

مقایسه کارآیی داده‌های مودیس و لندست در برآورد تولید خالص اولیه در مناطق خشک استان اصفهان

فاطمه هادیان^۱، رضا جعفری^{۲*}، حسین بشری^۳، مصطفی ترکش^۳

۱. دانشجوی دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
 ۲. دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
 ۳. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.
- * نویسنده مسئول: reza.jafari@cc.iut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۶/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۰/۱۲

چکیده

تولید خالص اولیه یکی از مهمترین ویژگی کارکرد نظام‌های بوم شناختی است که تحت تأثیر عامل‌های زیستی و اقلیمی می‌باشد. هدف پژوهش حاضر تعیین قابلیت مدل CASA برای برآورد توزیع زمانی و مکانی تولید خالص اولیه NPP در مناطق خشک با کمک تصاویر مودیس و لندست در تیپ‌های گیاهی مختلف است. به این منظور داده‌های مورد نیاز تصاویر ماهواره‌ای و هواشناسی از قبیل: بارش، دما و ساعات آفتابی ماهانه تهیه شد. مقدار تولید خالص اولیه با داده‌های رقومی لندست و مودیس مدل‌سازی شد، همبستگی میان داده‌های زمینی و مدل CASA برپایه وضعیت مرتع و تیپ‌های گیاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داده که بیشترین تولید گیاهان در این منطقه از ۱۰ اسفند تا ۱۰ خرداد است. همبستگی مدل CASA در ماهواره لندست با داده‌های زمینی نسبت به مودیس در منطقه بالاتر بود. برپایه روابط، مقادیر تولید خالص اولیه و استفاده مؤثر نور خورشید در منطقه بررسی شد. توزیع مکانی تولید خالص اولیه و LUE حاکی از آن بود که تولید سالانه و کارآیی فتوسنتز در مراتع تخریب یافته با وضعیت فقیر و خیلی فقیر، در مقایسه با مراتع با وضعیت متوسط کاهش یافته است. بیشترین و کمترین مقدار تولید خالص اولیه به ترتیب در تیپ *Artemisia sieberi - Zygophyllum Spp* ($9/35 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$) و *Annual grasses - Annual forbs* ($0/2 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$) اندازه‌گیری شد. مقادیر تولید خالص اولیه و بهره‌گیری مؤثر نور خورشید در درختچه‌زارها خیلی بیشتر از بوته‌زار و در تیپ‌های گیاهی یک ساله بیشتر از بوته‌زار بود. بنابراین، نتایج پژوهش حاضر اهمیت اقلیم، طبقه بندی زیستی و انتخاب مقیاس مناسب را در بررسی و مدل‌سازی تولید خالص اولیه نشان داد. افزون بر این، طبقه‌بندی مراتع براساس شکل رویشی و وضعیت مرتع، در بالابردن دقت پژوهش نقش مهمی دارد.

واژگان کلیدی: تولید؛ وضعیت مرتع؛ استفاده مؤثر؛ خورشید؛ طبقه‌بندی اقلیمی

■ مقدمه

مقدار تولید خالص اولیه^۱ (NPP) یکی از مهمترین ویژگی‌های کمی زیست کره خاکی است و به عنوان نتیجه تبادل ذخیره کربن بین اتمسفر و بیوسفر در نظر گرفته می‌شود. نرخ تولید گیاهان در هر بوم‌نظام تحت تأثیر عامل‌های اقلیمی همچون بارش، دما و انرژی خورشیدی، شرایط خاک و موجودات زنده قرار دارد که دارای تغییرات زیادی در مقیاس فصلی و سالانه است (۲۵). مقدار NPP نه تنها از نظر مقدار ماده برای سطوح دوم زنجیره غذایی اهمیت دارد بلکه نشانه‌ای از سلامت بوم‌نظام، تعادل بوم‌شناختی (اکولوژیک) و منبع کربن تثبیت شده است (۱۰). بنابراین بررسی ارتباط میان تغییرات اقلیمی و مقدار NPP از پایه‌های اساسی بررسی‌های محیط زیستی است. در پژوهش‌های تأثیر اقلیم بر NPP در سطوح مختلف جهانی یا منطقه‌ای، تعامل بین بوم‌نظام و تغییرات اقلیمی مورد بررسی قرار گرفته است (۱۱). مقدار NPP نیز به نرخ تثبیت کربوهیدرات در بافت‌های گیاهی اطلاق می‌شود و به عنوان میزان تولید ناخالص اولیه صرف‌نظر از تنفس گیاهان تعریف می‌گردد. تغییرات مقدار NPP از جنبه‌های مختلفی همچون اقلیم و پراکنش مکانی و زمانی (۹) در مقیاس‌های جغرافیایی مختلف بررسی شده است. اگرچه با کمک بررسی‌های زمینی می‌توان مقدار تولید گیاهان و تثبیت کربن را اندازه‌گیری کرد اما به دلایل مختلفی از قبیل هزینه‌بر بودن و زمان‌بر بودن و همچنین تعمیم نتایج در سطح وسیع منطقه، محدودیت‌های زیادی در روش‌های سنتی وجود دارد. بنابراین امروزه از فناوریهای جدید مانند سنجش از دور و مدل‌سازی در کنار بررسی‌های زمینی برای جمع‌آوری داده‌های بوم‌شناختی بهره‌گیری می‌شود (۳، ۱۲، ۳۰). در سال‌های اخیر مدل‌های مختلفی برای برآورد تولید خالص اولیه ارائه شده است که می‌توان به مدل‌های مبتنی بر چرخه کربن و ساختار گیاهان (۲۲) اشاره کرد. استفاده از مدل‌های مبتنی بر سنجش از دور

(شامل سه دسته ۱) آماری، ۲) پارامتری ۳) فرآیندی می‌باشند) که امکان بررسی تغییرات NPP را در طول زمان و مکان ممکن ساخته است (۴۶). مدل CASA^۲ یک مدل مبتنی بر فرآیند بوده که بر مبنای کارایی جذب انرژی خورشید با کمک داده‌های سنجش از دوری و اقلیمی مقدار NPP را در مقیاس منطقه‌ای و جهانی تخمین می‌زند، در مدل CASA داده‌های اقلیمی ماهیانه دما، بارش و ساعت آفتابی داده‌های NDVI^۳ و نقشه پوشش اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵۳). به دلیل نیاز به پارامتر رطوبت خاک و محدودیت‌های تعیین آن در مقیاس‌های مختلف در مدل CASA با کمک اندازه‌گیری خطای بین NPP مشاهداتی و مدل‌سازی شده (۵۱)، مقدار LUE محاسبه و تبادل دی اکسید کربن میان اتمسفر و ترسیب کربن شبیه‌سازی شده است (۷). LUE عامل مؤثری بر تبدیل انرژی قابل جذب به مواد آلی به حساب می‌آید و در اندازه‌گیری NPP با مدل CASA عامل کلیدی محسوب می‌شود. از آنجا که محققان (۳۸) استفاده از داده‌های زمینی مناسب و ارتباط آنها با داده‌های ماهواره‌ای مهمترین عامل صحت مدل‌سازی دانستند، این مدل توانسته است مقدار تولید خالص اولیه را در سطوح مختلف تعیین کند (۵۴). ارزیابی مدل CASA در سطوح جهانی (۱۶) و منطقه‌ای (۴۰) نشان داده است که امکان تخمین مقادیر NPP با توجه به شرایط اقلیمی و نوع تیپ گیاهی وجود داشته و می‌توان اثرات تخریب اراضی را در مراحل مختلف فنولوژی نیز مورد بررسی قرار داد (۱۳). طبق مشاهدات (۱۷) مقدار LUE گیاهان در شرایط محیطی بهینه، بیشینه بود؛ اما عواملی مانند دما، رطوبت، آفات و بیماری، مواد غذایی خاک و ویژگی‌های ژنتیکی و ریخت‌شماسی (مورفولوژی) گیاهان مانند شاخص سطح برگ بر آن تأثیر زیادی داشتند. لذا در تیپ‌های گیاهان مختلف مقدار یکسانی ندارد. در اقلیم‌های مختلف نیز مقدار LUE از مقادیر مختلفی برخوردار است، عوامل مختلفی مانند دما در مناطق سردسیر و رطوبت در نواحی خشک و نیمه خشک باعث کاهش LUE می‌شوند (۴). بنابراین در مناطق

² Carnegie-Ames-Stanford Approach

³ Normalized Difference Vegetation Index

¹ Net primary production (NPP)

تولیدی با کمک رگرسیون خطی مورد ارزیابی قرار گرفتند.

