

مدل سازی تخریب مراتع نیمه‌استپی استان اصفهان با استفاده از تصاویر مودیس

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

۱- دانش آموزخته دکتری علوم مرتع، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۲/۱۴

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۵/۲۳

چکیده

گیاهان، یکی از مهم‌ترین اجزای اکوسیستم هستند که تحت تاثیر عوامل طبیعی و انسانی قرار می‌گیرند. به طوری که مطالعه تولید خالص اولیه، یکی از مهم‌ترین موضوعات در بوم‌شناسی به حساب می‌آید. مهمترین هدف این تحقیق مدل‌سازی توزیع مکانی و زمانی تولید خالص اولیه (مدل CASA) و تاثیر تابش موثر نور خورشید (LUE) و همچنین اندازه‌گیری تخریب اراضی با شاخص تاثیر بارندگی (RUE) در مراتع نیمه‌استپی استان اصفهان است. برای انجام این مطالعه، تصاویر NDVI-۱۶ روزه مودیس، داده‌های هواشناسی، نقشه پوشش اراضی و داده‌های زمینی به کار گرفته شد و نتایج نشان داد که نرخ NPP از ماه مارس (۱۱/۴۴ C/m²/mo) تا ماه می (۴۱/۰۷C/m²/mo) افزایش داشته است، در حالیکه سیر نزولی را از اوایل ماه ژوئن (۲/۲ C/m²/mo) به دلیل خشکی خاک نشان می‌دهد. اقلیم، تیپ گیاهی و وضعیت مرتع نقش مهمی در NPP سالیانه داشتند، لذا بیشترین و کمترین NPP به ترتیب در *Astragalus- Daphnae* ۳۸/۸۵ gC/m² (y-1) و (۳۸/۸۵ y-1) و *Artemisia sieberi - Scariola* ۴ gC/m² (y-1) همراه با حداکثر (۱- MJ) ۰/۱۳ g C و حداقل تاثیر تابش موثر نور خورشید LUE (۱- MJ) ۰/۰۵ g C مشاهده شد. مقدار (RUE)، در مراتع تخریب یافته کاهش داشت. علاوه بر این از همبستگی بین داده‌های زمینی و مدل CASA در اقلیم نیمه‌خشک گرم و مراتع تخریب‌یافته، کاسته شد. بنابراین توجه به وضعیت مرتع، تیپ گیاهی و اقلیم در پایش NPP و مدیریت مراتع ضروری است.

کلید واژه‌ها: NPP، CASA، LUE، RUE، وضعیت مرتع

*نویسنده عهده‌دار مکاتبات: اصفهان دانشگاه صنعتی اصفهان، شماره تماس: ۰۲۱۳۲۹۱۳۵۵۵

۱- مقدمه

گیاهان یکی از مهمترین اجزای اکوسیستم خاکی محسوب می‌شوند که نقش مهمی در ماده کره زمین، جریان انرژی، چرخه کربن و تغییرات اقلیمی ایفا می‌کنند (Yuan et al., 2006). دی‌اکسید کربن نیز تاثیر مهمی بر گرمای زمین، عملکرد فتوسنتز، تولید خالص اولیه و محیط زیست زمین دارد. تولید خالص اولیه، حاصل فعالیت بیوفیزیکی گیاهان و منبع بیوشیمیایی چرخه کربن است (Raich & Schlesinger, 1992). گیاهان، دی‌اکسید کربن را از اتمسفر جذب و به صورت کربن در مواد گیاهی ذخیره می‌کنند که فتوسنتز ناخالص نامیده می‌شود. فتوسنتز ناخالص به معنی کل ماده تولید شده به وسیله گیاهان در واحد سطح در واحد زمان است که قسمتی از آن به صورت تنفس به اتمسفر بر می‌گردد. لذا کل ماده تولید شده، صرف نظر از تنفس، تولید خالص اولیه گیاهان در نظر گرفته می‌شود که به عنوان کربن تثبیت شده در چرخه کربن قابل بررسی است (Li et al., 2018a).

