



مدل سازی تولید اولیه سطح زمین با استفاده از شاخص های ماهواره لندست-۸ در مراتع سیاه پوش و گنج گاه استان اردبیل، ایران

مقاله پژوهشی

پشمینه محمدنژاد^۱، مهدی معمری^{۲*}، اردوان قربانی^۳، فرید دادجو^۴، ودود محمدی^۵

دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۸ / پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۰۹ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۲/۰۳/۰۱

چکیده

هدف از این مطالعه برآورد تولید (تولید اولیه سطح زمین) فرم های رویشی و کل با استفاده از تصاویر لندست ۸ در مراتع سیاه پوش و گنج گاه استان اردبیل بود. نمونه برداری میدانی در خرداد ماه ۱۳۹۸ انجام شد و تصویر ماهواره ای هم زمان با آن دریافت شد. تعداد هفت مکان نمونه برداری انتخاب شد و در هر مکان سه ترانسکت ۱۰۰ متری موازی و عمود بر جهت شیب مستقر شد و در امتداد هر

پشمینه محمدنژاد^۱، مهدی معمری^۲ (✉)، اردوان قربانی^۳، فرید دادجو^۴،

ودود محمدی^۵

۱. دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 ۲. دانشیار گروه علوم گیاهی و گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی مشکین شهر، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 ۳. استاد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 ۴. دانش آموزخته کارشناسی ارشد مرتع داری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
- DOI: 10.30495/girs.2023.690221

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: moameri@uma.ac.ir

ترانسکت از ۱۰ پلات (یک متر مربعی)، تولید فرم های رویشی به روش تصادفی-سیستماتیک برداشت شد (در مجموع ۲۱۰ پلات). تعداد ۲۲ شاخص گیاهی با توجه به مرور منابع انتخاب و برای منطقه محاسبه شد. سپس، هم بستگی بین تولید فرم های رویشی و کل با شاخص های گیاهی محاسبه و شاخص گیاهی دارای بالاترین هم بستگی برای مدل سازی انتخاب شد. برای مدل سازی از معادله خطی درجه یک استفاده شد و معادلات به دست آمده در نرم افزار ArcGIS به صورت نقشه برآورد شد. نتایج نشان داد از بین شاخص های مورد بررسی، شاخص NDVI مناسب ترین شاخص برای مدل سازی بود؛ با این حال بیشترین هم بستگی این شاخص با تولید کل (۰/۸۸) و تولید گندمیان (۰/۷۸) بود؛ در حالی که هم بستگی کمتری با تولید پهن برگان علفی (۰/۴۱) و بوته ای ها (۰/۳۱) داشت. محدوده تغییرات تولید مدل سازی شده برای گندمیان ۰ تا ۱۸۵۷ کیلوگرم در هکتار، پهن برگان علفی ۹ تا ۷۶۶ کیلوگرم در هکتار، بوته ای ها ۰ تا ۴۵۸ کیلوگرم در هکتار و برای تولید کل ۹ تا ۳۰۸۱ کیلوگرم در هکتار بود. ارزیابی صحت مدل ها با معیارهای RMSE، MDE و MAE انجام شد و صحت در حد قابل قبول بود. هم چنین مقدار اختلاف میانگین داده های واقعی با مدل سازی شده تقریباً برابر

واژگان کلیدی: شاخص گیاهی، لندست ۸، فرم رویشی، مراتع اردبیل.

صفر بود. از نتایج این مطالعه می‌توان برای ایجاد تعادل بین عرضه و تقاضای تولید مرتع در راستای توسعه پایدار اکوسیستم‌های مرتعی منطقه استفاده کرد.

لطفاً به این مقاله استناد کنید: محمدنژاد، پ.، معمری، م.، قربانی، ا.، دادجو، ف.، محمدی، و. مدل‌سازی تولید اولیه سطح زمین با استفاده از شاخص‌های ماهواره لندست-۸ در مراتع سیاه‌پوش و گنج‌گاه استان اردبیل، ایران. نشریه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۴(۳): ۹۹-۱۱۴.

هستند (۱۹)، و در مطالعات با مقیاس کوچک، تخمین تولید از طریق امور میدانی بسیار دقیق است، اما فرآیندها وقت‌گیر و گران هستند (۲۶). از این‌رو روش‌های میدانی با ارزیابی تغییر تولید و بهره‌وری گیاه در مراتع ناسازگار هستند، زیرا اغلب زمان‌بر هستند و از نظر دسترسی و پراکنش پیچیده و مشکل هستند و به‌روزرسانی آن‌ها همیشه یک عملیات دشوار و پرهزینه است (۲۳). در حالی که استفاده از اطلاعات ماهواره‌ای به‌ویژه هنگامی که مناطق بزرگ و یا دور از دسترس مطالعه می‌شوند، از ارزش بالایی برخوردار است (۱۳، ۳۱). بنابراین، هزینه‌های عملیات‌های میدانی گسترده را می‌توان کاهش داد، مجموعه‌ای از داده‌های هدف را می‌توان به‌دست آورد و طرح‌های مطالعاتی قابل تکرار را انجام داد. هم‌چنین از حسگرهای نوری می‌توان برای به‌دست آوردن اطلاعات در مورد سبزی، سرزندگی و تراکم پوشش گیاهی استفاده کرد (۲۹). با توجه به ارزیابی تولید و بهره‌وری مرتع، داده‌های سنسجش از دور پوشش منطقه‌ای وسیع، فرکانس بازگشت زمانی بالاتر و تفکیک طیفی بیش‌تری را در مقایسه با نمونه‌برداری زمینی و دستی در مراتع فراهم می‌کنند، هم‌چنین پوشش وسیعی با کم‌ترین هزینه و دقت قابل قبول در تعیین مقدار تولید مرتع از مقیاس محلی تا جهانی را ارائه می‌کنند (۳).

برآورد تولید یکی از رایج‌ترین کاربردهای سنسجش از دور در مقیاس جهانی تا منطقه‌ای در مطالعات مرتع است. استفاده از سنسجش از دور در مقیاس جهانی می‌تواند بینش‌هایی را در مورد مسیرهای بالقوه تغییر در آینده ارائه دهد (۲۸). توانایی پایش پوشش گیاهی مرتع و تعیین کمیت تغییرات پوشش با سنسجش از دور ماهواره‌ای، انقلابی در علم مدیریت مرتع است. در حالی که جمع‌آوری و نظارت بر روی زمین از نظر لجستیکی محدود است، سنسجش از دور به‌راحتی انجام می‌گیرد و ۱۰۰ درصد چشم‌انداز را در مکان و زمان اندازه‌گیری می‌کند. اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای برای پیش‌بینی شاخص‌های مرتع مدل‌سازی می‌شوند و اطلاعات کلیدی را برای مدیران زمین و متخصصان فراهم می‌کنند (۱۵). شاخص‌های پوشش گیاهی فعالیت فتوسنتزی پوشش گیاهی را منعکس می‌کنند و بنابراین

تولید (تولید اولیه سطح زمین) مراتع یکی از خدمات اساسی اکوسیستم است که دام، حیات‌وحش و مردم به آن وابسته هستند (۱۸). تولید، مقدار زیست‌توده یا کربن گیاهان بالای زمین است که در یک دوره زمانی خاص انباشته شده است (۵). تولید به‌عنوان مقدار انرژی به‌وجود آمده توسط گیاهان، منهای انرژی مصرف شده از طریق تنفس تعریف می‌شود (۲۱). تولید یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های کمی یک اکوسیستم است، زیرا نتیجه تبادل کربن بین جو و بیوسفیر، و هم‌چنین نشانه سلامت و تعادل اکولوژیکی است (۸، ۳۷). پوشش گونه‌های عملکردی گیاهی و انواع پوشش دیگر نیز در مراتع منعکس‌کننده فرآیندهای اکوسیستمی متعدد و خدمات اکوسیستمی از جمله تولید علوفه، کنترل فرسایش و زیستگاه حیات وحش است، در نتیجه تغییرات در یک گروه عملکردی گیاهی اثرات زیست محیطی قابل پیش‌بینی بر سایر گروه‌ها و خدماتی که ارائه می‌دهند، دارد (۳۵). با افزایش تقاضای غذا، نظارت دقیق بر تنوع مکانی و زمانی وضعیت تولید محصول، زیست‌توده و عملکرد گیاه برای حمایت از مدیریت کارآمد تولید مراتع حیاتی شده است (۱۰). پایش پوشش گیاهی فرآیندی ضروری در مدیریت مرتع است، زیرا پوشش گیاهی مؤثرترین شاخص برای شناسایی تخریب اراضی است و اطلاعاتی را ارائه می‌دهد که به درک اقلیم و اثرات انسانی بر وضعیت مرتع کمک می‌کند (۳۲). کمی‌سازی پوشش زمین به‌عنوان تولید از جمله معیارهای پرکاربرد مدیران مرتع در مدیریت مرتع و اکوسیستم است (۳۴).