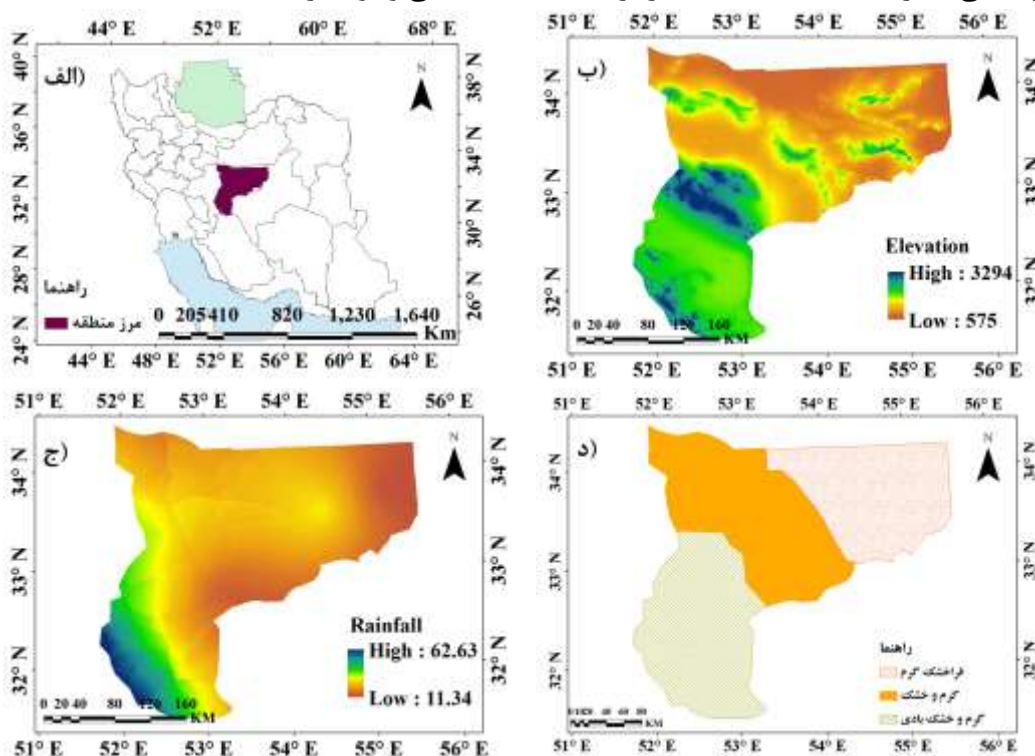
■ مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه با وسعتی برابر با ۶۵/۵ هزار کیلومتر مربع در محدوده عرض جغرافیایی ۳۴° ۳۱' تا ۳۴° ۳۰' و طول جغرافیایی ۴۰° ۵۱' تا ۱۴° ۵۵' واقع شده است. این منطقه شامل اقلیم خشک و فراخشک استان اصفهان در ایران مرکزی قرار دارد (شکل ۱) (۲۹). ارتفاع منطقه بین ۵۷۵ تا ۳۲۹۴ متر از سطح دریا و مقدار بارش متوسط سالانه منطقه ۲۵ میلیمتر که از سمت غرب به شرق به خشکی هوا افزوده می‌شود. بیشترین و کمترین مقدار بارش ثبت شده به ترتیب در ایستگاه‌های هواشناسی شهرضا؛ ۵۷ میلیمتر؛ و خور؛ ۱۱ میلیمتر؛ مشاهده شد. قسمت‌های غربی دارای آب و هوای خشک و شرقی فراخشک می‌باشد. میانگین دمای ماهانه آن ۱۸ درجه سانتی‌گراد، بیشینه مطلق ۴۱/۵ درجه سانتی‌گراد، کمینه مطلق ۱۴/۵- درجه سانتی‌گراد می‌باشد. تپه‌های ماسه‌ای دوره کواترنر همراه با فرسایش بادی در مناطق شرقی مشاهده می‌شود. سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی منطقه در دوران‌های مختلف زمین‌شناسی تشکیل شده‌اند که عمدتاً از نوع سنگ‌های آهکی و بیشتر مربوطه به دوران مزوزوئیک می‌باشد. رسوباتی نظیر شن، سیلت و رس همراه با گچ در خاک نیمه عمیق با بافت سنگین و سبک دیده می‌شود که از نظر طبقه بندی متنوع شامل خاک‌های کلسیک، شنی، رسی، لومی و لیتوسل و در اطراف تالاب گاوخونی همراه با مواد معدنی نظیر نمک وجود دارد. پوشش گیاهی منطقه متنوع، از نظر مرتعی در وضعیت‌های متوسط تا بسیار فقیر و از غرب به شرق از تراکم و تنوع و مرغوبیت پوشش گیاهی کاسته می‌شود. تیپ‌های گیاهی غالب منطقه شامل گونه‌هایی از جنس‌های *Astragalus spp* و *Artemisia sieberi* می‌باشد و در تیپ‌های گیاهی تخریب یافته گونه‌های غیرخوشخوراک نظیر *Gundelia tournefortii* مشاهده می‌گردد و در نواحی بیابانی شرق

خشک نسبت به مرطوب تولیدکنندگی گیاهان کمتر است و الگوی پراکنش نامنظمی دارند (۶). بنابراین انتخاب تصاویر ماهواره‌ای نقش مهمی در مدل‌سازی NPP در این مناطق دارد، طبق تحقیقات انجام شده (۱۵)، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بیشتر و دقت رادیومتریک زیاد، موجب افزایش صحت در مدل‌سازی پوشش گیاهی در بوم‌نظام‌های خشک شد. بررسی پوشش گیاهی در مناطق خشک نشان داد به دلیل کاهش فتوسنتز در مناطق خشک و نیمه خشک، نسبت به مناطق مرطوب، همبستگی بین داده‌های زمینی و ماهواره‌ای نیز مقدار کمتری است (۱۴). در مناطق تخریب یافته نیز به دلیل فرسایش خاک و به دنبال آن کاهش سبزی‌نگی و تراکم گیاهان نسبت به مراتع با وضعیت خوب، مقدار همبستگی بین تولید گیاهان و داده‌های ماهواره‌ای سیر نزول داشته است (۳۴). استان اصفهان به دلیل قرار گرفتن در ایران مرکزی و مجاورت با رشته‌کوه‌های زاگرس دارای اقلیم‌های گوناگون مرطوب-خشک و پوشش گیاهی متنوع می‌باشد که به دلیل وجود عشایر و صنعت دامداری وضعیت‌های مختلف مرتعی نیز دیده می‌شود (۲۶). وجود تنوع پوشش گیاهی، تخریب و بهره‌برداری و نیز دوره‌های خشکسالی باعث شده که مطالعه پوشش گیاهی در این منطقه خشک مرکزی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد (۲۸). با توجه به وسعت مراتع، صعب‌العبور بودن آنها و همچنین سرعت تغییرات پوشش گیاهی، استفاده از روش‌های زمینی به تنهایی قابل استفاده نمی‌باشد و مدل‌سازی پوشش گیاهی در اقلیم‌ها و وضعیت‌های مختلف مراتع نیز نیازمند بررسی می‌باشد. از طرفی استفاده از مدل‌های جهانی تولید خالص اولیه در مناطق خشک و نیمه خشک ایران با محدودیت همراه است (۵۲) و مدل‌سازی پوشش گیاهی با کمک تصاویر مودیس در برخی مناطق خشک نیز دقت مناسبی ندارد (۲۰). لذا هدف اصلی از پژوهش حاضر بررسی مقدار NPP در مراتع استپی استان اصفهان با کمک مدل CASA است که در دو مقیاس تصاویر لندست و مودیس انجام شد. ضمن آنکه شرایط فصلی NPP منطقه هم با تصاویر مودیس تعیین شد و مدل‌های

گیاهی وجود دارد (۲۶)



شکل ۱. الف-موقعیت منطقه مورد مطالعه، ب- نقشه رقومی ارتفاع (DEM)، ج-بارش متوسط سالیانه، د-طبقه بندی اقلیمی (روش رگرسیون چند متغیره (۴۹))

۵۰۰×۵۰۰ مترمربعی با ۸ پلات ۱۰×۱۰ مترمربعی، درصد تاج پوشش گیاهی تعیین و مقدار تولید سال جاری کلیه گونه‌های گیاهی نیز در پلات‌های ۱×۲ مترمربعی قطع و توزین شد (۵۰). به طوری که در گیاهان بوته‌ای چندساله تنها رشد سال جاری و در مورد گندمیان و گیاهان یک‌ساله کل زیتوده قابل برداشت سطح زمین قطع شد.

برای تعیین سطح نمونه برداری با در نظر گرفتن وضوح ماهواره مودیس ۲۵۰×۲۵۰ مترمربع، با رابطه ۱ انجام شد. در این رابطه A سطح نمونه‌برداری، P وضوح پیکسل ماهواره بر حسب متر و L خطای مورد قبول می‌باشد (۳۶).

$$A = P \times (1 + 2L) \quad (1)$$

وضعیت مراتع استان اصفهان با استفاده از روش ۴ فاکتوره تعدیل شده و فرم‌های مربوطه ارزیابی شد (۳۱). در روش ۴ فاکتوره، عوامل خاک (با نمره ۰-۲۰)، درصد پوشش گیاهی (با نمره ۰-۱۰)، ترکیب گیاهی (با نمره

استان درختچه‌هایی نظیر *Halocnemum spp* در ترکیب

داده‌های هواشناسی

در پژوهش حاضر از اطلاعات هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی بارانسنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک متعلق به استان و مناطق همجوار استفاده شد. داده‌های مورد استفاده در مدل CASA شامل دما، بارش و ساعات آفتابی به صورت ماهیانه می باشند. مقدار انرژی خورشیدی با کمک مجموع ساعات آفتابی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و رابطه آنگستروم - پریسکات^۱ محاسبه گشت (۱). برای تهیه نقشه های اقلیمی از روش کریجینگ^۲ استفاده شد.

داده‌های زمینی پوشش گیاهی

برای بررسی مقدار تولید گیاهی، پس از تفکیک مناطق مشابه از لحاظ خاک و پوشش گیاهی، مقدار تولید کلیه گیاهان مرتعی در تیپ‌های گیاهی با وضعیت های مختلف مرتعی در قالب روش ۴ پیکسلی اندازه گیری شد. در هر تیپ گیاهی، تعداد ۳۵ مکان تعیین و در سطح

¹ Angstrom- Prescott
² Universal kriging

موزاییک شدند و محاسبه مقدار شاخص گیاهی NDVI با استفاده از رابطه ۲ صورت گرفت. طوری که ρ_{NIR} مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۵۰-۸۸۰ نانومتر، باند ۵ OIL و ρ_{red} به عنوان مقدار بازتاب در باند قرمز با طول موج ۶۷۰-۶۴۰ نانومتر، باند ۴ OIL است (۴۴). مقدار تولید خالص اولیه سالیانه با استفاده از تصاویر لندست و مودیس مقایسه شد و در مقیاس ماهیانه نیز با تصاویر مودیس بررسی شد.