کربن در اکوسیستم‌های خاکی دارای یک چرخه بین گیاهان، اتمسفر و خاک است که در مقیاس‌های زمانی و مکانی نوسان دارد. در مقیاس زمانی بلندمدت، تمام کربن بر اثر تنفس مصرف‌کنندگان و شرایطی مانند آتش‌سوزی دوباره به منبع کربن در اتمسفر باز می‌گردد. مقیاس مکانی، محدوده‌ای از یک گیاه واحد، اکوسیستم، چشم انداز و یک بیوم را شامل می‌شود (Zu et al., 2018). به طور کلی، عواملی مانند تغییرات کاربری اراضی، شرایط اقلیمی، بیابان‌زایی، جنگل زدایی، کودهای شیمیایی، آتش‌سوزی و آفات تاثیر بسیار زیادی در مقدار تولید خالص اولیه در هر منطقه دارند (Dale et al., 2001).

مقدار تولید خالص اولیه، نه تنها به عنوان نشانه سلامتی اکوسیستم، بلکه به عنوان معیاری از چگونگی کارکرد آنها در جریان چرخه کربن بررسی می‌شود (Piao et al., 2006). لذا، مطالعه و پایش تولید خالص اولیه، ارتباط زیادی با شناخت چرخه کربن و تاثیر عوامل اقلیمی در نوسانات سالیانه و فصلی آن دارد (Turner et al., 2002) که در بررسی تغییرات کره زمین

دارای اهمیت زیادی است (Meyfroidt et al., 2013). امروزه افزایش دما و خشکسالی از جمله عواملی هستند که چرخه عناصر، آب و انرژی را تحت تاثیر قرار داده‌اند (van Minnen et al., 2002).

میزان دما و بارش، مهمترین فاکتورهایی هستند که مقدار جذب PAR را تحت تاثیر قرار می‌دهند (Tesfaye et al., 2017). این پارامتر، نقش مهمی در تعیین بیوماس گیاهان دارند و مقدار رشد و توسعه گیاهان، توسط مقدار انرژی جذب شده خورشید، توسط گیاهان مشخص می‌شود (Kern et al., 2017).

آگاهی از کارایی گیاهان در تبدیل APAR به مقدار بیوماس گیاهان، مدل‌سازی LUE را در سطوح منطقه‌ای (Yuan et al., 2006; Eisfelder et al., 2013) و جهانی (Haxeltine & Prentice, 1996; Friedlingstein et al., 1999) همراه داشته است.

بررسی تولید خالص اولیه با کمک بازدهی تولیدکنندگی، اولین بار توسط مانیس به کار گرفته شد (Monteith, 1972) و در مطالعات مختلف از یک مقدار ثابت (E)، برای تعیین مقدار بازدهی اکوسیستم در تولیدکنندگی و مدل‌سازی تولید خالص اولیه استفاده شد (Gitelson et al., 2006). میزان تولید خالص اولیه، با کمک روش‌هایی مانند Biome-BGC¹ در سطح جهانی در دوره‌های زمانی ۸ روز (MOD17A2) و سالیانه (MOD17A3) توسط سازمان NASA مدل‌سازی شده است (Bai et al., 2008); اما میزان بازدهی تولید خالص اولیه تحت تاثیر میزان تبخیر و تعرق و دما قرار می‌گیرد که در تیپ‌های گیاهی مختلف با توجه به شرایط بوم‌شناسی متغیر است و نمی‌توان از تولیدات موجود، جهت تعیین مقدار تولید خالص اولیه به دلیل وضوح پایین استفاده کرد (Yuan et al., 2006).

امروزه با استفاده از تصاویر مودیس در مقیاس ۲۵۰-۱۰۰۰ متر، نسبت جذب اشعه قابل جذب برای فتوسنتز گیاهان (FPAR) را اندازه‌گیری می‌کنند که برای مدل‌سازی اکوسیستم، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این پارامتر اهمیت زیادی در تعیین میزان تبادل

گیاهی در مناطق نیمه‌استپی استان اصفهان با کمک تصاویر مودیس و روش مدل‌سازی CASA و همچنین مقایسه اثر کارایی فتوسنتز با شاخص LUE و مطالعه تخریب اراضی با محاسبه مقادیر RUE در تیپ‌های مختلف مرتعی براساس وضعیت مراتع است.