استراتژی‌های موجود برای پایش و ارزیابی مراتع را می‌توان به دو گروه اصلی تقسیم کرد: تکنیک‌های سنتی در عرصه مبتنی بر کار میدانی واقعی و اندازه‌گیری مستقیم پوشش سطح زمین و روش‌های سنسجش از دور مبتنی بر اندازه‌گیری‌های بدون دستکاری مراتع و یا با کار میدانی محدود (۳۴). روش‌های سنتی برای اندازه‌گیری تولید به بریدن و قطع کردن گیاه با دست و خشک کردن از سطح پلات‌هایی که به‌طور تصادفی در سراسر عرصه انتخاب شده‌اند، متکی

تولید برآورد شده و متغیرهای پیش‌بینی مانند NDVI, LAI و fPAR را نشان داد، که در میان متغیرهای پیش‌بینی‌کننده، LAI قوی‌ترین رابطه را با تولید برآورد شده، نشان داد. در ایران نیز مطالعاتی انجام شده است؛ مانند قربانی و همکاران (۱۲) که به برآورد تولید گروه‌های گیاهی و کل با استفاده از داده‌های ماهواره لندست ۸ در مراتع کوهستانی سبلان پرداختند و بیان کردند که می‌توان از داده‌های لندست ۸ برای تخمین و پهنه‌بندی تولید گروه‌های گیاهی و کل مراتع سبلان برای تعیین ظرفیت مرتع که در مقایسه با روش‌های زمینی بهینه‌تر است، استفاده کرد. دادجو و همکاران (۹) به مدل‌سازی تولید و پوشش تاجی مراتع نیمه‌استپی باغرو استان اردبیل توسط مؤثرترین عوامل محیطی پرداخته و صحت بالای مدل‌های رگرسیونی را گزارش دادند. ایمانی و همکاران (۱۶) در بررسی تفاوت چند شاخص سنجش از دوری و چهار اندازه مختلف پلات برای برآورد تولید گیاهان در استان چهارمحال و بختیاری، گزارش دادند با افزایش سطح پلات، میزان هم‌بستگی شاخص‌های گیاهی تصویر لندست و معنی‌داری آن‌ها در رابطه با تولید و درصد پوشش گیاهان افزایش می‌یابد و شاخص NDVI را دارای صحت بالا عنوان کردند. با توجه به اینکه اندازه‌گیری تولید با روش‌های زمینی در یک منطقه وسیع هزینه‌بر و زمان‌بر است، در نتیجه استفاده از سنجش از دور امکان بررسی دقیق‌تر آن را ارائه می‌دهد. بنابراین مطالعه حاضر دو هدف الف) تعیین بهترین شاخص گیاهی تصاویر لندست ۸ برای مدل‌سازی تولید و ب) برآورد تولید فرم‌های رویشی و کل با استفاده از شاخص‌های گیاهی تصاویر لندست ۸ را دنبال می‌کند. با توجه به اینکه مطالعات مختلف در سطح برآورد تولید کل انجام شده است، در این مطالعه علاوه بر تولید کل، به برآورد تولید فرم‌های رویشی به‌طور جداگانه نیز پرداخته شد. از نتایج این مطالعه می‌توان در راستای ایجاد حالت تعادل بین محصولات اکوسیستم مرتع استفاده کرد.

مواد و روش‌ها

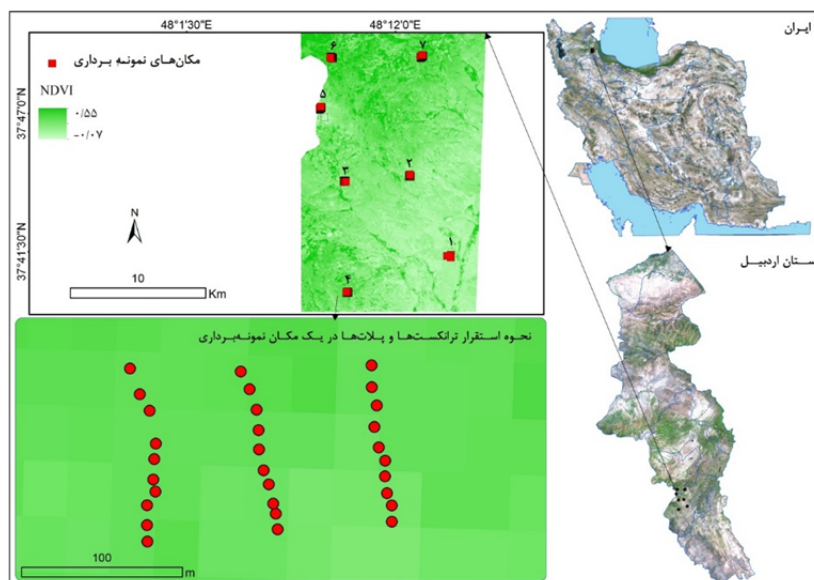
منطقه مورد مطالعه

به‌طور فزاینده‌ای برای پایش از راه دور تولید گیاهی مرتع استفاده می‌شوند (۱۷). شاخص‌های پوشش گیاهی مختلفی که از داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای به‌دست می‌آیند مانند شاخص تفاوت نرمال‌شده گیاهی (NDVI)، شاخص گیاهی پیشرفته (۱۹) و شاخص سطح برگ (LAI)، برای اندازه‌گیری تولید استفاده شده‌اند (۲۶). در میان آن‌ها، NDVI رایج‌ترین شاخص ماهواره‌ای مورد استفاده برای کمی‌سازی تکامل زمانی پوشش گیاهی است (۲۳).

در این راستا، در سطح دنیا مطالعات مختلفی انجام شده است؛ از جمله کارلوس و همکاران (۶) در مطالعه خود، با استفاده از سنجش از دور به مدل‌سازی تولید مراتع مکزیک پرداخته و رابطه معنی‌دار بین تولید و شاخص NDVI را گزارش داده و اشاره کردند این تغییرات به تابش خورشید، سایه، آلودگی هوا و از این قبیل موارد بستگی دارد. هی و همکاران (۱۴) با استفاده از تصاویر لندست ۸ شاخص‌های گیاهی را تهیه کرده و به تجزیه و تحلیل رابطه بین داده‌های تولید و شاخص‌های گیاهی پرداختند که در نهایت تصویر استفاده شده را برای مدل‌سازی تولید مراتع، مناسب معرفی کردند. همچنین لیو و همکاران (۲۰) با استفاده از تصاویر لندست ۷ اقدام به مدل‌سازی تولید مراتع کرده و صحت بالای مدل‌های به‌دست‌آمده را گزارش دادند. قربانی و همکاران (۱۱) با استفاده از شاخص‌های گیاهی تصویر لندست ۸ به مدل‌سازی تولید فرم‌های رویشی و کل در مراتع هیر-نئور استان اردبیل پرداخته و گزارش دادند که بهترین شاخص‌ها برای مدل‌سازی تولید گندمیان، پهن‌برگان علفی، بوته‌ای‌ها و تولید کل به‌ترتیب VI3، IO، RDVI و DVI است. ژانگ و همکاران (۴۰) با استفاده از مدل CASA و سری‌های زمانی و مکانی به‌دست‌آمده از تصاویر لندست ۸ و سنتینل ۲ پرداخته و صحت بالای مدل خطی تهیه شده را گزارش دادند که می‌توان برای تالاب‌های منطقه‌ای در راستای توسعه پایدار استفاده کرد. منقادی و همکاران (۲۴) به برآورد تولید درختان جنگل‌کاری شده در منظر شهری آفریقای جنوبی با استفاده از داده‌های سنجش از دور پرداختند. یافته‌های ایشان رابطه نزدیکی بین

پورفیری و مگاپورفیری ائوسن است که نقاط مرتفع مناطق شرقی منطقه مورد مطالعه را تشکیل داده‌است و گسترش محدودی دارد (۲۵). واحدهای سنگی کنگلومرای روشن الیگوسن بیش‌ترین واحدهای سنگی منطقه را تشکیل داده‌است که وجود زمین لغزش‌ها در این واحد به دلیل سیمان رسی و سست آن ملاحظه می‌گردد. خاک منطقه مورد مطالعه، دارای عمق زیاد با بافت خاک متوسط یا لومی رسی و نسبتاً حاصل‌خیز است (۲۵).

