصاص داده‌اند.

با انجام رگرسیون بین باند مادون قرمز نزدیک (به‌عنوان متغیر مستقل یا برعکس بسته به نوع شاخص) و باند قرمز (متغیر وابسته یا عکس بسته به نوع شاخص) در محل نمونه‌های خاک لخت، معادله خط خاک برای محاسبه شاخص‌های فاصله محور $DVI, WDVI, DVI, PVI123$ مربوط به تمام تصاویر به دست آمد. پس از آن ۱۲ شاخص گیاهی ذکر شده برای تصاویر محاسبه شده به عنوان نمونه، نقشه شاخص‌های تاریخ ۲۴ اردیبهشت در شکل ۳ آورده شده است. در راهنمای نقشه شاخص‌ها



شکل ۳- تصاویر حاصل از محاسبه شاخص‌های گیاهی در تاریخ ۲۴ اردیبهشت

نتایج آنالیز رگرسیونی شاخص های گیاهی و تاج پوشش سبز گیاهی

سوم شاخص های مذکور دارای ضریب همبستگی ۰/۹۱، و ضریب تبیین ۰/۸۱ هستند. در این تحقیق شاخص های گیاهی PVI3 و DVI دارای کمترین ارتباط با تاج پوشش سبز می باشند. ضرایب همبستگی این شاخص ها برابر ۰/۵۶ و ۰/۶۲ و همچنین دارای ضریب تبیین ۰/۳۲ و ۰/۳۹ می باشند. دیگر شاخص باقی مانده بینابین دودسته ذکر شده هستند. در روابط خطی و درجه دوم هم روابط معنی دار و مقدار ضریب تبیین کمتری نسبت به رابطه درجه سوم داشتند.

آنالیز رگرسیونی خطی، درجه دوم و سوم بین تاج پوشش سبز (به عنوان متغیر وابسته) و شاخص های طیفی (به عنوان متغیر مستقل) در محل پیکسل های مربوطه در تصاویر ۴ دوره (۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد، ۱۲ شهریور) در منطقه مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (جدول ۳). در این رابطه، تمام شاخص ها دارای ارتباط معنی دار ($p \leq 0.05$) بود. نتایج نشان داد که شاخص های EVI، SARVI، ARVI نسبت به شاخص های دیگر دارای بیشترین ارتباط با تاج پوشش سبز هستند. در رابطه درجه

جدول ۳- نتایج حاصل از رگرسیون درجه سوم بین تاج پوشش سبز و شاخص های طیفی داده های سنجنده لندست ۸ در تاریخ های ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد و ۱۲ شهریور

رابطه	Sig.	Std. Error	R ²	R	شاخص
$Y = -39/85 + 49/95(\text{Ratio}) - 13/42(\text{Ratio}^2)$	۰/۰	۰/۵۹	۰/۷۹	۰/۸۹	Ratio
$Y = -5/03 + 77/43(\text{NDVI}) - 178/68(\text{NDVI}^2) + 177/67(\text{NDVI}^3)$	۰/۰	۰/۵۲	۰/۷۹	۰/۸۹	NDVI
$Y = 9/76 - 4/12(\text{RVI}^2) - 10/76(\text{RVI}^3)$	۰/۰	۰/۵۲	۰/۷۹	۰/۸۹	RVI
$Y = 1/47 + 102/89(\text{PVI}) - 329/51(\text{PVI}^2) - 1417/26(\text{PVI}^3)$	۰/۰	۰/۷۳	۰/۶۰	۰/۷۷	PVI
$Y = 1/62 + 156/62(\text{PVI1}) - 5294/69(\text{PVI1}^2) + 56061/28(\text{PVI1}^3)$	۰/۰	۰/۷۴	۰/۵۹	۰/۷۷	PVI1
$Y = 0/25 + 97/07(\text{PVI2}^2) + 320/42(\text{PVI2}^3)$	۰/۰	۰/۶۰	۰/۷۲	۰/۸۵	PVI2
$Y = 25/31 + 191/15(\text{PVI3}) + 389/57(\text{PVI3}^2)$	۰/۰	۰/۹۴	۰/۳۲	۰/۵۶	PVI3
$Y = -0/84 - 76/19(\text{DVI}) - 1010/6(\text{DVI}^2) + 6327/39(\text{DVI}^3)$	۰/۰	۰/۹۰	۰/۳۹	۰/۶۲	DVI
$Y = -5/03 + 152/54(\text{WDVI}) - 1037/83(\text{WDVI}^2) + 2949/48(\text{WDVI}^3)$	۰/۰	۰/۵۶	۰/۷۶	۰/۸۷	WDVI
$Y = 4/07 + 12/25(\text{ARVI}) + 6/19(\text{ARVI}^2) + 1096/15(\text{ARVI}^3)$	۰/۰	۰/۵۰	۰/۸۱	۰/۹۱	ARVI
$Y = 6/97 + 160/67(\text{EVI}) - 809/38(\text{EVI}^2) + 1582/87(\text{EVI}^3)$	۰/۰	۰/۴۹	۰/۸۱	۰/۹۱	EVI
$Y = 6/97 + 107/11(\text{SARVI}) - 359/72(\text{SARVI}^2) + 468/99(\text{SARVI}^3)$	۰/۰	۰/۵۰	۰/۸۱	۰/۹۱	SARVI

معنی داری در سطح ۰/۰۵، ($p \leq 0.05$).