۲- مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه، شامل مناطق نیمه‌استپی استان اصفهان با مساحت حدود ۴۱۷۳۲ کیلومتر مربع، در محدوده عرض جغرافیایی ۳۰° ۴۳' تا ۳۴° ۲۶' و طول جغرافیایی ۴۹° ۳۶' تا ۵۲° ۱۱' واقع شده است (شکل ۱) که طبق تحقیقات (Yaghmaei et al., 2009)، دارای اقلیم مرطوب و خیلی مرطوب سرد در غرب تا نیمه‌خشک گرم در شرق، با متوسط بارش سالیانه ۲۰۰ میلی‌متر و دمای ۱۴ درجه سانتی‌گراد است. در قسمت‌های غربی و جنوبی به دلیل وجود رشته‌کوه‌های زاگرس، مناطق کوهستانی همراه با تپه‌ها، صخره‌های سنگی، دشت رسوبی با ترکیبی از سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و دگرگونی و همراه با رسوبات مربوط به دوره پرکامبرین مشاهده می‌شود؛ به طوری که اختلاف ارتفاع منطقه بین ۷۶۲ تا ۴۳۶۶ متر از سطح دریا وجود دارد (شکل ۱). خاک منطقه نسبتاً عمیق با ترکیب‌های متفاوتی از خاک‌های رس، لومی و شنی دیده می‌شود. لذا مقدار بارش از غرب به شرق و از جنوب به شمال کاسته شده، اما میزان دمای سالیانه افزایش می‌یابد. از نظر زمین‌شناسی، سازندهای دوران پرکامبرین مشاهده می‌شود (Jafari et al., 2017) و به دلیل تنوع اقلیمی، تیپ‌های گیاهی با فرم رویشی متنوع به وجود آمده است که ۵۲ تیپ گیاهی با فرم‌های رویشی درختچه‌ای، بوته‌ای، فورب، گراس و یک ساله مشاهده می‌شود که دارای درصد تاج پوشش گیاهی $x < 5\%$ تا $x > 75\%$ و تولید (کل گیاهان) $40 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$ تا $4 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$ هستند.

روش نمونه‌برداری زمینی

جهت بررسی میزان تولید گیاهی، ابتدا در هر یک از

دی‌اکسید کربن، بخار آب و انرژی میان اتمسفر و گیاهان دارد (Xu et al., 2018a). مدل CASA، یکی از مدل‌هایی است که با کمک تصاویر ماهواره‌ای مختلف و محاسبه FPAR، داده‌های هواشناسی و اطلاعات زمینی در مقیاس‌های متفاوت، نقشه پوشش اراضی و میزان تولید خالص اولیه را برای تیپ‌های گیاهی، مدل‌سازی و مقدار LUE را تعیین می‌کند (Yu et al., 2009).

در یک منطقه نیز، شرایط توپوگرافی و وضعیت پوشش گیاهی، نقش زیادی در دقت و مقیاس مطالعه دارد به طوری که ناهمگنی در مناطق کوهستانی، باعث خطا در نتایج تحقیق می‌شود (Shabanov et al., 2003). چرای دام‌ها آن هم به صورت انتخابی یک مرتع، باعث کاهش یکنواختی شده و بهره برداری زیاد گیاهان کاهش قدرت زادآوری را به همراه دارد (Adler et al., 2001). در مناطق تخریب‌یافته نیز، میزان سبزی‌نگی گیاهان نسبت به مراتع خوب کاهش می‌یابد (Rey et al., 2011) که این امر در صحت تحقیقات تاثیر دارد (Pettorelli et al., 2005). علاوه بر این، فرسایش خاک و تخریب پوشش گیاهی باعث کاهش تاثیرات باران و تولیدکنندگی می‌شود که این امر با استفاده از شاخص RUE قابل بررسی است که نتایج بسیار خوبی را در مطالعات منطقه‌ای (Xu et al., 2018b) و جهانی (Bai et al., 2008) نشان داده است.

کشور ایران در منطقه خاورمیانه بین دریاچه خرز و دریای عمان واقع شده است و به دلیل داشتن رشته کوه البرز (در شمال) و زاگرس (در غرب)، دارای اقلیم‌های متنوع است؛ به طوری که، بیشترین متوسط بارش سالیانه در بندر انزلی (۲۰۰۰ میلی‌متر) و کمترین در یزد (۶۰ میلی‌متر) مشاهده می‌شود. در استان اصفهان نیز، به دلیل قرار گرفتن در کنار رشته کوه‌های زاگرس از طرف غرب و همجواری با دشت کویر (در شمال و شرق)، دارای اقلیم‌های آب و هوایی متنوع خیلی مرطوب سرد تا فراخشک گرم است. این امر، باعث به وجود آمدن تیپ‌های گیاهی متنوع با فرم‌های رویشی متفاوت شده که دارای وضعیت‌های مرتعی خوب تا خیلی فقیر هستند. لذا هدف اصلی از این تحقیق، بررسی و مدل‌سازی تولید خالص اولیه در تیپ‌های