محدوده مورد مطالعه، مراتع سیاه‌پوش نیر و گنج‌گاه کوثر در استان اردبیل است که در محدوده جغرافیایی $48^{\circ}16'35''$ تا $48^{\circ}16'46''$ طول شرقی و $37^{\circ}54'00''$ تا $37^{\circ}54'18''$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). اقلیم منطقه به روش دمارتن نیمه‌خشک فراسرد و به روش آمبرژه نیمه‌مرطوب سرد است. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه بین ۱۱۶۸ تا ۲۴۵۷ متر از سطح دریا متغیر بوده و مقدار بارش متوسط سالانه ۳۵۲ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۸/۵ درجه سانتی‌گراد ثبت شده‌است. قدیمی‌ترین نهشته‌ها در منطقه مورد مطالعه، آندزیت‌های



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه، مشخصات مکان‌های نمونه‌برداری و نحوه استقرار ترانسکت و پلات‌ها

Fig 1. Location of the study area, characteristics of sampling sites and location of transects and plots

پلات یک متر مربعی با فاصله ۱۰ متر از هم مستقر شدند، که در مجموع در هر سایت ۳۰ پلات یک متر مربعی و در کل منطقه ۲۱۰ پلات یک متر مربعی نمونه‌برداری شدند. تعداد و ابعاد پلات نیز با در نظر گرفتن نوع پوشش گیاهی و تعداد نمونه مورد نیاز و همچنین مطالعات قبلی صورت‌گرفته در منطقه و اطراف تعیین شد (۱۱، ۱۲). بدین ترتیب زمانی که گیاهان غالب منطقه در اوج فصل رویشی بودند، نمونه‌برداری از فرم‌های رویشی گندمیان، پهن‌برگان، بوته‌ای‌ها و مجموع آن‌ها با در نظر گرفتن فرم رویشی (گندمیان و پهن‌برگان علفی

نمونه‌برداری زمینی

به منظور اندازه‌گیری تولید فرم‌های رویشی و کل با توجه به نحوه دسترسی و پروفیل ارتفاعی، هفت سایت برای نمونه‌برداری از سطح منطقه در خرداد ماه سال ۱۳۹۸ انتخاب شد (جدول ۱). بدین ترتیب با توجه به ساختار پوشش گیاهی در هر سایت سه ترانسکت ۱۰۰ متری به فاصله ۵۰ متر از هم مستقر گردید و محل ترانسکت اول به صورت تصادفی و ترانسکت‌های دوم و سوم به صورت سیستماتیک در جهت عمود بر شیب منطقه انتخاب شد. بر روی هر ترانسکت ۱۰

۲۰×۲۰ تهپه، و به وسیله آن نقشه‌های ارتفاع، شیب و جهات جغرافیایی تهپه شد و مقادیر متوسط دما و بارش ۲۵ ساله با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاعی و با توجه به گرادیان استخراجی از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه (پارس‌آباد، بیله‌سوار، گرمی، مشکین‌شهر، اردبیل، نمین، نیر، کوثر و خلخال) و محدوده آن محاسبه و در نرم‌افزار آرک جی آی اس ورژن ۱۰ (ArcGIS10.0) تهپه شد.

از یک سانتی‌متری سطح زمین و بوته‌ای‌ها رشد سال جاری) به روش قطع و توزین برداشت شدند. موقعیت هر یک از پلات‌ها نیز با استفاده از GPS ثبت شد. نمونه‌ها پس از انتقال به آزمایشگاه مرتع دانشگاه محقق اردبیلی در هوای آزاد خشک شده، سپس به وسیله ترازوی دیجیتالی توزین شده و مقدار تولید بر حسب کیلوگرم در هکتار محاسبه شد. نقشه مدل رقومی ارتفاع با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰ با ابعاد پیکسل

جدول ۱. مشخصات سایت‌های نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه

Table 1. Details of sampled sites in the study area

شماره مکان							میانگین عوامل
۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
۱۹۳۳	۲۳۱۲	۲۰۹۵	۱۷۵۶	۱۷۰۴	۱۷۵۶	۱۷۰۶	ارتفاع (m)
۳۶	۳۲	۳۵	۱۴	۳۶	۳۷	۳۳	شیب (%)
۳۵۱	۳۷۰	۳۵۸	۳۳۹	۳۳۶	۳۴۰	۳۳۹	متوسط بارندگی ۲۵ ساله (mm) (۲۵)
۸/۷۷	۷/۷۰	۸/۳۶	۹/۳۳	۹/۵۰	۹/۲۹	۹/۶۹	متوسط دمای ۲۵ ساله (C°)
۰/۲۷	۰/۲۸	۰/۲۱	۰/۲۳	۰/۱۷	۰/۱۵	۰/۰۹	NDVI
۱۲۳۰	۶۷۴	۶۸۹	۶۵۸	۴۲۶	۵۵۹	۲۶۶	تولید گندمیان (Kg/ha)
۳۲۴	۳۹۳	۴۱۵	۴۴۷	۳۷۱	۱۹۹	۲۵۹	تولید پهن‌برگان علفی (Kg/ha)
۱۹۸	۳۴۳	۲۷۴	۱۳۳	۰	۹۱	۳۱۴	تولید بوته‌ای‌ها (Kg/ha)
۱۷۵۲	۱۴۱۰	۱۳۷۸	۱۲۳۸	۷۹۷	۸۴۹	۸۳۹	تولید کل (Kg/ha)

$$\rho\lambda = MpQcal + Ap \quad [1]$$

که در آن $\rho\lambda$ بازتاب سیاره‌ای TOA بدون اصلاح برای زاویه خورشیدی، Mp ضریب مقیاس‌بندی مجدد ضربی باند خاص از فراداده، Ap ضریب مقیاس‌بندی مجدد افزودنی باند خاص از فراداده، و $Qcal$ پیکسل محصول استاندارد کمی و کالیبره شده است. مقادیر (DN) بازتاب بالای اتمسفر (TOA) با اصلاح زاویه خورشید با استفاده از معادله ۲ محاسبه شد (۳۶):

$$\rho\lambda = \rho\lambda \cos(\theta SZ) = \rho\lambda \sin(\theta SE) \quad [2]$$

که در آن $\rho\lambda$ بازتاب سیاره‌ای TOA، θSE زاویه ارتفاع خورشید محلی، و θSZ زاویه نقطه اوج خورشیدی محلی بود. برای تجزیه و تحلیل تصاویر از نرم‌افزار آرک جی آی اس

پیش‌پردازش و آماده‌سازی تصاویر

منطقه مورد مطالعه توسط یک تصویر از تصاویر لندست ۸ (Landsat 8) پوشیده شده است. این تصویر در خرداد ماه سال ۱۳۹۸ (2019 June) توسط سنجنده OLI به دست آمد و از پایگاه تصویری Earth Explorer USGS (Archive Imagery Landsat) بارگیری شد. تصویر منطقه مورد مطالعه کاملاً بدون ابر بود. ایستگاه‌های هواشناسی اطراف منطقه ۱۵ روز قبل از گرفتن تصویر هیچ‌گونه رویداد بارشی را ثبت نکردند. مختصات تصویر با استفاده از نقاط کنترل زمینی همسان‌سازی شد. مقادیر اعداد دیجیتال (DN) با استفاده از فراداده پارامترهای Landsat به بازتاب زمین تبدیل شد. معادله ۱ برای تبدیل مقادیر عدد دیجیتال به بازتاب بالای اتمسفر (TOA) برای داده‌های OLI استفاده شد (۳۶):

بیش‌ترین هم‌بستگی را با داده‌های میدانی داشت و از محدوده دینامیکی خوبی برخوردار بود، برای مدل‌سازی نقشه تولید فرم‌های رویشی و کل انتخاب شد.