تولید خالص اولیه توسط مدل CASA

برای اجرای مدل CASA متغیرهای اقلیمی شامل مقدار بارش، دما و تعداد ساعات آفتابی و شاخص گیاهی NDVI و نسبت جذب فعال فتوسنتزی، طول موج ۰.۴ - ۰.۷nm، همچنین نقشه کاربری اراضی با پوشش گیاهی (مقیاس ۲۵۰۰۰۰) مورد استفاده قرار گرفت که با بازدید زمینی نیز صحت سنجی شد، مقدار اندازه پیکسل کلیه نقشه‌های اقلیمی به منظور هماهنگی با تصاویر شاخص گیاهی (NDVI) ۲۵۰×۲۵۰ تعیین شد (۲۳). مقدار تولید خالص اولیه برای تیپ‌های مختلف به طور جداگانه تعیین گردید. رابطه بین NPP برآوردی و اندازه‌گیری شده در مکان‌های مورد بررسی با کمک تحلیل رگرسیون ارزیابی و مقدار ضریب تبیین و معنی داری آن محاسبه شد (شکل ۴). معادله‌های مورد استفاده مدل CASA به شرح رابطه ۱۷-۳ و شکل ۲ می‌باشد (شکل ۲):

$$NPP(x, t) = APAR(x, t) \times \varepsilon(x, t) \quad (3)$$

$$APAR(x, t) = SOL(x, t) \times FPAR(x, t) \times 0.5 \quad (4)$$

در رابطه‌های ۳ و ۴ عامل‌ها عبارتند از: NPP، تولید خالص اولیه، APAR، جذب فعال فتوسنتزی^۳ و ε ، تابش مؤثر نور^۴ است. در این روابط (۵، ۶، ۸) این FPAR، نسبت جذب فعال فتوسنتزی^۵ و SOL نشان دهنده مقدار تابش خورشید است. در رابطه ذیل مقادیر min FPAR و

۰-۱۰) و بنیه و شادابی (با نمره ۱۰-۰) مورد ارزیابی قرار گرفت که مجموع نمرات نشان دهنده وضعیت مرتع منظور شد. نمره بیشتر از ۴۵ درجه وضعیت مرتع عالی، ۳۸-۴۵ وضعیت خوب، ۳۱-۳۷ وضعیت متوسط، ۲۱-۳۰ وضعیت فقیر و کمتر ۲۰ وضعیت خیلی فقیر ارزیابی شد (۱۸). در استان اصفهان وضعیت مراتع خوب تا خیلی فقیر تعیین شد (شکل ۴).

داده‌های ماهواره‌ای

در تحقیق حاضر برای تعیین مقدار تولید خالص اولیه از داده‌های دو ماهواره لندست سنجنده OIL و مودیس، سنجنده Terra، استفاده شد (پایگاه <https://earthexplorer.usgs.gov>) (۵) و مقدار تولید خالص اولیه در دو مقیاس مکانی با کمک تصاویر مودیس با وضوح ۲۵۰×۲۵۰ مترمربع و لندست ۳۰×۳۰ مترمربع برآورد شدند. داده‌های مودیس شامل تولیدات MOD13Q1^۱ بودند که در مقیاس زمانی ۱۶ روزه موجود می‌باشد و با کمک نرم افزارهای سنجنش ازدور پیش پردازش‌ها و کالیبراسیون مربوطه انجام شد (۳۷) و شامل تصحیح هندسی داده‌های MOD13Q1 بود (۲) تعیین مقدار، NDVI در مقیاس ماهانه با کمک میانگین‌گیری تصاویر ۱۶ روزه انجام شد (۳۳) شاخص گیاهی NDVI با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad (2)$$

در این رابطه ρ_{NIR} مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۴۱-۸۶۷ نانومتر، باند ۲ مودیس و ρ_{red} به عنوان مقدار بازتاب در باند قرمز با طول موج ۶۷۰-۶۲۰ نانومتر، باند ۱ مودیس بود (۸). برای محاسبه تولید خالص اولیه با تصاویر لندست ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیحات هندسی و رادیومتریک^۲ (۲۱) و توپوگرافی انجام شد، تصاویر مختلف منطقه در نرم افزارهای سنجنش از دوری یک‌دیگر

³ Absorbed Photosynthetically Active Radiation (APAR)

⁴ Light Utilization Efficiency (LUE)

⁵ Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FPAR)

¹ MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3 Global 250 m SIN Grid V006

^۲ تفریق عارضه سیاه

تابش می‌باشد. مقدار W_{ε} با توجه به قابلیت نگهداری رطوبت در خاک تعیین می‌شود که بر اساس نسبت تبخیر واقعی بر پتانسیل محاسبه شد.

در رابطه‌های (۱۳، ۱۴، ۱۵)، مقدار تبخیر در منطقه، E_p پتانسیل تبخیر منطقه^۲، E_0 پتانسیل تبخیر محلی^۳، R تابش مؤثر خورشید و I شاخص گرمایی سالیانه^۴ می‌باشد (۴۳). بنابراین مقدار تولید خالص اولیه ماهیانه با کمک معادله‌های ۱۷-۳ محاسبه شد و مقادیر سالانه با جمع مقادیر ماهانه به دست آمد.

$$E(x, t) = \frac{\{P \times R(x, t) \times [P^2 + (R(x, t))^2 + P \times R(x, t)]\}}{\{[P + R(x, t)] \times [P^2 + R(x, t)]\}} \quad (13)$$

$$P(x, t) = [E(x, t) + E_0(x, t)] / 2 \quad (14)$$

$$E_0(x, t) = 16 \times \left[\frac{10 \times T(x, t)}{I(x)} \right]^{\alpha(x)} \quad (15)$$

$$(16)$$

$$\alpha(x) = (0.651 \times I(x)^3 - 77.1 \times I(x)^2 + 17920 \times I(x) + 492390) \times 10^{-6}$$

$$I(x) = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{ai}}{5} \right)^{1.514} \quad (17)$$

محاسبه مقدار تابش مؤثر خورشید

تعیین مقدار تابش مؤثر خورشید براساس قانون ترمودینامیک و نسبت بین انرژی خروجی (مقدار NPP) به ورودی (انرژی خورشیدی) به عنوان راندمان مصرف نور انجام می‌شود (رابطه ۱۸).

مقدار LUE به عنوان شیب خط در رابطه رگرسیونی بین APAR (مقدار x) و NPP مشاهداتی (مقدار y) محسوب می‌گردد.

$$LUE = \frac{NPP}{APAR} \quad (18)$$

FPAR max (روابط ۶ و ۸) به ترتیب ۰/۰۰۱ و ۰/۹۵ می‌باشد و مقدار FPAR با توجه به فرمول‌های زیر و α (رابطه ۵)، که براساس میانگین FPAR1 و FPAR2 به مقدار ۰/۴۷۵ تعیین شد، محاسبه گردید (۵۱).

$$FPAR(x, t) = \alpha \times FPAR_{NDVI} + (1 - \alpha) \times FPAR_{SR} \quad (5)$$

$$(6)$$

$$FPAR(x, t) = \frac{(NDVI(x, t) - NDVI_{min}) \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} + FPAR_{min}$$

$$SR = \left(\frac{1 + NDVI(x, t)}{1 - NDVI(x, t)} \right) \quad (7)$$

$$(8)$$

$$FPAR(x, t) = \frac{(SR(x, t) - SR_{min}) \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(SR_{max} - SR_{min})} + FPAR_{min}$$

$$\varepsilon(x, t) = T_{\varepsilon 1}(x, t) \times T_{\varepsilon 2}(x, t) \times W_{\varepsilon}(x, t) \times \varepsilon_{max} \quad (9)$$

$$T_{\varepsilon 1}(x, t) = 0.8 + 0.02 Topt(x) - 0.0005 \times [Topt(x)]^2 \quad (10)$$

$$(11)$$

$$T_{\varepsilon 2}(x, t) = \frac{1.184}{\{1 + \exp[0.2 \times (Topt(x) - 10 - T(x, t))]\}} \times \frac{1}{\{1 + \exp[0.3 \times (-Topt(x) - 10 - T(x, t))]\}}$$

$$W_{\varepsilon}(x, t) = 0.5 + 0.5 \times \left[\frac{E(x, t)}{P(x, t)} \right] \quad (12)$$