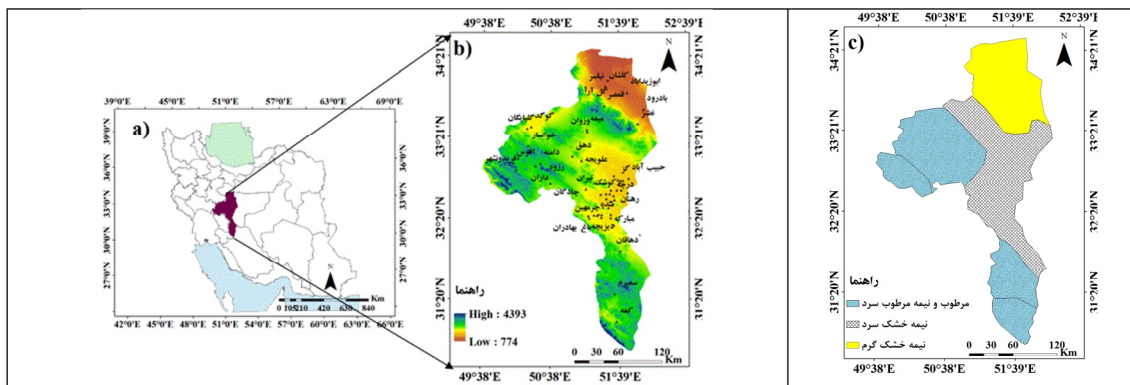
تمامی گونه‌های گیاهی نیز در پلات‌های ۲×۱ قطع و توزین شد (Hadian et al., 2019). جهت نمونه برداری پوشش گیاهی از روش تصادفی - طبقه بندی شده، استفاده شد. تیپ‌های گیاهی با کمک مطالعه زمینی و نقشه تیپ‌های گیاهی با مقیاس ۲۵۰۰۰۰ (تهیه شده توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان) تعیین شدند. برای تعیین تولید خالص اولیه در هر تیپ گیاهی، ۳۵ نقطه GPS (سایت نمونه برداری) مشخص شد (۳۲۲۰ نقطه در کل منطقه مورد مطالعه)، درصد پوشش گیاهی با استفاده از روش ۴ پیکسلی، در ۸ پلات ۱۰۰ متری در هر سایت اندازه‌گیری و میزان تولید گیاهان با ۴ پلات مستطیلی (۲×۱) در داخل هر پلات ۱۰۰ متری تعیین شد (Khajeddin, 1995).

تیپ‌های استان، مناطق مشابه از لحاظ شرایط خاک و پوشش گیاهی تفکیک شد. میزان تولید تمامی گیاهان مرتعی در تیپ‌های گیاهی، با استفاده از پلات‌های ۲×۱، ۱۰×۱۰ در قالب روش ۴ پیکسلی اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه داده‌های مورد استفاده از تصاویر مودیس با وضوح ۲۵۰×۲۵۰ متر است، با کمک فرمول زیر سطح نمونه برداری تعیین شد (McCoy, 2005).

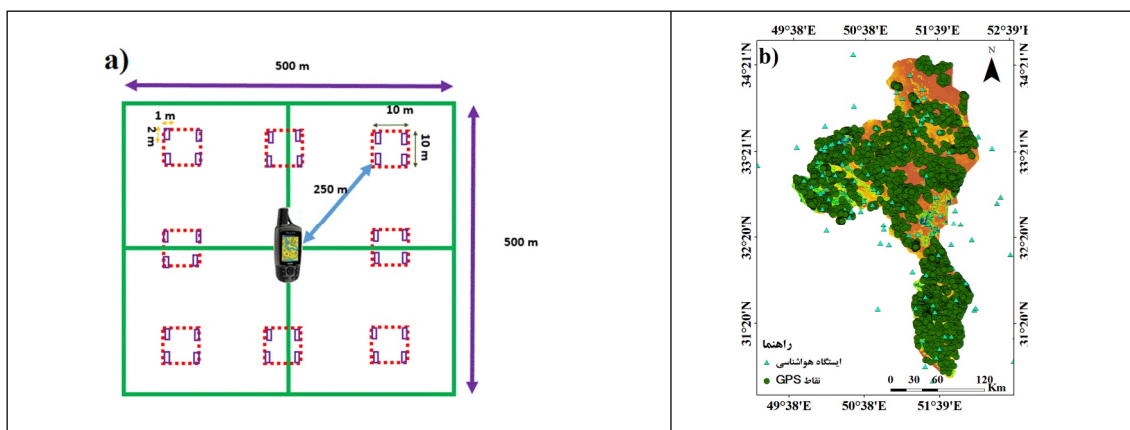
$$A = P \times (1 + 2L)$$

معادله ۱
 A= حداقل سطح مورد نیاز جهت نمونه برداری
 P= وضوح پیکسل ماهواره بر حسب متر
 L= خطای مورد قبول