ارزیابی صحت

صحت مدل‌های به‌دست آمده با استفاده از معیارهای ریشه میانگین خطای مربعات (Root mean squared error) RMSE، میانگین خطای مطلق (Mean absolute error) MAE و میانگین خطای انحراف (Mean deviation error) MDE ارزیابی شد (۱)، که معادلات آن به ترتیب در معادلات ۴، ۵ و ۶ ارائه شده است که این معیارها هرچه به صفر نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده صحت بالای مدل است.

$$MAE = \sum |P_i - O_i| / n \quad [4]$$

$$MDE = \sum (P_i - O_i) / n \quad [5]$$

$$RMSE = \sqrt{\sum (P_i - O_i)^2 / n - 1} \quad [6]$$

که در آن P_i : مقادیر تخمین تولید نقشه‌ها، O_i : مقادیر اندازه‌گیری تولید از عرصه و n : تعداد نقاط داده بود.

نتایج

مدل‌ها و نقشه‌های تولید

جدول (۲) شاخص‌هایی را نشان می‌دهد که با تولید فرم‌های رویشی و کل هم‌بستگی معنی‌داری داشتند. معادلات پیش‌بینی با استفاده از مدل خطی درجه یک بر اساس شاخص دارای بالاترین هم‌بستگی با تولید فرم‌های رویشی و کل در زیر ارائه شده است (معادلات ۷، ۸، ۹ و ۱۰). جدول (۲) شاخص‌هایی را نشان می‌دهد که بیش‌ترین هم‌بستگی را با مقادیر تولید گندمیان از جمله NDVI، GNDVI، VI2 و VI3 داشتند. شاخص‌های NDVI، MNDVI و TNDVI بیش‌ترین هم‌بستگی را با تولید پهن‌برگان علفی داشتند. شاخص‌های NDVI، RDVI و DVI بیش‌ترین هم‌بستگی را با تولید بوته‌ای‌ها داشتند و شاخص‌های NDVI، DVI، RDVI و GI بیش‌ترین هم‌بستگی را با تولید کل داشتند. با توجه به اینکه

ورژن ۱۰ (ArcGIS10.0) و انوی ورژن ۵/۳ (ENVI5.3) استفاده شد.

انتخاب و محاسبه شاخص‌ها

یکی از اهداف و هم‌چنین مهم‌ترین مراحل تحقیق، انتخاب شاخص‌های گیاهی مناسب بود. با توجه به مرور منابع (۱۱)، ۱۲، ۳۸)، ۲۲ شاخص که در تحقیقات زیادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و از صحت مناسبی برخوردار بوده‌اند، برای تهیه نقشه تولید انتخاب شدند (جدول ۲). موقعیت هر نقطه زمینی اندازه‌گیری شده (پلات) به روی تصاویر منتقل شد و ارزش هر یک از نقشه‌های شاخص گیاهی در محیط GIS برای هر یک از نقاط استخراج شد.

تجزیه و تحلیل آماری

هم‌بستگی (Correlation) بین شاخص‌های استخراج‌شده با تولید فرم‌های رویشی و کل برای نقاط نمونه‌برداری (۲۱۰ نقطه) محاسبه شد. ضریب هم‌بستگی بین شاخص‌های پوشش گیاهی لندست ۸ و تولید فرم‌های رویشی و کل با استفاده از نرم‌افزار اسپ‌اس‌اس ورژن ۱۹ (SPSS Ver.19.0) محاسبه شد. شاخص‌های دارای هم‌بستگی و معنی‌داری بالا برای تولید فرم رویشی و کل به‌عنوان بهترین پیش‌بینی‌کننده تولید انتخاب شدند. پیش‌بینی تولید با استفاده از یک معادله خطی درجه یک (Linear regression) در نرم‌افزار متلب ورژن ۲۰۱۸ (MATLAB R2018a) با کمک ابزار برازش منحنی (Fitting tool) ایجاد شد (معادله ۳).

$$Y = a + b_1 x_1 \quad [3]$$

که در آن Y مقدار پیش‌بینی‌شده متغیر وابسته (تولید فرم‌های رویشی و کل)، a ضریب ثابت، b ضریب رگرسیون و x مقدار متغیر مستقل (شاخص گیاهی) است. متغیرهای وابسته، تولید فرم‌های رویشی و کل و متغیر مستقل، شاخص گیاهی محاسبه‌شده از تصاویر ماهواره‌ای بودند. معادلات بر روی تصویر شاخص‌ها اعمال شد. علاوه بر این، شاخصی که

شاخص NDVI از هم‌بستگی بالایی با تولید فرم‌های رویشی و این شاخص مدل‌سازی شد (معادلات ۷، ۸، ۹ و ۱۰). کل برخوردار بود، در نتیجه نقشه‌های پیش‌بینی با استفاده از

$$\begin{aligned} \text{تولید گندمیان} &= (3451/178 \times \text{NDVI}) - 63/876 & F=181/53^{***} & R=0/78 \text{ (۷)} \\ \text{تولید پهن‌برگان‌علفی} &= (1200/465 \times \text{NDVI}) + 98/173 & F=19/35^{***} & R=0/41 \text{ (۸)} \\ \text{تولید بوته‌ای‌ها} &= (751/613 \times \text{NDVI}) + 39/575 & F=6/98^{**} & R=0/31 \text{ (۹)} \\ \text{تولید کل} &= (5403/255 \times \text{NDVI}) + 73/872 & F=295/85^{***} & R=0/88 \text{ (۱۰)} \end{aligned}$$

جدول ۲. هم‌بستگی شاخص‌های گیاهی با تولید فرم‌های رویشی و کل برای تعیین بهترین شاخص برای مدل‌سازی

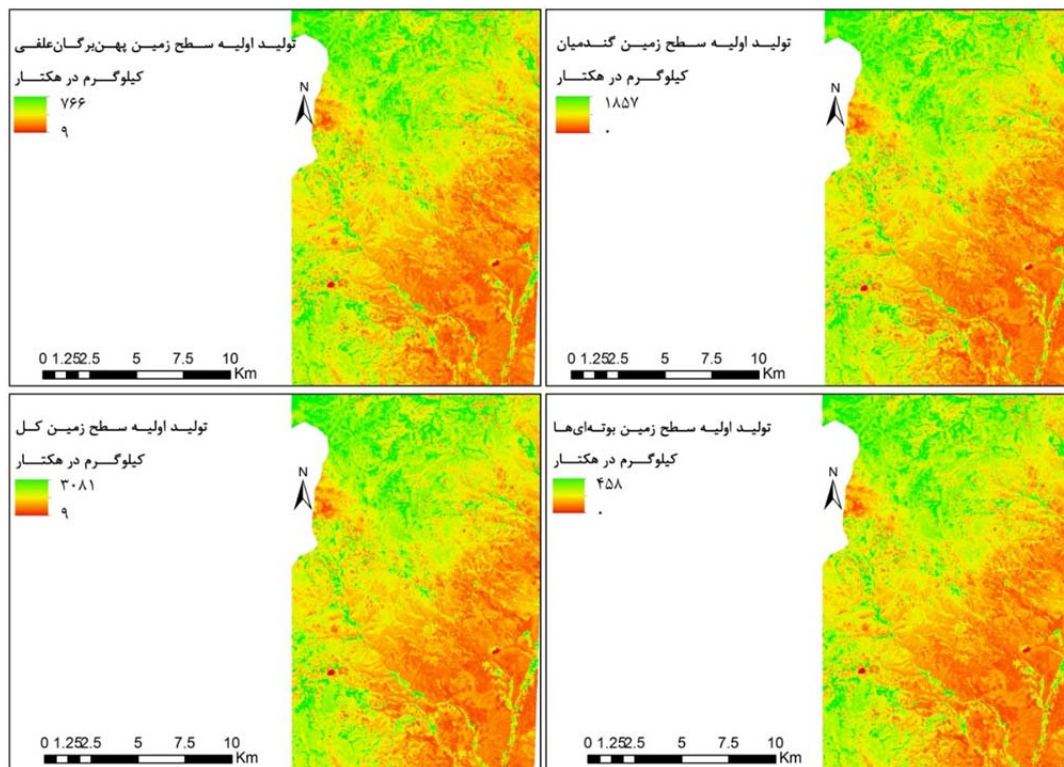
Table 2. Correlation of vegetation indices with Production of growth forms and total to determine the best index for modeling