نتایج تحلیل رگرسیونی شاخص های گیاهی و تولید گیاهی

PVI3 و DVI دارای کمترین ارتباط با تولید گیاهی هستند. ضرایب همبستگی این شاخص ها برابر ۰/۵۶ و ۰/۵۹ و همچنین دارای ضریب تبیین ۰/۳۲ و ۰/۳۵ می باشند. ۷ شاخص باقی مانده بینابین دودسته ذکر شده هستند. در روابط خطی و درجه دوم هم روابط معنی دار و مقدار ضریب تبیین کمتری نسبت به رابطه درجه سوم داشتند.

چنانچه در جدول های ۳ و ۴ مشاهده می گردد، با توجه به سه پارامتر ضریب همبستگی، ضریب تبیین و خطای استاندارد شاخص ARVI (با مقادیر ۰/۹۱، ۰/۸۱، ۰/۵) و EVI (با مقادیر ۰/۹۱، ۰/۸۱، ۰/۴۹) و SARVI (با مقادیر ۰/۹۱، ۰/۸۱، ۰/۵) برای ضریب همبستگی، ضریب تبیین

آنالیز رگرسیونی خطی، درجه دوم و درجه سوم تک متغیره بین تولید گیاهی زمینی (میانگین تولید در پنج کودرات در هر پلات) به عنوان متغیر وابسته و شاخص های طیفی به عنوان متغیر مستقل در محل پیکسل های مربوطه در تصاویر ۴ دوره (۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد، ۱۲ شهریور) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به قوی تر بودن ارتباط در رابطه رگرسیونی درجه سوم تنها نتایج این رابطه آورده شده است. با توجه به جدول ۴ همچون نتایج مربوط به تاج پوشش سبز گیاهی شاخص های EVI، ARVI، SARVI در رگرسیون درجه سوم به ترتیب با ضرایب همبستگی ۰/۷۷، ۰/۷۸، ۰/۷۷ بیشترین ارتباط را با تولید گیاهی دارند. در این تحقیق شاخص های گیاهی

اعتبار سنجی مدل‌های برآورد پوشش و تولید گیاهی

به‌منظور بررسی اعتبار مدل‌های به‌دست‌آمده، مقادیر پوشش و تولید برآورد شده توسط مدلی با شاخص گیاهی ARVI با پوشش و تولید واقعی در ۳۵ درصد از داده‌هایی که از هر دوره وارد مدل نشده بود، با آزمون تی جفتی مورد مقایسه قرار گرفتند. بر اساس جدول‌های ۵ و ۶، تفاوت معنی‌داری بین پوشش و تولید برآورد شده با پوشش و تولید واقعی وجود ندارد و درصد تاج پوشش گیاهی و تولید محاسبه شده و درصد پوشش و تولید واقعی تا حدود زیادی با هم انطباق دارند.

و خطای استاندارد بهترین شاخص‌ها برای ارائه مدل برآورد تاج پوشش سبز گیاهی طی فصل رویش در مرتع می‌باشند.

شاخص ARVI به ترتیب با مقادیر ۰/۷۸، ۰/۶۱، ۰/۳۱/۹، و همچنین شاخص EVI با مقادیر ۰/۷۷، ۰/۶۱، ۰/۳۲/۵ به ترتیب برای ضریب همبستگی، ضریب تبیین و خطای استاندارد بهترین شاخص‌های گیاهی برای ارائه مدل برآورد تولید طی فصل رویش در مرتع هستند. در این پژوهش شاخص PVI3 به ترتیب با مقادیر (۰/۳۲، ۰/۵۶)، (۰/۹۴) برای مدل تاج پوشش سبز و مقادیر (۰/۳۲، ۰/۹۴) برای ضریب همبستگی، ضریب تبیین و خطای استاندارد به عنوان نامناسب‌ترین شاخص گیاهی شناخته می‌شود. سایر شاخص‌های گیاهی حالتی بینابین این شاخص‌ها را دارا هستند.

جدول ۴- نتایج حاصل از رگرسیون درجه سوم بین تولید گیاهی و شاخص‌های طیفی داده‌های سنجنده لندست ۸ در تاریخ‌های ۲۴ اردیبهشت، ۲۵ خرداد، ۱۱ مرداد و ۱۲ شهریور