لذا در هر تیپ گیاهی در هر کلاس وضعیت، تعداد ۳۵ سایت تعیین و در یک سطح ۵۰۰×۵۰۰ با ۸ پلات ۱۰×۱۰ درصد پوشش گیاهی تعیین و مقدار تولید



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه (a)، نقشه رقوم‌اری (b)، نقشه طبقات اقلیمی (c)



شکل ۲. روش نمونه برداری در منطقه (a)، سایت‌های نمونه برداری و ایستگاه‌های هواشناسی (b)

بررسی وضعیت مرتع

تعیین وضعیت مرتع به کمک روش ۴ فاکتوره تغییر یافته، انجام شده و با توجه به بازدید سال جاری و نقشه وضعیت مرتع صورت گرفت. در این روش، مراتع به گروه‌های (45 excellent)، ($38-45$ Good)، ($31-37$ Fair)، ($20-30$ Poor) و (<math><20</math> Verypoor) تقسیم‌بندی می‌شود. در این روش ۴ پارامتر پوشش گیاهی (۱۰ امتیاز)، فرسایش خاک (۲۰ امتیاز)، ترکیب گیاهی (۱۰ امتیاز) و بنیه و شادابی (۱۰ امتیاز) بررسی می‌شود. تعیین سایت های نمونه برداری با کمک نقشه پوشش گیاهی تهیه شده در مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان و نیز بازدید های زمینی انجام گرفت؛ لذا در این تحقیق، مراتع استان اصفهان به ۴ گروه Good، Fair، Poor و Verypoor طبقه بندی شد (Jafari et al., 2016).

داده‌های ماهواره‌ای

مودیس (سنجنده Terra) NASA's Earth Observing Land Processes Distributed /System (EOS) Active Archive Center (LP DAAC) از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> استفاده شد. داده‌های مودیس، شامل تولیدات MOD13Q1 (MODIS/Terra Vegetation Indices 16-Day L3) (Global 250 m SIN Grid V006) بودند که در مقیاس زمانی ۱۶ روزه و وضوح ۲۵۰×۲۵۰ متر موجود است و با کمک ابزار (MODIS Conservation Toolkit) MCTK در نرم افزار انوی (ENVI) پیش‌پردازش‌ها و کالیبراسیون مربوطه صورت گرفت (Pack, 2009). تعیین میزان NDVI در مقیاس ماهیانه با کمک میانگینگیری تصاویر ۱۶ انجام شد (Li et al., 2015) شاخص گیاهی NDVI با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{red}}{\rho_{NIR} + \rho_{red}} \quad \text{معادله ۲}$$

که در این رابطه مقدار ρ_{NIR} مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک با طول موج ۸۶۷-۸۴۱ نانومتر (باند ۲ مودیس) و مقدار ρ_{red} به عنوان مقدار بازتاب در باند قرمز با طول موج ۶۷۰-۶۲۰ نانومتر (باند ۱ مودیس) است. مقدار این شاخص بین -۱ و +۱ تغییر می‌کند و مقدار این شاخص با پوشش گیاهی مترکم به سمت +۱ (معمولاً بین ۰/۳ تا ۰/۶) گرایش پیدا کرده و برای ابرها و برف و آب مقادیر منفی تولید می‌کند. افزایش شادابی گیاهان و فتوسنتز در گیاهان موجب افزایش بازتاب مادون قرمز نزدیک می‌شود که این امر، افزایش مقدار شاخص NDVI را به دنبال دارد (Sanaiejad et al., 2008)