هم‌بستگی				شاخص‌های گیاهی
کل	بوته‌ای‌ها	پهن‌برگان‌علفی	گندمیان	
۰/۸۷	۰/۳۱	۰/۴۱	۰/۷۸	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
۰/۸۵	۰/۲۸	۰/۳۲	۰/۶۳	Difference Vegetation Index (DVI)
۰/۸۵	۰/۲۹	۰/۳۲	۰/۶۰	Renormalized Difference Vegetation Index (RDVI)
۰/۸۵	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۷۰	Greenness Index (GI)
۰/۴۰	۰/۱۵	۰/۳۱	۰/۲۵	Iron Oxide (IO)
۰/۸۰	۰/۲۵	۰/۲۲	۰/۴۸	Infrared Percentage Vegetation Index (IPVI)
۰/۶۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۴۸	Land Surface Water Index (LSWI)
۰/۶۶	۰/۱۹	۰/۱۷	۰/۴۴	Modified Infrared Ratio Vegetation Index (MIRVI)
۰/۷۰	۰/۲۵	۰/۲۹	۰/۷۶	Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)
۰/۷۰	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۵۸	Modified Normalized Difference Vegetation Index (MNDVI)
۰/۷۰	۰/۲۶	۰/۳۸	۰/۶۵	Transformed Normalized Difference Vegetation Index (TNDVI)
۰/۵۸	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۳۵	Potential Difference 311 (PD311)
۰/۶۵	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۳۵	Potential Difference 312 (PD312)
۰/۶۵	۰/۲۲	۰/۲۱	۰/۳۵	Potential Difference 321 (PD321)
۰/۷۱	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۵۸	Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)
۰/۷۱	۰/۲۶	۰/۳۰	۰/۵۸	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI)
۰/۸۰	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۶۴	Vegetation Index 1 (VI1)
۰/۸۰	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۷۲	Vegetation Index 2 (VI2)
۰/۸۲	۰/۲۰	۰/۳۱	۰/۷۴	Vegetation Index 3 (VI3)
۰/۷۳	۰/۲۴	۰/۲۹	۰/۱۸	Ratio Vegetation Index (RVI)
۰/۷۳	۰/۲۷	۰/۲۹	۰/۲۵	Normalized Ratio Vegetation Index (NRVI)
۰/۷۳	۰/۲۶	۰/۲۵	۰/۵۰	Transformed Vegetation Index (TVI)

کیلوگرم، پهن‌برگان‌علفی از ۹ تا ۷۶۶ کیلوگرم و بوته‌ای‌ها بین ۰ تا ۴۵۸ کیلوگرم در هکتار بود. در نهایت نقشه تولید کل

تولید فرم‌های رویشی و کل برای منطقه مورد مطالعه مدل‌سازی شد (شکل ۲). مقادیر تولید سه فرم رویشی (بر اساس مدل‌سازی انجام شده) شامل: گندمیان بین ۰ تا ۱۸۵۷

نشان داد که تولید بین ۹ تا ۳۰۸۱ کیلوگرم در هکتار متفاوت است.



شکل ۲. نقشه‌های مدل‌سازی شده مقدار تولید هر یک از فرم‌های رویشی و کل (بر حسب کیلوگرم در هکتار)

Fig 2. Derived maps of the growth forms and total Production (Kg/ha).

ارزیابی صحت نقشه‌ها

مقادیر اندازه‌گیری شده تولید (داده‌های میدانی) در مقابل مقادیر تخمینی و برآورد شده تولید (تخمین‌های حاصل از مدل) تعیین شد. نتایج ارزیابی صحت و اعتبارسنجی بر اساس معیارهای MAE، MDE و RMSE قابل قبول بود (جدول ۳). بر اساس مقادیر میانگین داده‌های میدانی و مقادیر نقشه‌های مدل‌سازی شده، تفاوت بین مقدار واقعی و مدل برای تولید گندمیان، پهن‌برگان‌علفی، بوته‌ای‌ها و کل تقریباً صفر کیلوگرم در هکتار بود و اختلافی مشاهده نشد. نکته قابل ذکر آن است که همان‌طور که نتایج صحت‌سنجی (MAE، MDE و RMSE) نیز نشان می‌دهد، مقادیر واقعی تولید با مقادیر مدل کاملاً

منطبق نیست و اختلافاتی وجود دارد و دستیابی به چنین مدلی هم تقریباً غیرممکن است. اما عدم وجود اختلاف ظاهری بین تولید میدانی و تولید حاصل از مدل‌سازی، مربوط به میانگین تولید اندازه‌گیری شده در عرصه و تولید حاصل از مدل برای کل پلات‌ها است. به طوری که در مقایسه پلات به پلات داده‌های این دو روش، اختلاف مقدار تولید مشهود است، اما هنگام میانگین‌گیری از کل داده‌ها، مقدار نهایی در هر دو روش تقریباً یکسان بوده است. بنابراین، با توجه به نتایج، مدل‌های شبیه‌سازی شده می‌توانند برای پیش‌بینی تولید فرم‌های رویشی و کل منطقه مورد مطالعه استفاده شوند.

جدول ۳. خلاصه مدل‌های رگرسیونی و ارزیابی صحت نقشه‌های تهیه شده تولید فرم‌های رویشی و کل

Table 3. Summary of regression models and assessment of modeled maps of the growth forms and total Production

متغیر مستقل (شاخص گیاهی)	متغیر وابسته (تولید)	میانگین تولید اندازه‌گیری شده (Kg/ha)	میانگین تولید برآوردی از مدل شده (Kg/ha)	اختلاف بین مقدار واقعی و مدل (Kg/ha)	MAE	MDE	RMSE
گندمیان	۶۴۳/۶۶	۶۴۳/۶۶	۰	۱/۴۶	۰/۵۳	۰/۸۴	
پهن‌برگان علفی	۳۴۴/۲۸	۳۴۴/۲۸	۰	۲/۶۳	۰/۷	۱/۶۱	
بوته‌ای‌ها	۱۹۳/۶۶	۱۹۳/۶۶	۰	۱/۸۶	۱/۸	۱/۴۳	
کل	۱۱۸۱/۶۱	۱۱۸۱/۶۱	۰	۰/۹۳	۰/۷۳	۰/۷۱	

بحث و نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه حاضر نشان داد که رابطه معنی‌داری بین شاخص‌های گیاهی با داده‌های تولید فرم‌های رویشی و کل وجود داشت. روش‌های زیادی بر اساس روابط ریاضی با ترکیب تابش نور مرئی، عمدتاً منطقه طیف سبز، از پوشش گیاهی و طیف‌های نور غیرمرئی، برای به‌دست آوردن مقدار ویژگی‌های پوشش گیاهی مانند تولید توسعه یافته و در برابر کاربردهای گوناگونی آزمایش شده‌اند که این نتایج با نتایج ژئو و همکاران (۳۸) مطابقت داشت؛ ایشان بیان کردند که تغییرات ارزش شاخص‌های گیاهی و تصاویر ماهواره‌ای بر اثر تغییرات پوشش گیاهی بوده بنابراین می‌توان با برقراری روابط ریاضی، به برآورد پارامترهای پوشش گیاهی از جمله تولید، توسط داده‌های ماهواره‌ای دست یافت. در تحقیق حاضر، شاخص NDVI به‌عنوان مناسب‌ترین شاخص گیاهی برای مدل‌سازی (مدل رگرسیونی خطی ساده) تولید فرم‌های رویشی و کل تعیین شد. فرض اولیه در این مطالعه، وجود رابطه معنی‌دار بین شاخص‌های گیاهی حاصل از تصاویر لندست ۸ با داده‌های تولید بود؛ اگرچه این ارتباط ممکن است تحت تأثیر ابرناکی، تغییرات زمانی تصاویر، ذرات معلق هوا، موقعیت مکانی و زاویه تابش متغیر باشد (۱۴). هم‌چنین اثبات شده است که بازتاب نور از گیاهان مختلف می‌تواند بر اساس فرم‌های رویشی گیاهی و میزان آب موجود در بافت‌ها متغیر باشد که با نتایج مطالعه چنگ و همکاران (۷) مطابقت داشت. از این‌رو