شاخص	R	R ²	Std. Error	Sig	رابطه
Ratio	۰/۷۷	۰/۵۹	۳۲/۵	۰/۰	$Y = -1173/71 + 120/1/82(\text{Ratio}) - 122/0/9(\text{Ratio}^2)$
NDVI	۰/۷۷	۰/۵۹	۳۲/۸	۰/۰	$Y = -37/32 + 50/7/0(\text{NDVI}) + 111/1/0(\text{NDVI}^2) - 21136/74(\text{NDVI}^3)$
RVI	۰/۷۷	۰/۵۹	۳۲/۵	۰/۰	$Y = 40/1/13 - 146/39(\text{RVI}^2) - 424/28(\text{RVI}^3)$
PVI	۰/۶۴	۰/۴۱	۳۹/۵	۰/۰	$Y = 85/30 + 4314/28(\text{PVI}) - 47390/28(\text{PVI}^2) - 360925/0(\text{PVI}^3)$
PVI1	۰/۶۷	۰/۴۶	۳۷/۹	۰/۰	$Y = 90/65 + 60/14/01(\text{PVI1}) - 204550/62(\text{PVI1}^2) + 2189858/38(\text{PVI1}^3)$
PVI2	۰/۶۹	۰/۴۷	۳۶/۹	۰/۰	$Y = 26/76 + 20747/36(\text{PVI2}^2)$
PVI3	۰/۵۶	۰/۳۲	۴۰/۹۴	۰/۰	$Y = 25/31 + 191/15(\text{PVI3}) + 389/57(\text{PVI3}^2)$
DVI	۰/۵۹	۰/۳۵	۴۱/۳	۰/۰	$Y = 14/21 - 2641/13(\text{DVI}) - 27317/49(\text{DVI}^2) + 177511/07(\text{DVI}^3)$
WDVI	۰/۷	۰/۴۹	۳۶/۵	۰/۰	$Y = -295/07 + 9897/51(\text{WDVI}) - 77987/03(\text{WDVI}^2) + 220986/7(\text{WDVI}^3)$
ARVI	۰/۷۸	۰/۶۱	۳۱/۹	۰/۰	$Y = 191/70 + 583/04(\text{ARVI}) - 633/02(\text{ARVI}^2) + 290765/66(\text{ARVI}^3)$
EVI	۰/۷۷	۰/۶۱	۳۲/۵	۰/۰	$Y = -234/2 + 6041/98(\text{EVI}) - 30061/03(\text{EVI}^2) + 58098/08(\text{EVI}^3)$
SARVI	۰/۷۷	۰/۶۰	۳۲/۵	۰/۰	$Y = -234/2 + 4027/99(\text{SARVI}) - 13360/46(\text{SARVI}^2) + 17214/24(\text{SARVI}^3)$

معنی‌داری در سطح ۰/۰۵، (p ≤ ۰/۰۵).

جدول ۵- درصد تاج پوشش برآورد شده توسط مدل در برابر درصد پوشش اندازه‌گیری شده در فرم‌های رویشی و تاریخ‌های نمونه‌برداری مختلف در داده‌های تست

تاریخ	درصد پوشش تخمین زده شده	درصد پوشش واقعی	تفاوت معنی‌دار
۲۴ اردیبهشت	۱۲/۲۱	۱۵/۱	NS
۲۵ خرداد	۷/۳۹	۹/۶۴	NS
۱۱ مرداد	۶/۳	۳/۸	NS
۱۲ شهریور	۲/۴	۱/۹	NS

جدول ۶- تولید برآورد شده توسط مدل (Kg/ha) در برابر تولید اندازه‌گیری شده در فرم‌های رویشی و تاریخ‌های نمونه‌برداری مختلف در داده‌های تست

تفاوت معنی‌دار	وزن واقعی (Kg/ha)	وزن تخمین زده شده (Kg/ha)	تاریخ
NS	۳۳۴/۴۶	۳۰۰/۱۲	۲۴ اردیبهشت
NS	۲۴۰/۴۳	۱۹۶/۱۱	۲۵ خرداد
NS	۱۳۵/۵۷	۱۷۳/۸۹	۱۱ مرداد
NS	۸۳/۱۷	۸۶/۲۵	۱۲ شهریور

بحث و نتیجه‌گیری

چنانچه در جدول ۲ مشاهده می‌شود، میزان تاج پوشش سبز گیاهی (تاج پوشش زنده) در منطقه مورد مطالعه از $(\pm 7/865)$ ۱۵/۵ درصد در اولین مرحله آماربرداری (اواخر اردیبهشت) به میزان $(\pm 1/63)$ ۲/۵۲ درصد در آخرین مرحله آماربرداری (اواسط شهریور) کاهش یافته است. این روند کاهشی با شیب نسبتاً یکنواختی از مرحله اول به مرحله آخر نمونه‌برداری همراه است. در خصوص تولید گیاهی نیز روند مشابهی می‌توان یافت به طوری که در مرحله اول میزان تولید گیاهی $(\pm 173/6)$ ۳۳۰/۱۷ کیلوگرم در هکتار و در مرحله آخر میزان آن به $(\pm 57/13)$ ۹۸/۱۵ کیلوگرم در هکتار کاهش یافته است، این امر در مناطق نیمه استپی که بارشی را در طول تابستان تجربه نمی‌نمایند، طبیعی است. در این مناطق از اواخر اردیبهشت پوشش گیاهی رو به کاهش گذاشته و پوشش سبز گیاهی دچار تغییر و پیری می‌شود، در چنین منطقه‌ای شدت بهره‌برداری نسبتاً در حد معقول [۱۲] و پوشش گیاهی آن از گندمیان چندساله و بوته‌ای‌ها تشکیل شده است، روند کاهشی پوشش و تولید گیاهی با شیب نسبتاً یکنواخت و ملایم از اواخر اردیبهشت به شهریور دور از انتظار نیست. هر چند این روند در طی مراحل رویشی امری طبیعی می‌نماید با این وجود کاهش قابل توجه پوشش گیاهی گویای آن است که مدیریت مرتع در این ناحیه باید به گونه‌ای باشد که پس از پایان فصل رویش کاه و کلش و بقایای کافی برای حفاظت از خاک در منطقه مورد نظر وجود داشته باشد تا از بروز فرسایش خاک جلوگیری نماید. پژوهشگران زیادی بر اساس این رابطه بین مشخصه‌های گیاهی همچون پوشش و تولید گیاهی و داده‌های ماهواره‌ای