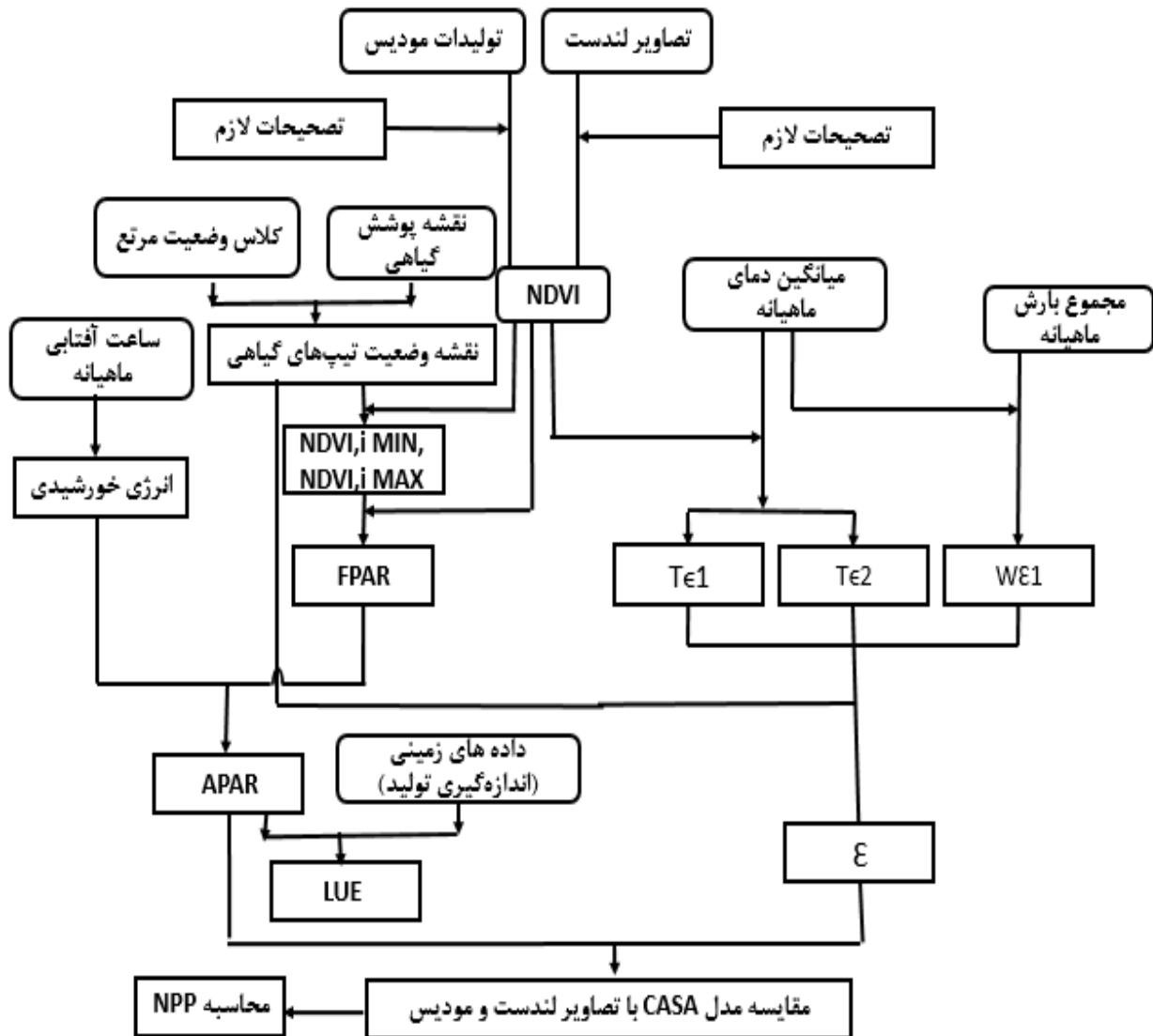
در این رابطه‌های ε_{max} نشان دهنده توان تشعشعی در حداکثر جذب تابش مؤثر است، (ε) توان تشعشعی، مقدار $Topt$ به میانگین دمای ماهیانه در زمانی از سال گفته می‌شود که شاخص NDVI بیشترین مقدار را دارا می‌باشد. $T_{\varepsilon 1}$ مقدار دمایی است که گیاه می‌تواند فعالیت‌های فتوسنتزی خود را انجام دهد و $T_{\varepsilon 2}$ دمایی است که گیاه می‌تواند از نور خورشید استفاده مؤثر داشته باشد، W_{ε} ، رطوبت مؤثر^۱ در استفاده مؤثر از

² Regional potential evapotranspiration

³ Local potential evapotranspiration

⁴ Heat index

¹ Water stress coefficient



شکل ۲. نمودار گردش مراحل کار: $NDVI_{i, MAX}$ و $NDVI_{i, MIN}$ ؛ $T\epsilon 1$ ؛ $T\epsilon 2$ ؛ $W\epsilon 1$ ؛ $FPAR$ ؛ $APAR$ ؛ ϵ ؛ LUE ؛ NPP محاسبه

نتایج

تغییرات فصلی تولید خالص اولیه

پراکنش زمانی و مکانی NPP با کمک تولیدات شاخص NDVI تصاویر مودیس بیان‌گر آن است که در ماه دی و بهمن بیشتر نواحی مورد مطالعه نرخ تولید ناچیز بود اما از اواسط ماه اسفند با گرم شدن هوا تا اواخر ماه تولیدکنندگی گیاهان افزایش می‌یابد و در سطح کل منطقه بین صفر تا $40/33$ گرم / متر مربع در ماه

($gC/m^2/mo$) تغییر می‌کند. از آغاز خرداد به دلیل گرم شدن هوا و عدم بارش که موجب خشک شدن خاک می‌شود، دوره رشد گیاهان بسته به نوع فرم رویشی و ویژگی‌های فیزیولوژی کم کم پایان می‌یابد. به‌طوریکه تیپ‌های یک‌ساله، Annual grasses - Annual forbs، نسبت به بوته‌ای‌ها در یک اقلیم معین و وضعیت مرتعی یکسان دوره فنولوژی کوتاه‌تری دارند (شکل ۳).

^۵ نسبت جذب فعال فتوسنتزی

^۶ جذب فعال فتوسنتزی

^۷ توان مؤثر نور

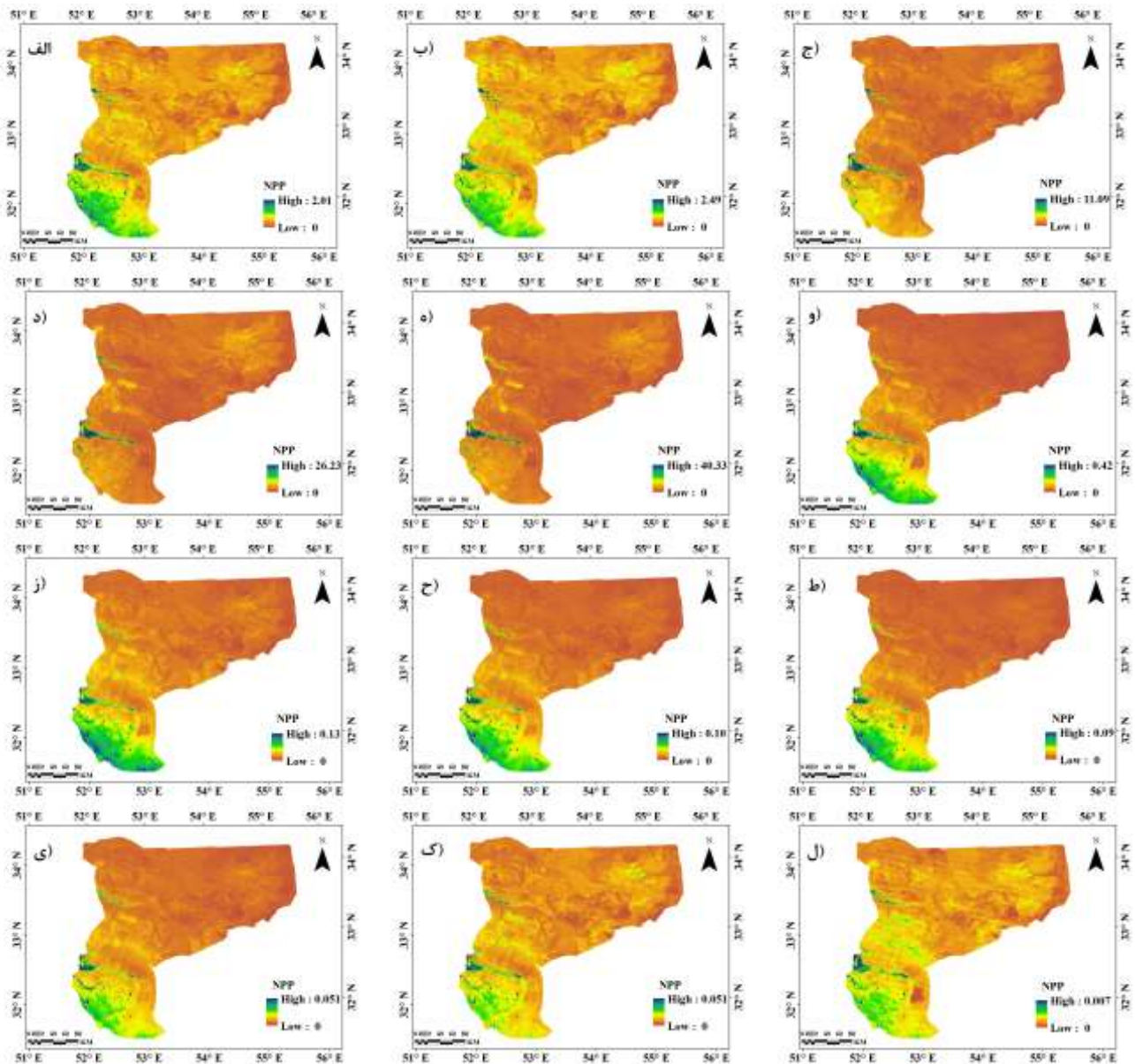
^۸ تابش مؤثر خورشید

^۱ حداقل و حداکثر مقدار NDVI

^۲ حداقل دمای فتوسنتز

^۳ حداقل دمای استفاده از نور

^۴ مقدار رطوبت در دسترس

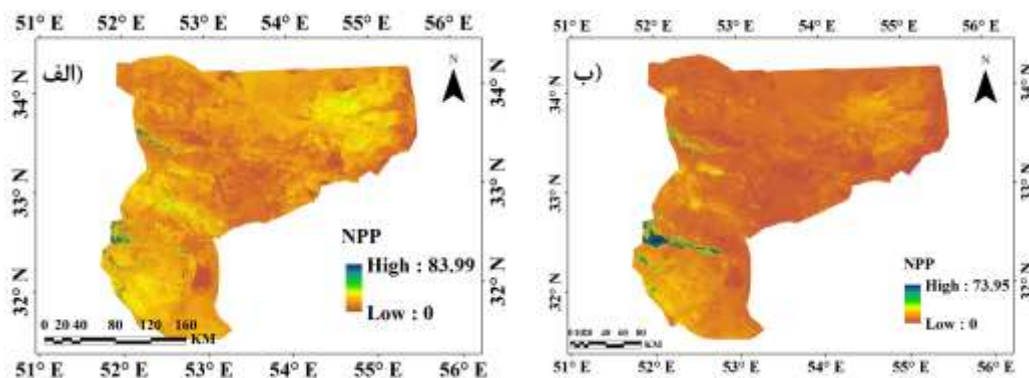


شکل ۳. مقادیر ماهانه تولید خالص اولیه بر حسب $g C/m^2/mo$ در تصاویر مودیس در سال ۲۰۱۶، دی (الف)، بهمن (ب)، اسفند (ج) آوریل (فروردین) (د)، می (اردیبهشت) (ه)، ژوئن (خرداد) (و)، ژوئیه (تیر) (ز)، اوت (مرداد) (ح)، سپتامبر (شهریور) (ط) اکتبر (مهر) (ی)، نوامبر (آبان) (ک)، دسامبر (آذر) (ل)

تیپ گیاهی و وضعیت مرتعی می‌توانند همبستگی‌های متفاوتی با داده‌های زمینی داشته باشند و دامنه تغییرات پراکنش مکانی NPP بر حسب گرم بر متر مربع در سال ($g C/m^2 y^{-1}$)، با بهره‌گیری از تصاویر مودیس، $-۸۳/۹۹ g C/m^2 y^{-1}$ ، و لندست، $-۷۹/۲۴ g C/m^2 y^{-1}$ ، برابر نیست (شکل ۴).