می‌توان بین شاخص‌های استخراج‌شده از نور مرئی و طیف مادون قرمز با ویژگی‌های مختلف گیاهی از جمله تولید، رشد، محتوای آب، رنگ‌دانه‌ها، قند، کربوهیدرات، پروتئین و مواد معطر گیاهی، ارتباط برقرار کرد (۴، ۱۱). نتایج کلی پیش‌بینی تولید در این تحقیق با مطالعه قربانی و همکاران (۱۱) در مراتع هیر-نور استان اردبیل مطابقت داشت. ایشان به مدل‌سازی تولید فرم‌های رویشی و کل توسط شاخص‌های گیاهی تهیه شده از تصاویر لندست ۸ پرداخته و صحت بالای روابط مدل‌سازی شده توسط شاخص‌های گیاهی را گزارش دادند. شاخص‌های گیاهی محاسبه‌شده در تحقیق حاضر، ترکیبی از باندهای مرئی و مادون قرمز بود که این ترکیب نشان‌دهنده حساسیت باندهای ذکر شده به پوشش گیاهی سبز است که این امر در نتایج مطالعات دیگر نیز اثبات شده است (۱۲، ۳۳). در این راستا زرینه و همکاران (۳۹) نیز نتایج مشابه را گزارش کرده و به تأکید باندهای ذکر شده در برآورد اطلاعات پوشش گیاهی پرداخته‌اند. این نتایج با نتایج مطالعه روژن و بورن (۳۰) نیز مطابقت داشت که ایشان دریافتند برگ‌های سبز، نور قرمز را بیش‌تر از مادون قرمز جذب می‌کنند. با توجه به ویژگی‌های طیفی، فرم رویشی بوته‌ای‌ها بازتاب کم‌تری از نور قرمز را دارند و همان‌طور که در مطالعه حاضر نیز نتیجه‌گیری شد، کم‌ترین هم‌بستگی شاخص‌های گیاهی با فرم رویشی ذکر شده بود که این امر با نتایج کوان و همکاران (۲۷) مطابقت داشت. شاخص NDVI به‌طور گسترده‌ای برای تخمین و پایش تولید و پوشش تاجی، به‌ویژه در پوشش گیاهی با تراکم بالا استفاده

پیشنهاد کردند. اما لازم به ذکر است که تغییرات تولید تحت تأثیر عوامل مختلف پستی و بلندی، اقلیمی، خاک و ... نیز است که در در مطالعه حاضر مورد توجه قرار نگرفته و نیاز به تحقیقات آتی در این زمینه است. همچنین هر شاخص گیاهی بیان‌کننده ویژگی خاصی از پوشش گیاهی سبز است؛ این بدین معناست که نمی‌توان با قطعیت پیشنهاد داد که شاخص‌ها و مدل‌های به‌کار رفته در مطالعه حاضر برای تمام مناطق می‌تواند نتیجه مطلوبی ارائه دهد. بنابراین نیازمند مطالعات بیش‌تر در این زمینه خواهد بود. در حالت کلی می‌توان بیان کرد که رسیدن به هم‌بستگی بین داده‌های ماهواره‌ای نظیر شاخص‌های گیاهی و تخمین تولید و مدل‌سازی آن، آسان‌تر از انجام پروژه‌های میدانی زمان‌بر و پرهزینه خواهد بود. نتایج این مطالعه می‌تواند برای تعادل عرضه و تقاضا و شاخص توازن کربن اکوسیستم‌های مرتعی که ابزارهای بالقوه مهمی برای توسعه پایدار هستند، استفاده شود. با توسعه فناوری سنسور از دور فراطیفی و چندطیفی، می‌توان شاخص‌های جدید پوشش گیاهی را توسعه داد که زمینه‌های تحقیقاتی را گسترش می‌دهد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل پایان‌نامه با عنوان بررسی تولید اولیه سطح زمین در مراتع سیاه‌پوش و گنج‌گاه استان اردبیل در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۹ است که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شده است.

References

1. Abbasi Khalaki M, Ghorbani A, Dadjou F. 2019. Using a network analysis process in the restore of low yielding and abounded dry farming lands with range planting (Case study: Balekhli Chay watershed). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(2): 102-120. (In Persian)
2. Abdolalizadeh Z, Ghorbani A, Mostafazadeh R, Moameri M. 2020. Rangeland canopy cover estimation using Landsat OLI data and vegetation indices in Sabalan rangelands, Iran. *Arabian Journal*

می‌شود؛ چرا که این شاخص به تغییرات پوشش گیاهی بسیار حساس بوده و هم‌بستگی بالایی را نشان می‌دهد (۳۸)؛ که در مطالعه حاضر نیز هر چند شاخص‌های دیگری هم برای مدل‌سازی مناسب بودند، اما بالاترین هم‌بستگی بین تولید فرم‌های رویشی و کل با شاخص NDVI مشاهده شد. از دیگر شاخص‌های با هم‌بستگی بالا برای مدل‌سازی تولید فرم‌های رویشی و کل، شاخص DVI بود. این با نتایج مگوگان و همکاران (۲۲) مطابقت داشت که گزارش کردند این شاخص از حساس‌ترین شاخص‌ها نسبت به تغییرات سطح خاک بوده و می‌تواند در پایش پوشش گیاهی نقش مهمی داشته باشد. اما با توجه به اینکه بیش‌ترین هم‌بستگی بین تولید فرم‌های رویشی و کل با شاخص NDVI مشاهده شد، بنابراین سایر شاخص‌های مناسب نیز نادیده گرفته شد و مناسب‌ترین شاخص (NDVI با هم‌بستگی بالا) برای مدل‌سازی انتخاب شد. دلیل این امر احتمالاً حساسیت NDVI به تغییرات پوشش گیاهی، نسبت به شاخص‌های دیگر است که این با نتایج نازاد و همکاران (۲۶) مطابقت داشت. در مطالعه حاضر از میان فرم‌های رویشی، بالاترین هم‌بستگی شاخص NDVI با تولید فرم رویشی گندمیان بود که این با نتایج عبدالعزیزاده و همکاران (۲) مطابقت داشت. آن‌ها بیان کردند که فرم رویشی گندمیان بیش‌ترین هم‌بستگی با داده‌های شاخص‌های گیاهی تصاویر لندست ۸ در مراتع سبلان را داشته و بهترین مدل با صحت بالا را ارائه داد.

در این مطالعه، نویسندگان به دلیل سهولت در دریافت و رایگان بودن تصاویر لندست ۸، داده‌های این ماهواره و مدل خطی رگرسیونی را به دلیل صحت بالا، برای پیش‌بینی تولید

of Geosciences, 13: 245. doi: 10.1007/s12517-020-5150-1.

3. Al-bukhari A, Hallett S, Brewer T. 2018. A review of potential methods for monitoring rangeland degradation in Libya. *Research, Policy and Practice*, 8: 13. doi: 10.1186/s13570-018-0118-4.
4. Batten G D. 1998. Plant analysis using near infrared reflectance spectroscopy: The potential and the limitations. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 38(7): 697-706.