همچون شاخص‌های گیاهی مبتنی بر سنجش از دور اقدام به بررسی پوشش و تغییرات آن نمودند [۴۶، ۲۲ و ۱]. بر اساس نتایج این تحقیق با توجه به بارش کم و در نتیجه پوشش گیاهی اندک در منطقه به‌طور کلی بین شاخص‌های گیاهی حاصل از ماهواره لندست ۸ و تاج پوشش سبز و تولید گیاهی ارتباط معنی‌دار و نسبتاً بالایی وجود دارد (جدول‌های ۲ و ۳) و بین تمام شاخص‌های گیاهی و دو پارامتر تاج پوشش سبز و تولید گیاهی ارتباط معنی‌دار ($P \leq 0.05$) وجود دارد. بر اساس (جدول‌های ۲ و ۳) شاخص‌های گیاهی ARVI، EVI، SARVI دارای ارتباط قوی‌تری در مقایسه با شاخص‌های دیگر با هر دو پارامتر پوشش تاجی و تولید گیاهی با استفاده از باندهای ۲، ۴ و ۵ در ماهواره لندست ۸ می‌باشند. در این تحقیق معرفی بهترین شاخص بر پایه سه پارامتر ضریب همبستگی، ضریب تبیین و خطای استاندارد انجام شد. شاخص ARVI (دارای مقادیر ۰/۹۱، ۰/۸۱، ۰/۵) و EVI (دارای مقادیر ۰/۹۱، ۰/۸۱، ۰/۴۹) و SARVI (دارای مقادیر ۰/۹۱، ۰/۸۱، ۰/۵) برای ضریب همبستگی، ضریب تبیین و خطای استاندارد در برآورد تاج پوشش سبز بودند. شاخص ARVI به ترتیب دارای مقادیر ۰/۷۸، ۰/۶۱، ۳۱/۹ و همچنین شاخص EVI دارای مقادیر ۰/۷۷، ۰/۶۱، ۳۲/۵ برای ضریب همبستگی، ضریب تبیین و خطای استاندارد در مدل برآورد تولید طی فصل رویش در مرتع می‌باشند (جدول‌های ۲ و ۳). شاخص EVI دارای قدرت برآورد بالایی برای تاج پوشش سبز و تولید گیاهی می‌باشد با توجه به این که این شاخص با حساسیت به مناطق با زیتوده بالا توسعه یافته است [۱۸]، پیشنهاد می‌شود شاخص گیاهی ARVI بر این شاخص ارجحیت داده شود.

به منظور برآورد تاج پوشش سبز و تولید گیاهی در منطقه مورد مطالعه و مناطق مشابه توصیه می‌شود.

در تحقیقی مشابه در منطقه صدوق یزد محققان با استفاده از شاخص ARVI با ضریب تبیین ۰/۸۶ به برآورد مناسبی از پوشش گیاهی دست یافتند [۴۷]. این نتیجه با نتایج [۳] در خصوص برآورد پوشش و تولید گیاهی همخوانی دارد. شاخص‌های ساده‌ای از قبیل NDVI یا Ratio کاربرد وسیعی در پایش پوشش گیاهی در تمام مقیاس‌ها دارند در این تحقیق شاخص NDVI دارای ارتباط خوبی با تاج پوشش سبز گیاهی ($R^2=0/79$) و با تولید گیاهی ($R^2=0/59$) در رابطه رگرسیونی است (جدول ۲ و ۳).