داده‌های هواشناسی

در این تحقیق، از اطلاعات هواشناسی مربوط به ایستگاه هواشناسی (بارانسنجی، کلیماتولوژی و سینوپتیک) متعلق به استان اصفهان و مناطق همجوار، داده‌های مورد استفاده در مدل CASA شامل دما، بارش و ساعت آفتابی به صورت ماهیانه هستند. میزان انرژی خورشیدی با کمک مجموع ساعت آفتابی ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک و رابطه Angstrom- Prescott محاسبه شد (Alamdari et al., 2013). با توجه به اینکه، مقادیر مدل سازی شده، روش کریجینگ (universal kriging)، کمترین میزان مربعات خطا را با مقادیر ثبت شده ایستگاه‌های هواشناسی داشت، از این روش برای تهیه نقشه‌های انرژی خورشیدی، دما و بارش ماهیانه استفاده شد (Almorox et al., 2005; Attorre et al., 2007).

تولید خالص اولیه توسط مدل CASA

جهت اجرای مدل CASA، پارامترهای اقلیمی مانند میزان بارش، دما و تعداد ساعات آفتابی و خروجی‌های سنجش از دور مانند شاخص گیاهی NDVI و نسبت جذب فعال فتوسنتزی (طول موج 0.4 - 0.7nm) همچنین نقشه کاربری/پوشش اراضی مورد استفاده قرار

$$T_{\varepsilon_2}(x, t) = 1.184 / \{1 + \exp[0.2 \times (Topt(x) - 10 - T(x, t))]\} \\ \times 1 / \{1 + \exp[0.3 \times (-Topt(x) - 10 - T(x, t))]\}$$

معادله ۱۲

$$W_{\varepsilon} = 0.5 + 0.5 \times \frac{E(x, t)}{E_p(x, t)}$$

در این رابطه ε_{max} ، نشان دهنده توان تشعشعی در حداکثر جذب تابش موثر است، ε (توان تشعشعی، مقدار $Topt$ به میانگین دمای ماهیانه در زمانی از سال گفته می‌شود که شاخص NDVI بیشترین مقدار را داراست. $T_{\varepsilon 1}$ میزان دمایی است که گیاه می‌تواند فعالیت‌های فتوسنتزی خود را انجام دهد و $T_{\varepsilon 2}$ دمایی است که گیاه می‌تواند از نور استفاده موثر داشته باشد، W_{ε} ، رطوبت موثر^۴ در استفاده موثر از تابش است. میزان W_{ε} با توجه به قابلیت نگهداری رطوبت در خاک تعیین می‌شود که E ، میزان تبخیر در منطقه، E_p پتانسیل تبخیر منطقه^۵، E_0 پتانسیل تبخیر محلی^۶، R تابش موثر خورشید و I شاخص گرمایی سالیانه^۷ است (Rohli & Vega, 2013).

معادله ۱۳

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

$$E_p(x, t) = [E(x, t) + E_0(x, t)] / 2$$

معادله ۱۴

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

معادله ۱۵

1. Absorbed Photosynthetically Active Radiation (APAR)
2. Light Utilization Efficiency (LUE)
3. Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation (FPAR)
4. Water stress coefficient
5. regional potential evapotranspiration
6. local potential evapotranspiration
7. Heat index

معادله ۱۶

گرفت (Hua et al., 2014). بدیهی است که میزان تولید خالص اولیه برای تیپ‌های مختلف متفاوت بوده و در نتیجه در این مطالعه، مقدار تولید آنها به طور جداگانه تعیین شد. رابطه بین NPP مشاهداتی و تخمین زده شده در سایت‌های مطالعاتی با کمک آنالیز رگرسیون ارزیابی و مقدار ضریب تبیین و معنی‌داری آن محاسبه شد. معادلات مورد استفاده مدل CASA به شرح زیر است (معادله ۱۷-۳):

$$NPP_{(x,t)} = APAR_{(x,t)} \times \varepsilon_{(x,t)}$$

معادله ۳

$$APAR = FPAR \times SOL \times 0.5$$

معادله ۴

در این رابطه NPP، تولید خالص اولیه، APAR، جذب فعال فتوسنتزی^۱ و ε ، تابش موثر نور^۲ است.