5. Byrne K M, Lauenroth W K, Adler P B, Byrne C M. 2011. Estimating Aboveground Net Primary Production in Grasslands: A Comparison of Nondestructive Methods. *Rangeland Ecology & Management*, 64(5): 498-505. doi: 10.2111/REM-D-10-00145.1.
6. Carlos A, Eduardo J, Oscar A, Marco A, Jose R, Guillermo S, Reija H, Alejandro I, Liliana M. 2014. Mapping aboveground biomass by integrating geospatial and forest inventory data through a k-nearest neighbor strategy in North Central Mexico. *Journal of Arid Land*, 6(1): 80-96. doi: 10.1007/s40333-013-0191-x.
7. Chang L, Peng-Sen S, Liu Sh R. 2016. A review of plant spectral reflectance response to water physiological changes. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 40(1): 80-91. doi: 10.17521/cjpe.2015.0267.
8. Costanza R. 2012. Ecosystem health and ecological engineering. *Ecological Engineering*, 45: 24-9. doi: 10.1016/j.ecoleng.2012.03.023.
9. Dadjou F, Ghorbani A, Moameri M, Mostafazadeh R, Hazbavi Z. 2021. Modeling of production parameters and canopy cover to introduce the most effective environmental factor in the semi-steppe rangelands of Baghro, Ardabil province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 10(3): 1-14. (In Persian)
10. Dong T, Liu J, Qian B, He L, Liu J, Wang R, Jing Q, Champagne C, McNarin H, Powers J, Shi Y, Chen J.M, Shang J. 2020. Estimating crop biomass using leaf area index derived from Landsat 8 and Sentinel-2 data. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 168: 236-50. doi: 10.1016/j.isprsjprs.2020.08.003.
11. Ghorbani A, Dadjou F, Moameri M, Biswas A. 2020. Estimating Aboveground Net Primary Production (ANPP) Using Landsat 8-Based Indices: A Case Study from Hir-Neur Rangelands, Iran. *Rangeland Ecology & Management*, 73: 649-57. doi: 10.1016/j.rama.2020.06.006.
12. Ghorbani A, Pournemati A, Panahandeh M. 2017. Estimating and mapping Sabalan rangelands aboveground phytomass using Landsat-8 images. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 24(1): 165-80. doi: 10.22092/ijrdr.2017.109858. (In Persian)
13. Haghghi Khomami M, Tajaddod M J, Ravanbakhsh M, Jamalzad Fallah F. 2021. Vegetation classification based on wetland index using object based classification of satellite images (Case study: Anzali wetland). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(3): 1-17. (In Persian)
14. He M, Kimball J S, Maneta M P, Maxwell B D, Moreno A, Begueria S, Wu X. 2018. Regional crop gross primary productivity and yield estimation using fused Landsat-MODIS data. *Remote Sensing*, 10(3): 372. doi: 10.3390/rs10030372.
15. Homer C, Dewitz J, Yang L, Jin S, Danielson P, Xian G, Coulston J, Herold N, Wickham J, Megown K. 2015. Completion of the 2011 National Land Cover Database for the conterminous United States--representing a decade of land cover change information. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(5): 345-54. doi: 10.14358/PERS.81.5.345.
16. Imani J, Ebrahimi A, Gholinejad B, Tahmasebi P. 2021. Application of remote sensing information to estimate production and plant cover percentage (Study area: Rangelands around Choghakhor Wetland in Chaharmahal and Bakhtiari Province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 28(3): 450-71. doi: 10.22092/ijrdr.2021.125012. (In Persian)
17. Jin Y, Yang X, Qiu J, Li J, Gao T, Wu Q, Zhao F, Ma H, Yu H, Xu B. 2014. Remote sensing-based biomass estimation and its spatio-temporal variations in temperate grassland, northern China. *Remote Sensing*, 6: 1496-513. doi: 10.3390/rs6021496.
18. Jones M O, Robinson N, Naugle D, Maestas J, Reeves M C, Lankston R, Allred B. 2021. Annual and 16-Day Rangeland Production Estimates for the Western United States. *Rangeland Ecology & Management*, 77: 112-7. doi: 10.1016/j.rama.2021.04.003.
19. Liu H, Dahlgren R A, Larsen R E, Devine S M, Roche L M, 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. doi: 10.3390/rs11050595.
20. Liu Z, Hu M, Hu Y, Wang G. 2018. Estimation of net primary productivity of forests by modified CASA models and remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*, 39(4): 1092-116. doi: 10.1080/01431161.2017.1381352.
21. Lu Q, Gao Z, Ning J, Bi X, Wang Q. 2015. Impact of progressive urbanization and changing cropping systems on soil erosion and net primary production. *Ecological Engineering*, 75: 187-94. doi: 10.1016/j.ecoleng.2014.11.048.
22. Maguigan M, Rodgers J, Dash P, Meng Q. 2016. Assessing net primary production in montane wetlands from proximal, airborne, and satellite remote sensing. *Advanced Remote Sensing*, 5: 118-30. doi: 10.4236/ars.2016.52010.
23. Mahyou H, Tychon B, Lang M, Balaghi R. 2018. Phytomass estimation using eMODIS NDVI and ground data in arid rangelands of Morocco. *African Journal of Range & Forage Science*, 35(1): 1-12. doi: 10.2989/10220119.2018.1436088.
24. Mngadi M, Odindi J, Mutanga O, Sibanda M. 2022. Estimating aboveground net primary productivity of reforested trees in an urban landscape using biophysical variables and remotely sensed data.

- Science of the Total Environment, 802(3): 149958. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.149958.
25. Mohammadi V. 2021. Study of Aboveground Primary Production in Siahpoosh and Ganjgah Rangelands, Ardabil Province. Master Thesis. (In Persian)
 26. Nanzad L, Zhang J, Tuvdendorj B, Yang S, Rinzin S, Prodhan F A, Sharma T P P. 2021. Assessment of Drought Impact on Net Primary Productivity in the Terrestrial Ecosystems of Mongolia from 2003 to 2018. *Remote Sensing*, 13: 2522. doi: 10.3390/rs13132522.
 27. Quan Z, Xianfeng Z, Miao J. 2011. Eco-environment variable estimation from remote sensed data and eco-environment assessment: models and system. *Acta Botanica Sinica*, 47: 1073-80.
 28. Reeves M, Washington-Allen R A, Angerer J, Hunt E R, Kulawardhana R W, Kumar L, Loboda T, Loveland T, Metternicht G, Ramsey R D. 2015. Global view of remote sensing of rangelands: Evolution, applications, future pathways [chapter 10]. . In *Land resources monitoring, modeling, and mapping with remote sensing: 237-76*.
 29. Reinermann S, Asam S, Kuenzer C. 2020. Remote Sensing of Grassland Production and Management—A Review. *Remote Sensing*, 12: 1949. doi: 10.3390/rs12121949.
 30. Roujean J L, Breon F M. 1995. Estimating PAR absorbed by vegetation from bidirectional reflectance measurements. *Remote Sensing Environment*, 51(3): 375-84. doi: 10.1016/0034-4257(94)00114-3.
 31. Salarian F, Tatian M, Ghanghermeh A, Tamartash R. 2022. Modeling land cover changes in Golestan province using land change modeler (LCM). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 12(4): 47-70. (In Persian)
 32. Seyedi Kaleybar S A, Dadjou F, Hasanzadeh A, Mollazadeh Asl H. 2019. Canopy cover and production estimation and susceptible areas locating of Sumac (*Rhus coriaria*) cultivation in Khakriz rangelands of Ardabil province. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(1): 60-71. (In Persian)
 33. Smith R C G, Adams J, Stephens D J, Hick P T. 1995. Forecasting wheat yield in a Mediterranean-type environment from the NOAA satellite. *Australian Journal of Agricultural Research*, 1(46): 113-25. doi: 10.1071/AR9950113.
 34. Svoray T, Perevolotsky A, Atkinson P M. 2013. Ecological sustainability in rangelands: The contribution of remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 34(17): 6216-42. doi: 10.1080/01431161.2013.793867.
 35. Uden D R, Twidwell D, Allen C R, Jones M O, Naugle D E, Maestas J D, Allred, B. W. 2019. Spatial Imaging and Screening for Regime Shifts. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 7: 407. doi: 10.3389/fevo.2019.00407.
 36. USGS. 2013. Using the USGS Landsat 8 Product. Cited at: http://landsat7.usgs.gov/Landsat8_Using_Product.php.
 37. Xiong Q, Xiao Y, Halmy M W A, Dakhil M A, Liang P, Liu C, Zhang L, Pandey B, Pan K, El Kafraway S B, Chen J. 2019. Monitoring the impact of climate change and human activities on grassland vegetation dynamics in the northeastern Qinghai-Tibet Plateau of China during 2000–2015. *Journal of Arid Land*, 11: 637-51. doi: 10.1007/s40333-019-0061-2.
 38. Xue J Su B. 2017. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. *Journal of Sensors*: 1-17. doi: 10.1155/2017/1353691.
 39. Zarineh E, Naderi Khorasgani M, Asadi Borujeni E. 2012. Estimating the rangeland vegetation cover of Tange Sayyad Region (Chaharmahal-o-Bakhtiary Province) Using IRS LISS-III Data. *Polish Journal of Environmental Studies*, 38(1): 117-30. (In Persian)
 40. Zhang M. 2021. Modeling net primary productivity of wetland with a satellite-based light use efficiency model. *Geocarto International*. doi: 10.1080/10106049.2021.1886343.