نظارت و پایش پوشش و تولید گیاهی بر مبنای داده‌های ماهواره‌ای در مناطق خشک و نیمه‌خشک با محدودیت‌هایی همچون اثر بازتاب حاصل از خاک لخت، تجمع لاشبرگ مواجه است؛ که در نتیجه باعث ارتباط غیرخطی بین سیگنال‌های اندازه‌گیری شده و پارامترهای بیوفیزیکی از پوشش گیاهی می‌شود [۱۸]. در تحقیقی دیگر حساسیت شاخص NDVI را به روشنایی پس‌زمینه خاک و ارتباط خطی این شاخص را با سبزی‌نگی گیاه نشان داده شد [۱۹]. در این راستا شاخص‌هایی همچون SAVI و ARVI یا ترکیبی از هر دو برای به حداقل رساندن این تأثیرات توسط محققان توسعه داده شدند. شاخص‌هایی همچون PVI, 123 یا DVI و WDV که به‌طور خاص برای محاسبه اثر پس‌زمینه خاک توسعه یافته‌اند، برای استفاده در مناطق خشک و نیمه‌خشک باید مناسب باشند. به همین دلیل نتایج تحقیق حاضر نیز گویای آن است که شاخصی همچون SARVI نیز که با ضریب تعدیل کننده اثر پس‌زمینه بازتابی خاک را به حداقل می‌رساند نیز می‌تواند گزینه مناسبی باشد. شفیعی و حسینی [۳۹] از شاخص WDV که دارای ضریب همبستگی بالایی (۰/۸۹) $R^2=$ بود برای تهیه نقشه پوشش گیاهی و بررسی تغییرات پوشش در منطقه‌ی بیابانی استفاده کردند. با این حال، عملکرد پیش‌بینی‌های حاصل از شاخص‌هایی همچون PVI, 1,2,3 یا DVI و WDV در برابر اندازه‌گیری‌های میدانی این تحقیق از تاج پوشش سبز و تولید گیاهی نشان داد که این شاخص‌ها ضریب همبستگی

شاخص گیاهی SARVI هم دارای ارتباط بالایی با تاج پوشش سبز و تولید گیاهی در رابطه رگرسیونی درجه سوم است (جدول‌های ۲ و ۳). که با توجه به این‌که در دسته شاخص‌های مقاوم به شرایط جوی و دارای ضریب تعدیل کننده خاک قرار می‌گیرد، در چنین مطالعاتی می‌تواند کارآمد باشد. از آنجا که شاخص‌های مبتنی بر خط خاک از جمله SARVI نقش مهمی در تعدیل اثر بازتابی پس‌زمینه خاک دارد از این‌رو توصیه می‌شود این شاخص نیز با توجه به نتایج این تحقیق در چنین مناطق خشکی مورد استفاده قرار گیرد.

با توجه به نتایج این تحقیق سه شاخص ARVI, EVI و SARVI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص‌ها در دسته شاخص‌های مقاوم به شرایط جوی نیز قرار می‌گیرند. همان‌طور که ذکر شد تصاویر مورد استفاده در این تحقیق از نظر زمانی در فصل و ماه‌های مختلف بوده و از این‌رو انتظار می‌رود تاثیر عوامل جوی بر محاسبه شاخص‌های گیاهی نیز موثر باشد. با داشتن نمونه زمینی تاج پوشش و تولید گیاهی از هر زمان، به نظر می‌رسد، اثر تفاوت شرایط جوی در هنگام تصویر برداری بر بازتاب واقعی پوشش، در برآورد پوشش و تولید گیاهی تاثیر گذار باشد. در نتیجه، از آنجا که این شاخص‌ها این امر را تا حدود زیادی کنترل می‌کنند، وضعیت مناسب این شاخص‌ها در تعیین پوشش و تولید گیاهی می‌تواند دلیلی بر ارتباط قوی‌تر شاخص‌های مقاوم به شرایط جوی (ARVI, EVI و SARVI) نسبت به شاخص‌های دیگر در مدل برآورد پارامترهای تاج پوشش سبز و تولید گیاهی طی فصل رویش باشد، هر چند انجام تصحیحات اتمسفری قبل از انجام محاسبات بر روی تصاویر مورد استفاده صورت گرفته است ولی در ماهواره لندست ۸ به دلیل ۱۶ بیتی بودن قدرت تفکیک رادیومتری تصاویر و همچنین کیفیت مناسب تصاویر و استفاده از باند آبی در محاسبه این شاخص‌ها تا حدود زیادی می‌تواند اثرات جوی را به حداقل ممکن برساند که شاخص‌های مذکور با نقش تکمیلی خود در کاهش این عامل برآورد خوبی از پوشش و تولید گیاهی داشته‌اند (جدول ۳). در نهایت با توجه به مطالعاتی که در مناطق خشک در این زمینه انجام شده نتایج این تحقیق از بین این سه شاخص، شاخص ARVI