در این رابطه FPAR، نسبت جذب فعال فتوسنتزی^۳ و SOL نشان دهنده میزان تابش خورشید است. در معادله ذیل مقادیر $FPAR_{min}$ و $FPAR_{max}$ به ترتیب 0.01 و 0.95 می‌باشد و میزان FPAR با توجه به فرمول‌های زیر و α (که براساس میانگین $FPAR_1$ و $FPAR_2$ به مقدار 0.475 تعیین شد) محاسبه گردید (Yu et al., 2009).

$$FPAR(x, t) = FPAR_1 \alpha + (1 - \alpha) FPAR_2$$

معادله ۵

$$FPAR_{(x,t)} = \frac{[(NDVI)_{(x,t)} - (NDVI)_{i,min}] \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(NDVI)_{i,max} - (NDVI)_{i,min}} + FPAR_{min}$$

معادله ۶

$$D_{(x,t)} = \frac{(NDVI - 1)_{(x,t)}}{(NDVI + 1)_{(x,t)}}$$

معادله ۷

$$FPAR_{2(x,t)} = \frac{[(D)_{(x,t)} - (D)_{i,min}] \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(D)_{i,max} - (D)_{i,min}} + FPAR_{min}$$

معادله ۸

$$FPAR_{2(x,t)} = \frac{[(D)_{(x,t)} - (D)_{i,min}] \times (FPAR_{max} - FPAR_{min})}{(D)_{i,max} - (D)_{i,min}} + FPAR_{min}$$

معادله ۹

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

معادله ۱۰

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

معادله ۱۱

استخراج شد (معادله ۲۰) (Zhang et al., 2014).

$$\text{Rainfall} = \frac{NPP}{\text{Rainfall}} \quad \text{معادله ۲۰}$$

۳- نتایج

پایش تغییرات فصلی تولید خالص اولیه

بررسی مقادیر تولید خالص اولیه در فصول مختلف، بیانگر آن بود که گیاهان منطقه بسته به شرایط اقلیمی دوره رویش خود را در زمان‌های متفاوتی شروع می‌کنند. طبق نتایج (شکل ۳)، در مناطق غربی و جنوبی نسبت به شرقی و شمالی، دوره فنولوژی گیاهان دیرتر آغاز شد. در اقلیم‌های نیمه‌خشک گرم و سرد، رشد رویشی گیاهان در مناطق کم ارتفاع از ماه مارس آغاز شد ولی در برخی مناطق مرطوب و نیمه‌مرطوب سرد، گیاهان تا اواسط ماه آوریل، مرحله فنولوژی خود را آغاز نکردند اما در مناطق غربی و جنوبی، رشد رویشی گیاهان دیرتر پایان یافت. به‌طور کلی، در منطقه مورد مطالعه، رشد رویشی گیاهان بین ۷۰-۹۰ روز طول کشید و در کل منطقه، تا اواخر ماه ژوئیه تا خشک شدن خاک، تقریباً پایان یافت. براساس نقشه‌های تهیه شده از مدل CASA، تولید گیاهان در ماه‌های مارس، آوریل، می، ژوئن و ژوئیه به ترتیب ۰-۱۱/۴۴، ۰-۳۰/۶۸، ۰-۴۱/۰۷، ۰-۲/۲۰، ۰-۰/۵۵ (g C/m2/mo) برآورده شده است و میزان خالص اولیه سالیانه گیاهان ۰-۷۹/۷ (C/m2 y-1) بود (شکل ۳).

ارزیابی مدل CASA در تیپ‌های گیاهی

در مناطق غربی و جنوبی با اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب سرد، میزان همبستگی مدل CASA محاسبه شده در مناطق مرتعی با وضعیت خوب، بالا بوده، اما به تدریج در مناطق فقیر و خیلی فقیر کاهش یافته و در مناطق کوهستانی و ناهمگن نیز، نسبت به دشتی و همگن، صحت کمتری بین داده‌های مدل‌سازی شده و اندازه‌گیری مشاهده شد.

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

$$I(X) = \sum_{i=1}^{12} \left(\frac{T_{ai}}{5} \right)^{1.514} \quad \text{معادله ۱۷}$$

محاسبه میزان (LUE) Light Use Efficiency

تعیین مقدار LUE، براساس قانون ترمودینامیک و نسبت بین انرژی خروجی (مقدار NPP) به ورودی (انرژی خورشیدی) انجام می‌شود. میزان LUE به عنوان شیب خط در رابطه رگرسیونی بین APAR (مقدار x) و NPP مشاهداتی (مقدار y) محسوب می‌شود. بنابراین پس از تعیین سایر پارامترها، مانند مقادیر دما و رطوبت در معادله، مقدار ε_{\max} برای هر تیپ گیاهی تعیین شد (معادلات ۱۹-۱۸) (Pan et al., 2009; Yu et al., 2009).