تولید خالص اولیه سالانه با استفاده از تصاویر لندست و مودیس

بررسی مقدار تولید خالص اولیه در استان اصفهان با تصاویر مودیس و لندست نشان داد که مدل CASA در دو مقیاس مورد بررسی، نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. برآورد مقادیر NPP در ۳ اقلیم استان اصفهان نیز بیانگر آن بود که با توجه به شرایط اقلیمی، نوع



شکل ۴. مقدار NPP (C/m² y⁻¹) بر پایه مقیاس تصاویر لندست (الف) و مودیس (ب)

کمترین مقدار را ((0.001 g C (MJ)⁻¹, 0.85 g C/m²y⁻¹)) نشان دادند (جدول ۱).

در اقلیم گرم و خشک قسمت‌های جنوب شرقی، به علت وجود باد همبستگی کمتری نسبت به مناطق مرطوب، نیمه خشک میان داده‌های زمینی و مدل CASA در دو مقیاس مورد مطالعه دیده شد. خاک منطقه در معرض فرسایش بادی و الگوی پراکنش گیاهان غیریکنواخت بود و مقدار همبستگی بین داده‌های زمینی در دو مقیاس مورد مطالعه در مناطق مرتعی با وضعیت متوسط بیشتر و در تیپ *Artemisia sieberi - Scariola orientalis*، لندست (۷۲/۵٪، مودیس ۵۸٪) و کمترین در No-Co، با وضعیت مرتعی خیلی فقیر، لندست ۲۵٪، مودیس ۱۹٪، با وضعیت مرتعی خیلی فقیر مشاهده شد. در تیپ گیاهی *Se.ro* با وضعیت یکنواخت‌تر و وضعیت خیلی فقیر مقدار همبستگی نسبتاً بیشتر، لندست ۴۱٪، مودیس ۳۵٪، بود و اختلاف بیشتری میان همبستگی بین دو مقیاس مورد مطالعه نسبت به منطقه گرم و خشک مشاهده شد. در این منطقه، به دلیل وجود فرسایش بادی مقدار NPP و LUE کاهش داشت به طوری که کمترین مقدار در تیپ گیاهی *Annual grasses - Annual forbs*، (0.0001 g C (MJ)⁻¹, 0.35 gC/m²y⁻¹) و بیشترین در *Artemisia sieberi-Anabasis aphylla* با وضعیت مرتعی متوسط ((0.01 g C (MJ)⁻¹, 6.3 gC/m²y⁻¹)) مشاهده شد (جدول ۲).

در منطقه فراخشک و گرم در نقاط شرقی مقدار بارش بسیار تقلیل یافته و به دلیل خشکی مقدار شادابی گیاهان از تمام نواحی استان کمتر است و الگوی پراکنش گیاهان بسیار غیر یک نواخت و در بسیار از نواحی به حالت

بررسی مقدار تولید خالص اولیه و LUE

در مناطق خشک و فراخشک استان اصفهان، نقشه NPP مدل‌سازی شده با تصاویر لندست نسبت به مودیس همبستگی بیشتری با داده‌های زمینی داشت، لذا از نقشه مذکور برای بررسی مقدار NPP و LUE استفاده شد. در اقلیم گرم و خشک که نواحی شمالی تا جنوب شرقی استان را شامل می‌شوند مقدار بارش کمتری نسبت به مناطق نیمه خشک و مرطوب و نیمه مرطوب دریافت می‌کنند و الگوی پراکنش گیاهان از یکنواختی بسیار کمتری برخوردار بود. در این منطقه همبستگی بسیار کمتری میان داده‌های زمینی و مدل CASA نسبت به مناطق مرطوب و نیمه خشک مشاهده شد. در تیپ گیاهی *Artemisia sieberi - Zygophyllum Spp* وضعیت مرتعی متوسط بیشترین همبستگی لندست ۶۵٪، مودیس ۵۵٪ را با داده‌های زمینی داشتند و اختلاف همبستگی بین دو مقیاس مورد مطالعه نیز نسبت به مناطق مرطوب و نیمه خشک بیشتر بود. در این ناحیه کمترین همبستگی در تیپ گیاهی *Artemisia sieberi - Scariola orientalis*، لندست ۲۶/۵٪، مودیس ۱۸٪، با وضعیت خیلی فقیر دیده شد. اما در تیپ‌های گیاهی یکنواخت‌تر، *Se.ro*، با وضعیت مرتعی خیلی فقیر مقدار همبستگی بهتری، لندست ۳۴٪، مودیس ۳۰٪، وجود داشت. تیپ گیاهی *Ar.si - Zy* با فرم رویشی بوته-درختچه‌ای و وضعیت مرتعی متوسط بیشترین مقدار NPP و LUE ((0.011 g C (MJ)⁻¹, 9.35 gC/m² y⁻¹)) و تیپ *Annual grasses - Annual forbs* با فرم رویشی یک‌ساله

افزایش خشکی هوا و عدم نزولات آسمانی در بیشتر مناطق خاک بدون پوشش دیده می‌شود و در بین تیپ‌های گیاهی *Artemisia sieberi - Zygophyllum Spp* با وضعیت مرتعی متوسط بیشترین ($4 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$) و کمترین ($0.0002 \text{ g C (MJ)}^{-1}$) مقادیر NPP و LUE موجود بود (جدول ۳).

کپه‌ای دیده می‌شود و مقدار همبستگی بین داده‌های زمینی و دو مقیاس مورد بررسی نسبت به سایر نقاط بسیار کمتر می‌باشد. تیپ گیاهی *Artemisia sieberi - Zygophyllum Spp* با وضعیت مرتعی متوسط بیشترین همبستگی، لندست ۵۱٪، مودیس ۳۹٪، و کمترین در *Annual grasses - Annual forbs*، لندست ۱۳٪، مودیس ۱۰٪، مشاهده گردید. در این منطقه به دلیل

جدول ۱. مقدار همبستگی (معنی‌داری) بین داده‌های زمینی و تصاویر لندست و مقادیر $\text{LUE (g C (MJ)}^{-1})$ و $\text{NPP (g C/m}^2 \text{ y}^{-1})$ در منطقه گرم و خشک

تیپ گیاهی	وضعیت مرتعی	LUE	NPP	لندست (R^2)	مودیس (R^2)
<i>Artemisia sieberi - Zygophyllum Spp</i>	متوسط	۰/۰۱۱	۹/۳۵	۶۵(۰)	۵۵(۰)
<i>Artemisia sieberi</i>	فقیر	۰/۰۰۹	۷/۶۵	۵۸/۵(۰)	۵۰(۰)
<i>Artemisia sieberi - Cornulaca monochantha</i>	فقیر	۰/۰۱	۸/۵	۵۳/۸۲(۰)	۴۶(۰)
<i>Artemisia sieberi - Fortuynia Spp</i>	فقیر	۰/۰۰۶	۵/۱	۵۶/۱۶(۰)	۴۸(۰)
<i>Artemisia sieberi - Pteropyrum Spp</i>	فقیر	۰/۰۰۸	۶/۸	۴۹/۱۴(۰)	۴۲(۰)
<i>Artemisia sieberi - anabasis aphylla</i>	فقیر	۰/۰۰۷	۵/۹۵	۴۲/۱۲(۰)	۴۶(۰)
<i>Artemisia sieberi - Astragalus Spp</i>	فقیر	۰/۰۱	۸/۵	۴۶/۸(۰)	۴۰(۰)
<i>Cornulaca monochantha - Annual grasses</i>	فقیر	۰/۰۰۲	۱/۷	۳۹/۷۸(۰)	۳۴(۰/۰۰۱)
<i>Cornulaca monochantha - Seidlitzia rosmarinus</i>	فقیر	۰/۰۰۵	۴/۲۵	۳۵/۱(۰)	۳۰(۰/۰۰۲)
<i>Hammada - Polygonum Spp</i>	فقیر	۰/۰۱	۸/۵	۲۹/۲۵(۰/۰۰۲)	۲۵(۰/۰۰۳)
<i>Salsola orientalis - Cornulaca monochantha</i>	فقیر	۰/۰۰۴	۳/۴	۳۲/۷۶(۰/۰۰۱)	۲۸(۰/۰۰۲)
<i>Seidlitzia rosmarinus</i>	فقیر	۰/۰۰۳	۲/۵۵	۴۰(۰)	۳۶(۰)
Annual grasses - Annual forbs	خیلی فقیر	۰/۰۰۱	۰/۸۵	۴۰/۹۶(۰)	۳۲(۰/۰۰۱)
<i>Artemisia sieberi - Haloxylon Spp</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۲۴	۲/۰۴	۳۷/۱۲(۰)	۲۹(۰/۰۰۲)
<i>Artemisia sieberi - Salsola orientalis</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۸	۶/۸	۳۲/۲۸(۰/۰۰۱)	۲۶(۰/۰۰۳)
<i>Artemisia sieberi - Scariola Spp</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۳	۲/۵۵	۲۶/۶(۰/۰۰۳)	۱۸(۰/۰۱۵)
<i>Artemisia sieberi - Seidlitzia rosmarinus</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۳۵	۲/۹۷	۳۲/۷۲(۰/۰۰۱)	۲۴(۰/۰۰۳)
<i>Cornulaca monochantha - Artemisia sieberi</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۴	۳/۴	۳۴/۵۶(۰/۰۰۱)	۲۷(۰/۰۰۳)
<i>Cornulaca monochantha - Salsola orientalis</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۵	۴/۲۵	۳۰/۷۲(۰/۰۰۲)	۲۴(۰/۰۰۳)
<i>Seidlitzia rosmarinus</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۴۲	۳/۵۷	۳۴(۰/۰۰۱)	۳۰(۰/۰۰۲)