تحقیق [۲۱] به حساسیت بیشتر شاخص NDVI نسبت به SARVI در مناطق خشک و نیمه خشک پی برده شد. در نتیجه، پیشنهاد می‌شود در مطالعات بعدی با شاخص ARVI مورد مقایسه قرار گیرد؛ در این تحقیق علاوه بر نتایج مطلوب در ضریب همبستگی، ضریب تبیین و خطای استاندارد برای سه شاخص ذکر شده (جداول ۳ و ۴)، با توجه به جداول ۵ و ۶ تاج پوشش سبز و تولید برآورد شده توسط شاخص ARVI با استفاده از مدل رگرسیونی در برابر مقادیر واقعی در سطح احتمال ۹۵ درصد در هیچ‌کدام از دوره‌های رویشی در آزمون تی جفتی تفاوت معنی‌داری نداشته است ($P>0.05$). این عدم تفاوت معنی‌دار نشانگر برآورد خوب تاج پوشش سبز و تولید گیاهی توسط مدل ارائه شده می‌باشد. بر اساس نتایج این تحقیق که در منطقه خشک مرجن انجام شد و نمونه‌های زمینی و تصاویر در ۴ مرحله از فصل رویش مورد استفاده قرار گرفت، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دستیابی به مدل برآورد تاج پوشش سبز و تولید گیاهی که در تمام فصول رویش مورد استفاده قرار بگیرد با استفاده از داده‌های لندست ۸ در این مناطق امکان‌پذیر می‌باشد. تلفیق داده‌های دوره‌های مختلف رویشی و ساختن مدلی که بتواند پوشش و تولید گیاهی را در فصول مختلف نشان دهد حائز اهمیت فراوانی است و از ایجاد مدل‌های متعددی که می‌تواند خود منشاء ایجاد برآوردی اشتباه از تولید و پوشش گیاهی باشد جلوگیری به عمل می‌آورد، که نتایج این تحقیق نشان داد نه تنها رابطه معنی‌داری بین شاخص‌های گیاهی و پوشش گیاهی در مناطق خشک وجود دارد، همچنین این امکان وجود دارد که تنها یک مدل را برای داده‌های دوره‌های مختلف ایجاد کرد.

بالتری نسبت به شاخص‌های معمولی همچون NDVI و Ratio یا ARVI ندارند (جداول ۲ و ۳). پیداست که در مناطق خشک و نیمه خشک شاخص‌های اخیرالذکر به دلیل کمی پوشش گیاهی به دلیل طبیعت خشک این مناطق و بازتابش طیفی خاک پس‌زمینه شاخص‌های مناسبی نیستند، اما انتظار می‌رفت شاخص‌های $PVI_{1,2,3}$ یا DVI و $WDVI$ نتایج بهتری را از خود نشان دهند، این مسئله ممکن است به دلایلی از جمله تخمین غیردقیق پارامترهای محاسبه‌شده خط خاک برای این شاخص‌ها می‌باشد [۹] که در منطقه مورد مطالعه باعث ایجاد تفاوت قابل ملاحظه‌ای با شاخص‌های ساده نشده است و شاید نبود پیکسل‌های کاملاً عاری از پوشش گیاهی و خالص خاک در منطقه مورد مطالعه یا تغییرات فصلی پوشش گیاهی که در این شاخص‌ها نمود بیشتری پیدا می‌کنند و تاثیر تغییرات فصلی به دلیل عدم استفاده از باند آبی باشد. نتایج این پژوهش حاکی از ارتباط قوی‌تر پوشش تاجی نسبت به تولید گیاهی با شاخص‌های گیاهی است (جدول‌های ۲ و ۳). در تحقیق [۱۴] و نیز به نتایج مشابهی دست یافتند و بیان کردند پوشش در واقع نماینده سطح بازتاب است درحالی‌که تولید این‌چنین نیست و به همین علت ضریب همبستگی بین پوشش و شاخص‌های گیاهی نسبت به تولید بالاتر است. از دلایل دیگر این امر این است که علی‌رغم اینکه پوشش تنها در سطح است تولید علاوه بر سطح در ارتفاع نیز گسترش می‌یابد. در مطالعات مشابه نیز از یک شاخص گیاهی به‌عنوان متغیر مستقل در برآورد پوشش تاجی و تولید گیاهی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای استفاده شده است؛ بنابراین، در مناطق خشک و نیمه‌خشک یک شاخص مناسب به خودی خود می‌تواند تاج پوشش و تولید گیاهی را برآورد کند.

References

- [1]. Agon, V., & Bhamare, S.M. (2012). Change detection of vegetation cover Using Remote Sensing and GIS. *Journal of research and development*, 2: 1-12
- [2]. Anderson, G.L., Hanson, J.D., & Hanson, R.H. (1993). Evaluating Landsat Thematic Mapper Derived Vegetation Indices for Estimating Above-Ground Biomass on

- Semiarid Rangelands. *Remote sensing of environment*, 45: 165-175
- [3]. Arzani, H. (1998). Using digital Landsat TM image data for estimate production and vegetation cover., *Iranian Jour. Natural Resources*, 50: 11-21, (in Farsi).
- [4]. Asrar, G., Fuchs, M., Kanemasu, E.T., & Hatfield, J.L. (1984). Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index