Modeling aboveground net primary production using Landsat-8 indices in Siahpoosh and Ganjgah rangelands of Ardabil province, Iran

Pashmineh Mohammadnezhad¹, Mehdi Moameri^{*2}, Ardavan Ghorbani³, Farid Dadjou¹, Vadood Mohammadi⁵

Received: 2022-02-27 / Accepted: 2022-03-29 / Published: 2023-05-22

Abstract

The aim of this study was to estimate the aboveground net primary production (ANPP) of life forms and total ANPP using Landsat 8 images in Siahpoosh and Ganjgah rangelands of Ardabil province. Field sampling was conducted in June 2019 and a satellite image was received at the same time. Seven sampling sites was selected, and three 100-meter transects parallel and perpendicular to the slope direction was established in each sites, and along each transects from 10 plots

Pashmineh Mohammadnezhad¹, Mehdi Moameri²(✉), Ardavan Ghorbani³, Farid Dadjou¹, Vadood Mohammadi⁵

1. PhD. Student of Rangeland Science, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

2. Associate Professor, Department of Plant Science and Medicinal Plants, Faculty of MeshkinShahr Agriculture, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

3. Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

4. MSc. of Rangeland Science, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

(1m²), the ANPP of life forms with random-systematic method were collected (210 plots in total). Then, 22 plant indices were selected according to previous references and calculated for the region. Next, the correlation between the ANPP of life forms and total ANPP with plant indices was calculated and the plant index with the highest correlation was selected for modeling. The first-order linear equation was used for modeling and the equations were estimated in ArcMap software as a map. The results showed that among the studied indices, NDVI was the most appropriate index for modeling; however, the highest correlation of this index was with total ANPP (0.88), and grasses ANPP (0.78); while it had less correlation with the forbs ANPP (0.41), and shrubs ANPP (0.31). The range of changes were 0 to 1857 kg/ha for grasses, 9 to 766 kg/ha for forbs, 0 to 458 kg/ha for shrubs, and 9 to 3081 kg/ha for the total ANPP. The accuracy of the models was evaluated by RMSE, MDE and MAE criteria and the accuracy was acceptable. Also, there was essentially no difference between the mean of real and modeled data. The results of this study can be used to balance the supply and demand of rangeland production for sustainable development of rangeland ecosystems.

Background and purpose:

The Aboveground net primary production (ANPP), a difference between CO₂ fixed by plants and CO₂ lost to autotrophic respiration, is a good indicator of the

DOI: 10.30495/girs.2023.690221

e-mail: moameri@uma.ac.ir

productivity of rangeland ecosystems, and their contribution to the cycling of carbon in the Earth system. In other words, ANPP is defined as the amount of energy produced by plants minus the amount energy consumed through respiration, and it is one of the most important quantitative characteristics of a rangeland ecosystem. Because it is the result of carbon exchange between the atmosphere and the biosphere, as well as a sign of health and ecological balance. Monitoring vegetation cover is an important part of rangeland management. Because vegetation cover is the most effective indicator for identifying land degradation and gives information that helps to understand climate and human impacts on rangeland condition. Land cover quantification as ANPP is one of the most extensively utilized criteria by rangeland managers in rangeland and ecosystem management. Traditional field-based techniques based on real field work and direct ground cover measurement, and remote sensing methods based on measurements without rangeland alteration or with little field labor, are the two main groups of rangeland monitoring and assessment strategies currently available. As a result, satellite data is extremely useful, especially when studying large or inaccessible areas. Hence, large-scale field activities can be done at a lower cost. Vegetation indices, which represent vegetation's photosynthetic activity, are increasingly being employed for remote monitoring of rangeland ANPP. Since measuring the ANPP across a vast area by field methods is expensive and time consuming, remote sensing allows it to be studied more thoroughly. Therefore, the purpose of this research is to find the optimal Landsat 8 vegetation index for modeling ANPP of life forms and total ANPP, and b) to estimate the ANPP of life forms and total ANPP using plant indices of Landsat 8 images in Siahpoosh and Ganjgah rangelands of Ardabil province.

Materials and methods: The study area was Siahpoosh rangelands of Nir county and Ganjgah rangelands of Kosar county in Ardabil province. According to De Martonne's method, the climate of the region is semi-arid and super-cold, whereas according to Emberger's method, the climate is cold and semi-humid. The minimum and maximum altitude of the region varies between 1168 to 2457 meters above sea level, with an average annual rainfall is 352 mm and the average annual temperature is 8.5°C. The soil in the study area has a significant depth with a medium or loamy clay texture and is relatively fertile. Field sampling was conducted in June 2019 and a satellite image was received at the same time. The image of the study area was completely cloudless. Meteorological stations in the area had not recorded any precipitation events 15 days before the image was taken. Ground control points were used to match image coordinates. DN values were converted to ground reflection using Landsat parameter metadata. Seven sampling sites was selected, and in each sites three 100-meter transects parallel and perpendicular to the slope direction was established, and

the ANPP of life forms were collected using a random-systematic method along each transect from 10 plots (210 plots in total). Then, 22 plant indices were selected according to previous references and calculated for the region. The correlation between the ANPP of life forms and total ANPP with plant indices was calculated and the plant index with the highest correlation was selected for modeling. The first-order linear equation was used for modeling in MATLAB R2018a using fitting tools, and the equations were simulated in ArcMap software as a map.

Results and discussion: The results showed that NDVI, GNDVI, VI3 and VI2 indices had the highest correlation with the grasses ANPP. NDVI, MNDVI and TNDVI indices had the highest correlation with the forbs ANPP. NDVI, RDVI and DVI indices had the highest correlation with the shrubs ANPP, and NDVI, DVI, RDVI and GI indices had the highest correlation with total ANPP. In this work, the vegetation indices were derived using a combination of visible and infrared bands, indicating the sensitivity of the bands to green vegetation. Because the NDVI index had the highest correlation with the ANPP of life forms and total ANPP, forecast maps were created using this index. The correlation between this index and the ANPP of grasses, forbs, shrubs and total ANPP was 0.78, 0.41, 0.31 and 0.88, respectively. Because the NDVI index is particularly sensitive to vegetation changes and exhibits a strong correlation, it is commonly used to estimate and monitor ANPP and canopy cover, especially in high-density vegetation. The range of changes were 0 to 1857 kg/ha for grasses, 9 to 766 kg/ha for forbs, 0 to 458 kg/ha for shrubs, and 9 to 3081 kg/ha for the total ANPP. The accuracy of the models was evaluated by RMSE, MDE and MAE criteria and the accuracy was acceptable. Based on the mean values of the field data and the values of the modeled maps, the difference between the real value and the model for ANPP of grasses, forbs, shrubs, and total ANPP was around 0 kg/ha, and no difference was detected. As a result of the findings, simulated models can be employed to predict the ANPP of life forms and total ANPP in the study area.

Conclusion: In this study, the authors proposed Landsat 8 images due to the ease of receiving and free data, and selected linear regression model due to high-accuracy for ANPP prediction. However, it should be noted that ANPP changes are affected by various factors of topography, climate, soil, and etc., which have not been considered in the present study and the need for future research in this field. Each vegetation index also indicates a specific feature of green vegetation; this means that it cannot be said with certainty that the indices and models used in the present study for all regions can provide the desired result. Therefore, more studies will be needed in this field. In general, it can be said that finding correlations between satellite data such as vegetation indices and estimating ANPP and

modeling will be easier than time-consuming and costly field projects. The results of this study can be used for supply and demand balance of rangeland ecosystems, which are potentially important tool for sustainable development. With the development of hyperspectral and multispectral remote sensing technology, new

vegetation indices can be developed that expand research topics.

Keywords: Vegetation indices, Landsat 8, life forms, Ardabil rangelands

Please cite this article as: Mohammadnezhad P., Moameri M., Ghorbani A., Dadjou F., Mohammadi V. Modeling aboveground net primary production using Landsat-8 indices in Siahpoosh and Ganjgah rangelands of Ardabil province, Iran. Journal of RS and GIS for Natural Resources, 14(3): 99-114.