جدول ۲. مقدار همبستگی (معنی‌داری) بین داده‌های زمینی و تصاویر لندست و مقادیر $\text{LUE (g C (MJ)}^{-1})$ و $\text{NPP (g C/m}^2 \text{ y}^{-1})$

در منطقه گرم و خشک با رژیم بادی

تیپ گیاهی	وضعیت مرتعی	LUE	NPP	لندست (R ²)	مودیس (R ²)
<i>Artemisia sieberi-Anvillea</i>	متوسط	۰/۰۱	۶/۳	۶۸/۷۵(۰)	۵۵(۰)
<i>Artemisia sieberi – Scariola orientalis</i>	متوسط	۰/۰۰۹	۵/۶۷	۷۲/۵(۰)	۵۸(۰)
<i>Convolvulus - Astragalus</i>	متوسط	۰/۰۰۹۵	۵/۹۸۵	۶۶/۲۵(۰)	۵۳(۰)
<i>Anabasis aphylla - Artemisia sieberi</i>	فقیر	۰/۰۰۸۴	۵/۲۹۲	۶۲/۴(۰)	۴۸(۰)
<i>Artemisia sieberi</i>	فقیر	۰/۰۰۹۶	۶/۰۴۸	۵۸(۰)	۵۲(۰)
<i>Artemisia sieberi - Fortuynia Spp</i>	فقیر	۰/۰۰۹	۵/۶۷	۵۵/۹(۰)	۴۳(۰)
<i>Artemisia sieberi - Salsola orientalis</i>	فقیر	۰/۰۰۹۷	۶/۴۲۶	۵۳(۰)	۴۱(۰)
<i>Artemisia sieberi-Anabasis aphylla</i>	فقیر	۰/۰۰۹۶	۶/۰۴۸	۵۰/۷(۰)	۳۹(۰)
<i>Artemisia sieberi-Astragalus Spp</i>	فقیر	۰/۰۰۹۲	۷/۹۳۸	۵۸/۵(۰)	۴۵(۰)
<i>Cornulaca monocantha - Annual grasses</i>	فقیر	۰/۰۰۵۴	۳/۴۰۲	۴۱(۰)	۳۲(۰/۰۰۱)
<i>Hertia spp - Noaea mucronata</i>	فقیر	۰/۰۰۸۴	۵/۲۹۲	۳۷/۷(۰)	۲۹(۰/۰۰۲)
<i>Scariola orientalis - Astragalus spp</i>	فقیر	۰/۰۰۹۳	۵/۸۵۹	۴۵ (۰)	۳۵(۰/۰۰۱)
<i>Anabasis aphylla</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۹۴	۶/۸۰۴	۴۳/۴(۰)	۳۲(۰/۰۰۲)
<i>Anabasis aphylla - Peganum harmala</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۸۹	۵/۶۰۷	۳۷/۸(۰)	۲۷(۰/۰۰۲)
Annual grasses - Annual forbs	خیلی فقیر	۰/۰۰۰۶	۰/۳۷۸	۲۹/۵(۰/۰۰۲)	۲۱(۰/۰۰۹)
<i>Artemisia sieberi - Salsola orientalis</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۷۲	۴/۵۳۶	۴۷(۰)	۳۵(۰/۰۰۱)
<i>Artemisia sieberi - Scariola orientalis</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۶۶	۴/۱۵۸	۳۹(۰)	۲۸(۰/۰۰۲)
<i>Cornulaca monocantha - Artemisia sieberi</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۰۶	۳/۷۸	۳۲(۰/۰۰۱)	۲۳(۰/۰۰۶)
<i>Gundelia tournefortii - Cousinia spp</i>	خیلی فقیر	۰/۰۱۰۸	۶/۸۰۴	۳۳(۰/۰۰۱)	۲۴(۰/۰۰۴)
<i>Launea nudicaulis - Noaea mucronata</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۲۴	۱/۵۱۲	۳۶(۰)	۲۶(۰/۰۰۳)
Noaea mucronata – Cousinia spp	خیلی فقیر	۰/۰۰۴۲	۲/۶۴۶	۲۵(۰/۰۰۳)	۱۹(۰/۰۱۲)
<i>Salsola orientalis – Artemisia sieberi</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۶۲	۴/۱۵۸	۳۲(۰/۰۰۱)	۲۳(۰/۰۰۶)
<i>Salsola orientalis</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۴۸	۳/۰۲۴	۳۳(۰/۰۰۱)	۳۰(۰/۰۰۲)
<i>Scariola orientalis- Euphorbia spp</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۳۶	۲/۲۶۸	۲۷(۰/۰۰۲)	۲۸(۰/۰۰۲)
<i>Seidlitzia rosmarinus</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۷۸	۴/۹۱۴	۴۱(۰)	۳۵(۰/۰۰۱)
<i>Seidlitzia rosmarinus - Phrgmites Spp</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۵۴	۳/۴۰۲	۳۴(۰/۰۰۱)	۲۴(۰/۰۰۴)

جدول ۳. مقدار همبستگی (معنی‌داری) بین داده‌های زمینی و تصاویر لندست و مقادیر LUE (g C (MJ)⁻¹) و NPP(g C/m² y⁻¹)

در منطقه فراخشک و گرم

تیپ گیاهی	وضعیت مرتعی	LUE	NPP	لندست (R ²)	مودیس (R ²)
<i>Artemisia sieberi</i> - <i>Zygophyllum</i>	متوسط	۰/۰۰۴	۴	۵۱(۰)	۳۹(۰)
<i>Artemisia sieberi</i>	فقیر	۰/۰۰۳۸	۳/۸	۵۰(۰)	۳۷(۰)
<i>Artemisia sieberi</i> - <i>Cornulaca monocantha</i>	فقیر	۰/۰۰۲	۲	۳۲(۰/۰۰۲)	۲۴(۰/۰۰۴)
<i>Artemisia sieberi</i> - <i>Hammada</i>	فقیر	۰/۰۰۲۶	۲/۶	۴۰(۰)	۲۹(۰/۰۰۱)
<i>Artemisia sieberi</i> - <i>Zygophyllum</i>	فقیر	۰/۰۰۳۸	۳/۸	۴۳(۰)	۳۱(۰/۰۰۱)
<i>Cornulaca monocantha</i> - <i>Seidlitzia rosmarinus</i>	فقیر	۰/۰۰۲	۲	۳۰(۰/۰۰۲)	۲۲(۰/۰۰۷)
<i>Hammada</i> - <i>Artemisia sieberi</i>	فقیر	۰/۰۰۳۶	۳/۶	۳۶(۰)	۲۶(۰/۰۰۳)
<i>Salsola orientalis</i> - <i>Artemisia sieberi</i>	فقیر	۰/۰۰۳	۳	۳۳(۰/۰۰۱)	۲۴(۰/۰۰۴)
<i>Seidlitzia rosmarinus</i> - <i>Artemisia sieberi</i>	فقیر	۰/۰۰۲۸	۲/۸	۲۸(۰/۰۰۲)	۲۰(۰/۰۱۱)
Annual grasses - Annual forbs	خیلی فقیر	۰/۰۰۰۲	۰/۲	۱۳(۰/۰۴۴)	۱۰(۰/۰۷۵)
<i>Artemisia sieberi</i> - <i>Salsola orientalis</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۲۴	۲/۴	۴۰(۰)	۱۵(۰/۰۲۷)
<i>Seidlitzia rosmarinus</i>	خیلی فقیر	۰/۰۰۳۲	۳/۲	۲۲(۰/۰۰۹)	۱۸(۰/۰۱۵)

■ بحث و نتیجه‌گیری

علی‌رغم اینکه تولید خالص اولیه در سطح منطقه‌ای با آب و هوایی خشک در ایران مرکزی با داده‌های سنجنده مودیس مانند MOD17A3H قابل ارزیابی نیست، نتایج پژوهش حاضر نشان داد با کمک تصاویر مودیس و لندست می‌توان این ویژگی را مدل‌سازی کرد (جداول ۱-۳). چون در این پژوهش مدل CASA و استفاده از داده‌های زمینی مبنای برآورد تولید خالص اولیه بود، طبق نظر دیگر محققان (۳۲) نیز داده‌های زمینی مناسب در هر تیپ گیاهی را می‌توان دلیل صحت مدل‌سازی در مطالعه حاضر دانست.

طبق بررسی ماهانه تولید خالص اولیه با تصاویر مودیس، رشد گیاهان با گرم شدن هوا در آغاز بهار شروع و به دلیل خشکی هوا، تا ماه خرداد به شدت کاهش و متوقف می‌شود (شکل ۳).

طبق پژوهش‌های (۲۰)، محدودیت دمایی در فصول سرد و خشکی در اواخر خشکی از عوامل عدم تولیدکنندگی در گیاهان منطقه مورد مطالعه بود بنابراین دوره فنولوژی گیاهان تنها در چند ماه از سال وجود داشت (۴۵) و این امر از دلایل کاهش مقدار تولید خالص اولیه و تثبیت کربن در مناطق خشک و فراخشک استان اصفهان نسبت به مناطق مرطوب و خزری ذکر شد. لذا در این منطقه مقدار LUE نیز کم

است که در سطح محدوده مورد مطالعه نیز بسته به شرایط آب و هوایی مقدار NPP و LUE متفاوت بود. نوع تصویر ماهواره ای و دقت داده‌های زمینی از عوامل مهم بر مقدار همبستگی داده‌های زمینی و ماهواره‌ای است (جداول ۱-۳ و شکل ۴) که طبق دیگر نتایج نیز (۵۵) مقدار FPAR که با کمک NDVI محاسبه شد بر مدل تاثیر گذاشته و نشان دهنده وضعیت پوشش گیاهی است و مقادیر آن به دقت مکانی و رادیومتریک تصاویر ماهواره‌ای وابسته است (۳۵) در استان اصفهان تولید خالص اولیه با کمک تصاویر لندست و مودیس نتایج متفاوتی را نشان داد که مقدار اختلاف آنها به شرایط منطقه، نوع تیپ گیاهی و نوع اقلیم منطقه ارتباط داشت (جداول ۱-۳ و شکل ۴).