- from spectral reflectance of wheat. *Agronomy Journal*, 76: 300–306, (in Farsi).
- [5]. Bannari, A., Huete, A.R., Morin, D., & Zagolski, F. (1996). Effets de la Couleur et de la Brilliance du Sol Sur les Indices de Végétation. *International Journal of Remote Sensing*, 17: 1885-1906.
- [6]. Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A.R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote Sensing Review*, 13: 95–120
- [7]. Birth, G.S., & Mc Vey, G. (1968). Measuring the color of growing turf with a reflectance spectroradiometer. *Agronomy Journal*, 60: 640-643
- [8]. Bonham, C.D. (2013). Measurements for Terrestrial Vegetation. A John Wiley & Sons, Ltd., Publication
- [9]. Brinkmann, K., Dickhoefer, U., Schlecht, E., & Buerkert, A. (2011). Quantification of aboveground rangeland productivity and anthropogenic degradation on the Arabian Peninsula using Landsat imagery and field inventory data. *Remote sensing of environment*, 115: 465–474
- [10]. Darvishzadeh, R., Matkan, A.A., HosseiniaslA, & Ebrahimi Khusefi, M. (2012). Estimation of vegetation fraction in the Central arid region of Iran using satellite images (Case study: Sheitoor basin, Bafgh). *Arid Biome Scientific and Research Journal*, 2: 25-37, (in Farsi).
- [11]. Elvidge, C.D., & Chen, Z.K. (1995). Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indexes. *Remote Sensing of the Environment*, 54: 38–48.
- [12]. Esmaili, N., & A. Ebrahimi. 2003. Necessity of Determining Animal Unit Requirement Based on the Quality of Forage. *Iranian J. Natural Res*, 55:569-57 (in Farsi).
- [13]. Fahey, G.C., Collins, M., Mertens, D.R., & Moser, L.E. (1994). Forage quality, evaluation, and utilization. American Society of Agronomy, Inc.
- [14]. Farzadmehr, H., Arzani, H., Darvish Sefat, A., & Jafari, M. (2004). Study of Landsat TM image data for estimate production and vegetation cover in Hanna-Semirom. *Iranian Journal Natural Resources*, 57:350-339, (in Farsi).
- [15]. Flombaum, P., & Sala, O.E. (2007). A non-destructive and rapid method to estimate biomass and aboveground net primary production in arid environments. *Journal of Arid Environments*, 69: 352–358
- [16]. Fraser, R.S., & Kaufman, Y.J. (1985). The Relative Importance of Aerosol Scattering and Absorption in Remote Sensing. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, GE-23,
- [17]. Holben, B.V., E., Kaufman, Y., Tanre ' , D., & Kalb, V. (1992). Aerosol retrieval over land from AVHRR data — application for atmospheric correction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30: 212–232
- [18]. Huete, A., R., Justice, C., & van Leeuwen, W. (1999). MODIS Vegetation Index (MOD13) Algorithm Theoretical Basis Document, NASA Goddard Space Flight Center .
- [19]. Huete, A.R. (1988). A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25: 295-309
- [20]. Huete, A.R., & Jackson, R.D. (1987). Suitability of Spectral Indices for Evaluating Vegetation Characteristics on Arid Rangelands. *Remote Sensing of Environment*, 23: 232-213
- [21]. Huete, A.R., Liu, H.Q., Batchily, K., & van Leeuwen, W. (1997). A comparison of vegetation indices global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote sensing of environment*, 59: 440-451.
- [22]. Hyung Kim, D., Sexton, J.O., Noojipady, P., Huang, C., Anand, A & ,Channan, S. (2014). Global, Landsat-based forest-cover change from 1990 to 2000. *Remote sensing of environment*, 155: 178–193.
- [23]. Jackson, R.D., & Huete, A., R. (1991). Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 11: 185-200.
- [24]. Karnieli ,A., Kaufman, Y.J., Remer, L., & Wald, A. (2001). AFRI — aerosol free vegetation index. *Remote Sensing of the Environment*, 77: 10–21.
- [25]. Kaufman, Y.J., & Tanre, D. (1996). Strategy for Direct and Inderect Methods for Correcting the aerosol effect on remote sensing: *From AVHRR Remote sensing of environment*, 55: 65-79.
- [26]. Knipling, E.B. (1970). Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from

- vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1: 155-159.
- [27]. Liu, H., Q., & Huete, A. (1995). A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise. *IEEE Transactions On Geoscience And Remote Sensing*, 33: 457-465.
- [28]. Lyon, J.G., Yuan, D., Lunetta, R.S., & Elvidge, C.D. (1998). A Change Detection Experiment Using Vegetation Indices. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 64: 143-150.
- [29]. Maynard, C.L., Lawrence, R.L., Nielsen, G.A., & Decker, G. (2006). Modeling vegetation amount using bandwise regression and ecological site descriptions as an alternative to vegetation indices. *GIsci Remote Sensings*, 43.
- [30]. Moghadam, M.R. (2009). Range and range management. Tehran University Press.
- [31]. Mohammadi golrang, M., Gazanchian, G.A., Ramzani Moghadam, R., Falahati, F., Rouhani, H., & Mashayekhi, M. (2008). Estimation of forage yields of some range plant species by plant height and diameter measurements. *Iranian journal of Range and Desert Reseach*, 15; 158_178, (in Farsi).
- [32]. Mohammadi, M., Ebrahimi, A., & Haqzade, H. (2012). Capability of IRS satellite on vegetation cover estimation (Case Study: Chaharmah-va-Bakhtiari). *Renewable Natural Resources Research*, (in Farsi).
- [33]. Moleele, N., Ringose, S., & Arnberg, W. (2001). Assessment of Vegetation Indices Useful for Browse forage prediction In Semi-arid rangelands. *INT. Journal Remote Sensing*, 22: 741-756.
- [34]. Morrison, I.M. (1980). Changes in the lignin and hemicellulose concentrations of ten varieties of temperate grasses with increasing maturity. *Grass Forage Science*, 35: 93-287.
- [35]. Perry, C.R., & Lautenschlager, L.F. (1984). Functional Equivalence of Spectral Vegetation Indices. *Remote Sensing of Environment*, 14: 169-182.
- [36]. Porter, T.F., Chen, C., Long, J.H., & Lawrence, R.L. (2014). Estimating biomass on CRP pastureland: A comparison of remote sensing techniques. *Biomass and Bioenergy*, 66: 268-274.
- [37]. Qi, J.A., Chehbouni, A., Huete, A.R., & Sorooshian, A. (1994). (A Modified Soil Adjusted Vegetation Index. *Remote sensing of environment*, 43: 1541-1552.
- [38]. Richardson, A.J., & Wiegand, C.L. (1997). Distinguishing Vegetation From Soil Background Information. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 43: 1541-1552.
- [39]. Shafei, H., Hosseini, S. M., Ekhtesassi, M. R., and Mohtasham, Nia S. (2013). "Drought effects on vegetation degradation of Sistan". *Iranian Journal of Range and Desert Reseach*, 20: 227-239.
- [41]. Sellers, P.J. (1985). Canopy reflectance, photosynthesis and transpiration. *International Journal of Remote Sensing*, 6: 1335-1372.
- [42]. Shiyomi, M., & Yoshimura, J. (2000). Measures of spatial heterogeneity for species occurrence or disease incidence with finite-counts. *Ecological Research*, 15: 13-20.
- [43]. Silleos, N.G., Alexandridis, T.K., Gitas, T.Z., & Perakis, K. (2006). Vegetation Indices: Advances Made in Biomass Estimation and Vegetation Monitoring in the Last 30 Years. *Geocarto International*, 21: 21-28.
- [44]. Tahmasebi, P. (2009). Rangeland ecosystem. Pelk press, 276 p. (in Farsi).
- [45]. Tahmasebi, P., Ebrahimi, A., & Yarali, N.A. (2012). The Most Appropriate Quadrature Size and Shape for Determining Some Characteristics of a Semi-steppic Rangeland. *Journal of Range and Watershed Management. Iranian Journal of Natural Resources*, 65: 203_216, (in Farsi).
- [45]. Tucker, C.J. (1979a). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote sensing of environment*, 8: 127-150.
- [46]. Yang, J., Weisberg, P.J., & Bristow, N.A. (2012). Landsat remote sensing approaches for monitoring long-term tree cover dynamics in semi-arid woodlands: Comparison of vegetation indices and spectral mixture analysis. *Remote sensing of environment*, 119: 62-71.
- [47]. Zehtabian, G., H. Azarnivand, H. Ahmadi, & S. Kalantari. 2013. Presentation of Suitable Model to Estimate Vegetation Fraction Using Satellite Images in Arid Region (Case Study: Sadough-Yazd, Iran). *Journal of Rangeland Science*, (3):108-117.

Evaluating of the most suitable vegetation indices of estimating of canopy cover and above-ground phytomass in arid rangelands during different growth periods

1- F. Pordel, MSc in Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran

F.pordel@stu.sku.ac.ir

2- A. Ebrahimi, Associate Professor Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Earth Sciences, Shahrekord University, Iran

3- Z. Azizi, Assistant Professor, Department of Remote sensing and GIS, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 09 Jan 2017

Accepted: 02 Dec 2017

Abstract

One of the major applications of remote sensing in environmental resources management is change detection and quantitative assessment of green vegetation. This research assesses the vegetation indices (VIs) derived from Landsat 8 images for modeling canopy cover (CC) and above-ground phytomass (AGP) in Marjan rangelands, Boroujen. CC was measured (using double sampling method) and AGP was also estimated (using grid quadrat method) in 4 sampling periods during growing season in spring till summer using 95 quadrats that were laid out along a 10-km transect in line with 19 sampling points, 3 each contains 5 centroid quadrats with 4-m distance from central quadrat (Total 380 quadrats between May to September 2014). Vegetation indices VIs calculated with outcomes of FLAASH atmospheric correction method for four Landsat-8 image sets obtained between May to September. Ground measurement of plant GCC and AGP between May to September 2014 was regressed against vegetation indices VIs.

Results of statistical analysis showed that ARVI, SARVI and EVI showed the highest correlation with CC ($R^2= 0.81$) and with AGP ($R^2= 0.60, 0.61, 0.61$ respectively). Even though, the correlation between CC and AGP with vegetation indicates was high, but CC shows the highest relationship with VIs in comparison to AGP. It can be conclude that arid rangelands vegetation can be accurately estimated with derived vegetation indices from Landsat-8 images, especially those concerned with atmospheric corrections, i.e., ARVI, SARVI and EVI.

Keywords: canopy cover; Above-ground phytomass; vegetative stages; ARVI; SARVI; EVI.