بررسی تولید خالص اولیه در سایر مناطق نیز نشان دهنده رطوبت بیشتر خاک در مناطق مرطوب نسبت به خشک است که موجب افزایش گیاهان و بازتاب آنها در باند مادون قرمز می‌شد (۴۷)؛ ضمن آنکه در درصد پوشش گیاهی بیشتر، تأثیر بازتاب خاک کمتر می‌شود. لذا در این مناطق تولید گیاهان همبستگی بیشتری با شاخص گیاهی NDVI و نیز مدل CASA نسبت به مناطق خشک و فرا خشک داشتند (۴۸). علاوه بر این در مناطق مرطوب به دلیل تراکم بیشتر پوشش گیاهی

محاسبه شده با تصاویر لندست نسبت به داده‌های مودیس همبستگی بسیار بهتری نشان دادند (جدول ۱-۳ و شکل ۴).

در سایر مناطق استان نیز مدل CASA که با کمک داده‌های لندست تهیه شده بود، همبستگی بیشتری با داده‌های زمینی داشتند. تصاویر لندست کارایی بسیار مناسبی در بررسی و تفکیک پوشش گیاهی مناطق ناهمگن دارد. در بررسی‌های انجام شده در سطح جهانی نیز به دقت بیشتر رادیومتریک تصاویر لندست ۵ (TM) در مقایسه با مودیس در مطالعه تولید گیاهان اشاره شد (۲۴) ضمن آنکه تصاویر لندست ۸ به دلیل قدرت تفکیک طیفی نسبت به لندست ۵ در تفکیک مناطق مختلف و نیز بررسی پوشش گیاهی دارای نتایج دقیق‌تری بوده است (۴۱). اما در مناطق وسیع استفاده از تصاویر لندست با مشکلاتی نظیر عدم تطابق زمانی تصاویر مورد استفاده همراه می‌باشد. لذا در مناطق وسیع و یکنواخت بهره‌گیری از تصاویر بزرگ مانند مودیس و در مناطق تخریب یافته استفاده از لایه بندی و تصاویر لندست توصیه می‌گردد.

به طور کلی در مدل CASA در بین عوامل اقلیمی انرژی خورشیدی بیشترین سهم را در تخمین مقدار NPP دارد. در حالی که در مناطق خشک و نیمه خشک مقدار بارش به عنوان عامل اصلی محدود کننده رشد محسوب می‌شود و مقدار محدوده بسیار کمی (۱-۰) به این فاکتور اختصاص داده شده است. این امر موجب می‌شود مدل مذکور در مناطق فراخشک و خشک نسبت به مرطوب و نیمه مرطوب کارایی بسیار کمتری نشان دهد و در این مناطق گیاهان نسبت به تغییرات اقلیمی سازگار شده‌اند و رطوبت لازم را از اعماق خاک تامین می‌کنند. بنابراین مدل CASA در مناطق خشک و نیمه خشک نیازمند اصلاح است.

استفاده از مدل CASA می‌تواند نقش مهمی در تعیین توان تولید سالانه گیاهان، تهیه نقشه ظرفیت چرا و بررسی روند تخریب مراتع داشته باشد و در سازمان‌های مرتبط با منابع طبیعی، مراکز تحقیقاتی و سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور مورد استفاده قرار گیرد.

الگوی پراکنش گیاهان، همگنی بیشتری بودند ضمن آنکه ترکیب پوشش گیاهی از یکنواختی بیشتری برخوردار است.

به طور کلی در مناطق نیمه خشک و خشک الگوی پراکنش گیاهی به دلیل وضعیت رطوبت خاک تا حدی به صورت کپه‌ای و نامنظم هستند. در مناطق تخریب یافته و بهره برداری شده نیز الگوی پراکنش گیاهی نامنظم بوده و خاک منطقه نیز در برخی مناطق فرسایش یافته اند و به دلیل چرای گیاهان ترکیب گیاهان نیز تغییر یافتند.

طبق نتایج به دست آمده و دیگر پژوهش‌ها در این مناطق نیز نسبت به مناطق مرتعی با وضعیت بهتر همبستگی کمتری با مدل‌های تولید و شاخص‌های گیاهی دیده شد (جدول ۱-۳) (۴۲) در تیپ‌های گیاهی که دارای یک گونه غالب بوده و پوشش یکنواخت‌تری داشتند، همبستگی داده‌های زمینی با مدل CASA بیشتر است که دلیل آن را می‌توان اختلاف ویژگی‌های طیفی گیاهان مختلف عنوان کرد (۱۹). بهره‌برداری زیاد از مرتع موجب کاهش برگ سبز گیاهان و مقدار شاخص سطح برگ در مراتع فقیر و خیلی فقیر می‌شود و این موجب شد تا بازتاب طیفی دیگر قسمت‌های گیاه مانند ساقه بر طیف گیاهان تأثیر بیشتری بگذارد (۳۹).

در مناطق خشک استان اصفهان مقدار LUE نسبت به مناطق مرطوب بسیار اندک است که می‌توان دلیل آن را کاهش رطوبت خاک عنوان کرد و این از مهمترین عوامل کم شدن رشد گیاهان در مناطق خشک است. در مناطق فراخشک این مقدار بسیار کمتر شد و موجب کم شدن مقدار LUE شد که این نتیجه توسط محققان (۲۷) مورد تایید قرار گرفت. به-جز مقدار وضوح مکانی، مقیاس طیفی نیز از جمله مواردی است که در دقت بررسی‌های سنجش از دوری و شاخص‌های گیاهی محاسبه شده نقش مهمی را ایفا می‌کند و با توجه به خصوصیات طیفی گیاهان دقت تصاویر متفاوت می‌باشد. در تیپ‌های گیاهی اقلیم فراخشک نیز در شرق منطقه به دلیل ضعیف‌تر بودن طیف گیاهان تصاویر مقدار همبستگی بین مدل

■ سیاست‌گذاری

از زحمتهای اداره کل منابع طبیعی استان

اصفهان، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان و همچنین خانم لیلا یغمایی که در اجرای عملیات میدانی همکاری داشته اند، کمال تشکر و قدردانی را می‌نماییم.

■ References

1. Alamdari, P., O. Nematollahi, & A. A. Alemrajabi. (2013). Solar energy potentials in Iran: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21, 778-788.
2. Antunes, J. F. G., J. C. D. M. Esquerdo, & R. A. C. Lamparelli. (2011). Monitoring the temporal dynamics of four vegetation cover types from the Pantanal using the wavelet transform applied to a time-series of EVI/MODIS data. *Embrapa Informática Agropecuária-Artigo em periódico indexado (ALICE)*, 36, 173-185.
3. Bajgiran, P. R., A. A. Darvishsefat, A. Khalili, & M. F. Makhdoum. (2008). Using AVHRR-based vegetation indices for drought monitoring in the Northwest of Iran. *Arid Environments*, 72, 1086-1096.
4. Bao, G., Y. Bao, Z. Qin, X. Xin, Y. Bao, S. Bayarsaikan, Y. Zhou, & B. Chuntai. (2016). Modeling net primary productivity of terrestrial ecosystems in the semi-arid climate of the Mongolian Plateau using LSWI-based CASA ecosystem model. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 46, 84-93.
5. Behnke, J., & C. Doescher. (2015). Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC) 25th Anniversary Recognition.
6. Boulain, N., B. Cappelaere, L. Séguis, J. Gignoux, & C. Peugeot. (2006). Hydrologic and land use impacts on vegetation growth and NPP at the watershed scale in a semi-arid environment. *Regional Environmental Change*, 6, 147-156.
7. Bradford, J., J. Hicke, & W. Lauenroth. (2005). The relative importance of light-use efficiency modifications from environmental conditions and cultivation for estimation of large-scale net primary productivity. *Remote Sensing of Environment*, 96, 246-255.
8. Carlson, T. N., & D. A. Ripley. (1997). On the relation between NDVI, fractional vegetation cover, and leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 62, 241-252.
9. Chen, J., J. Liu, J. Cihlar, & M. Goulden. (1999). Daily canopy photosynthesis model through temporal and spatial scaling for remote sensing applications. *Ecological Modelling*, 124, 99-119.
10. Costanza, R. (2012). Ecosystem health and ecological engineering. *Ecological Engineering*, 45, 24-29.
11. Cramer, W., A. Bondeau, F. I. Woodward, I. C. Prentice, R. A. Betts, V. Brovkin, P. M. Cox, V. Fisher, J. A. Foley, & A. D. Friend. (2001). Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. *Global change biology*, 7, 357-373.
12. Darvish sefat, A., & A. Zare. (1998). Assessment of Availability of satellite data for mapping of vegetation in arid and semi-arid regions. *Natural Resources of Iran*, 50, 47-52 (In Farsi).
13. Dieguez, H., & J. M. Paruelo. (2017). Disentangling the signal of climatic fluctuations from land use: changes in ecosystem functioning in South American protected areas (1982-2012). *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 3, 177-189.

14. Diouf, A., & E. Lambin. (2001). Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Arid Environments*, 48, 129-148.
15. Fensholt, R., & I. Sandholt. (2005). Evaluation of MODIS and NOAA AVHRR vegetation indices with in situ measurements in a semi-arid environment. *Remote Sensing*, 26, 2561-2594.
16. Field, C. B., J. T. Randerson, & C. M. Malmström. (1995). Global net primary production: combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 51, 74-88.
17. Fischer, D., S. Chapman, A. T. Classen, C. Gehring, K. Grady, J. Schweitzer, & T. Whitham. (2014). Plant genetic effects on soils under climate change. *Plant and Soil*, 379, 1-19.
18. Friedel, M. (1991). Range condition assessment and the concept of thresholds: a viewpoint. *Range management*, 44, 422-426.
19. Friedl, M., F. Davis, J. Michaelsen, & M. Moritz. (1995). Scaling and uncertainty in the relationship between the NDVI and land surface biophysical variables: An analysis using a scene simulation model and data from FIFE. *Remote Sensing of Environment*, 54, 233-246.
20. Gao, F., T. Hilker, X. Zhu, M. Anderson, J. Masek, P. Wang, & Y. Yang. (2015). Fusing Landsat and MODIS data for vegetation monitoring. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine*, 3, 47-60.
21. Hansen, C. H., G. P. Williams, & Z. Adjei. (2015). Long-Term Application of Remote Sensing Chlorophyll Detection Models: Jordanelle Reservoir Case Study. *Natural Resources*, 6, 123.
22. He, Y., S. Piao, X. Li, A. Chen, & D. Qin. (2018). Global patterns of vegetation carbon use efficiency and their climate drivers deduced from MODIS satellite data and process-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*, 256, 150-158.
23. Hua, L., H. Liu, X. Zhang, Y. Zheng, W. Man, & K. Yin. (2014). Estimation Terrestrial Net Primary Productivity Based on CASA Model: a Case Study in Minnan Urban Agglomeration, China. Page 012153 in IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing.
24. Huete, A., H. Liu, K. Batchily, & W. Van Leeuwen. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59, 440-451.
25. Imhoff, M. L., L. Bounoua, T. Ricketts, C. Loucks, R. Harriss, & W. T. Lawrence. (2004). Global patterns in human consumption of net primary production. *Nature*, 429, 870.
26. Jafari, R., H. Bashari, & M. Tarkesh. (2016). Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands. *Arid land research and management*, 31, 94-110.
27. Jha, S., & R. Srivastava. (2018). Impact of drought on vegetation carbon storage in arid and semi-arid regions. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 11, 22-29.
28. Karami, A., K. Sefidi, & J. Feghhi. (2014). Structure and spatial pattern of land uses patches in the Zagros Mountains region in the west of Iran. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 15.
29. Kay, P. A. (1979). Multivariate statistical estimates of Holocene vegetation and climate change, forest-tundra transition zone, NWT, Canada. *Quaternary Research*, 11, 125-140.
30. Khajeddin, S. J. (1995). *A survey of the plant communities of the Jazmorian, Iran, using Landsat MSS data*. University of Reading.
31. Khaleghi, M. R., & S. Aeinebeygi. (2016). An Assessment of Biennial Enclosure Effects on Range Production, Condition and Trend (Case Study: Taftazan Rangeland, Shirvan). *Forest, Soil and Erosion (IJFSE)*, 6, 33-40.

32. Kicklighter, D. W., A. Bondeau, A. L. Schloss, J. Kaduk, A. D. McGuire, T. Intercomparison, & P. O. T. P. N. Model. (1999). Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): global pattern and differentiation by major biomes. *Global change biology*, 5, 16-24.
33. Li, X., G. Li, H. Wang, H. Wang, & J. Yu. (2015). Influence of meadow changes on net primary productivity: a case study in a typical steppe area of XilinGol of Inner Mongolia in China. *Geosciences Journal*, 19, 561.
34. Liu, S., N. Bliss, E. Sundquist, & T. G. Huntington. (2003). Modeling carbon dynamics in vegetation and soil under the impact of soil erosion and deposition. *Global Biogeochemical Cycles*, 17, 1-24.
35. Liu, Y., M. J. Hill, X. Zhang, Z. Wang, A. D. Richardson, K. Hufkens, G. Filippa, D. D. Baldocchi, S. Ma, & J. Verfaillie. (2017). Using data from Landsat, MODIS, VIIRS and PhenoCams to monitor the phenology of California oak/grass savanna and open grassland across spatial scales. *Agricultural and Forest Meteorology*, 237, 311-325.
36. McCoy, R. M. (2005). *Field Methods in Remote Sensing*. Guilford New York.
37. Pack, S. M. (2009). A MODIS Imagery Toolkit for ArcGIS Explorer.
38. Pan, Y., R. Birdsey, J. Hom, K. McCullough, & K. Clark. (2006). Improved estimates of net primary productivity from MODIS satellite data at regional and local scales. *Ecological Applications*, 16, 125-132.
39. Parker, M., S. Hendricks, H. Borthwick, & F. Went. (1949). Spectral sensitivities for leaf and stem growth of etiolated pea seedlings and their similarity to action spectra for photoperiodism. *American Journal of Botany*, 194-204.
40. Peng, J., H. Shen, W. Wu, Y. Liu, & Y. Wang. (2016). Net primary productivity (NPP) dynamics and associated urbanization driving forces in metropolitan areas: A case study in Beijing City, China. *Landscape ecology*, 31, 1077-1092.
41. Poursanidis, D., N. Chrysoulakis, & Z. Mitraka. (2015). Landsat 8 vs. Landsat 5: A comparison based on urban and peri-urban land cover mapping. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 35, 259-269.
42. Rocchini, D., & A. Vannini. (2010). What is up? Testing spectral heterogeneity versus NDVI relationship using quantile regression. *Remote Sensing*, 31, 2745-2756.
43. Rohli, R. V., & A. J. Vega. (2013). *Climatology*. Jones & Bartlett Publishers.
44. Roy, D. P., M. Wulder, T. R. Loveland, C. Woodcock, R. Allen, M. Anderson, D. Helder, J. Irons, D. Johnson, & R. Kennedy. (2014). Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research. *Remote Sensing of Environment*, 145, 154-172.
45. Ruimy, A., L. Kergoat, & A. Bondeau. (1999). Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): Analysis of differences in light absorption and light-use efficiency. *Global change biology*, 5, 56-64.
46. Ruimy, A., B. Saugier, & G. Dedieu. (1994). Methodology for the estimation of terrestrial net primary production from remotely sensed data. *Geophysical Research: Atmospheres*, 99, 5263-5283.
47. Stefanov, W. L., M. S. Ramsey, & P. R. Christensen. (2001). Monitoring urban land cover change: An expert system approach to land cover classification of semiarid to arid urban centers. *Remote Sensing of Environment*, 77, 173-185.
48. Trumbore, S. E., J. L. Bubier, J. W. Harden, & P. M. Crill. (1999). Carbon cycling in boreal wetlands: A comparison of three approaches. *Geophysical Research: Atmospheres*, 104, 27673-27682.

49. Yaghmaei, L., S. Soltani, & M. Khodagholi. (2009). Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods. *Climatology*, 29, 1850-1861.
50. Yeganeh, H., S. Jamale Khajedein, F. Amiri, & A. R. B. M. Shariff. (2014). Monitoring rangeland ground cover vegetation using multitemporal MODIS data. *Geosciences*, 7, 287-298.
51. Yu, D., P. Shi, H. Shao, W. Zhu, & Y. Pan. (2009). Modelling net primary productivity of terrestrial ecosystems in East Asia based on an improved CASA ecosystem model. *Remote Sensing*, 30, 4851-4866.
52. Yuan, J., Z. Niu, & C. Wang. (2006). Vegetation NPP distribution based on MODIS data and CASA model—A case study of northern Hebei Province. *Chinese Geographical Science*, 16, 334-341.
53. Zhang, L., Y. Lü, B. Fu, Z. Dong, Y. Zeng, & B. Wu. (2017). Mapping ecosystem services for China's ecoregions with a biophysical surrogate approach. *Landscape and Urban Planning*, 161, 22-31.
54. Zhang, Y., M. Xu, H. Chen, & J. Adams. (2009). Global pattern of NPP to GPP ratio derived from MODIS data: effects of ecosystem type, geographical location and climate. *Global Ecology and Biogeography*, 18, 280-290.
55. Zhu, Q., J. Zhao, Z. Zhu, H. Zhang, Z. Zhang, X. Guo, Y. Bi, & L. Sun. (2017). Remotely Sensed Estimation of Net Primary Productivity (NPP) and Its Spatial and Temporal Variations in the Greater Khingan Mountain Region, China. *Sustainability*, 9, 1213-1229.



Performance Comparison of MODIS and Landsat Data in Estimating of NPP in Arid Regions of Isfahan Province

F. Hadian¹, R. Jafari^{2*}, H. Bashari³, M. Tarkesh³

1. PhD student of Range Management, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 2. Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 3. Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- * Corresponding Author: reza.jafari@cc.iut.ac.ir

Received date: 22/09/2018

Accepted date: 02/01/2019

Abstract

Net primary production (NPP) is one of the most important factors in ecosystem's function, which is affected by biological and climatic factors. The main objective of the current research was to investigate the potential of the CASA (carnegie-ames-stanford approach) model in determining the spatial and temporal distribution of NPP in rangeland types of arid regions of Isfahan province using MODIS and Landsat. For this purpose, satellite and climatic data such as rainfall, temperature, monthly and sunny hours, were used. The NPP was modeled on two Landsat and MODIS scales and correlations between field measurements and CASA model were investigated based on rangeland conditions and vegetation types. Results showed that the highest plant production in the region was during the March-May months. Correlation between CASA model with field data occurred in MODIS was higher than Landsat data. Based on the relations, the values of NPP and LUE (light use efficiency) were investigated in the region. The NPP spatial distribution and LUE values indicated that the amount of annual production and photosynthesis efficiency were decreased in degraded rangelands (poor and very poor conditions) compared to fair rangeland condition. The highest and lowest amount of NPP observed in *Artemisia sieberi* – *Zygophyllum* Spp ($9.35 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$) and Annual grasses - Annual forbs ($0.2 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$), respectively. The amount of NPP and LUE in shrublands and annual plant types were higher than bushlands. Results of this research probes the importance of biological classification, climate and scale of study in NPP modeling. Moreover, the stratification of rangelands based on life forms and range conditions has principal role in accuracy of the NPP estimation.

Keywords: Production; Range condition; LUE; Climate classification