$$LUE = \sum_{j=1}^n [a(x) - b(x)]^2 \quad \text{معادله ۱۸}$$

معادله ۱۹

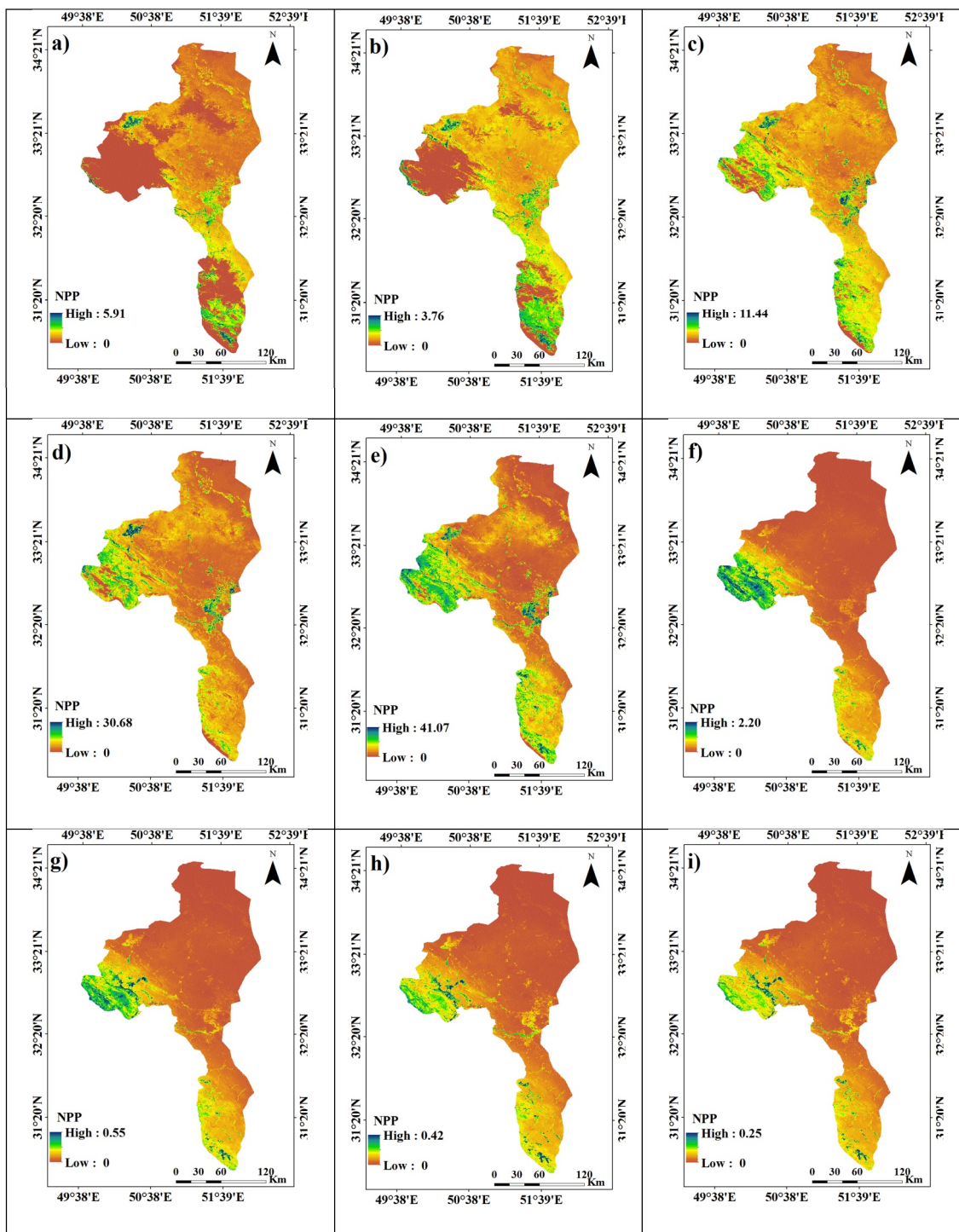
$$LUE = \sum_{j=1}^n [a(x) - \varepsilon_{\max}(x) T_{e1}(x, t) T_{e2}(x, t) W(x, t)]^2$$

در این معادلات، LUE مقدار کارایی استفاده از نور، $a(x)$ مقدار NPP مشاهداتی و $b(x)$ مقدار NPP برآورد شده است.

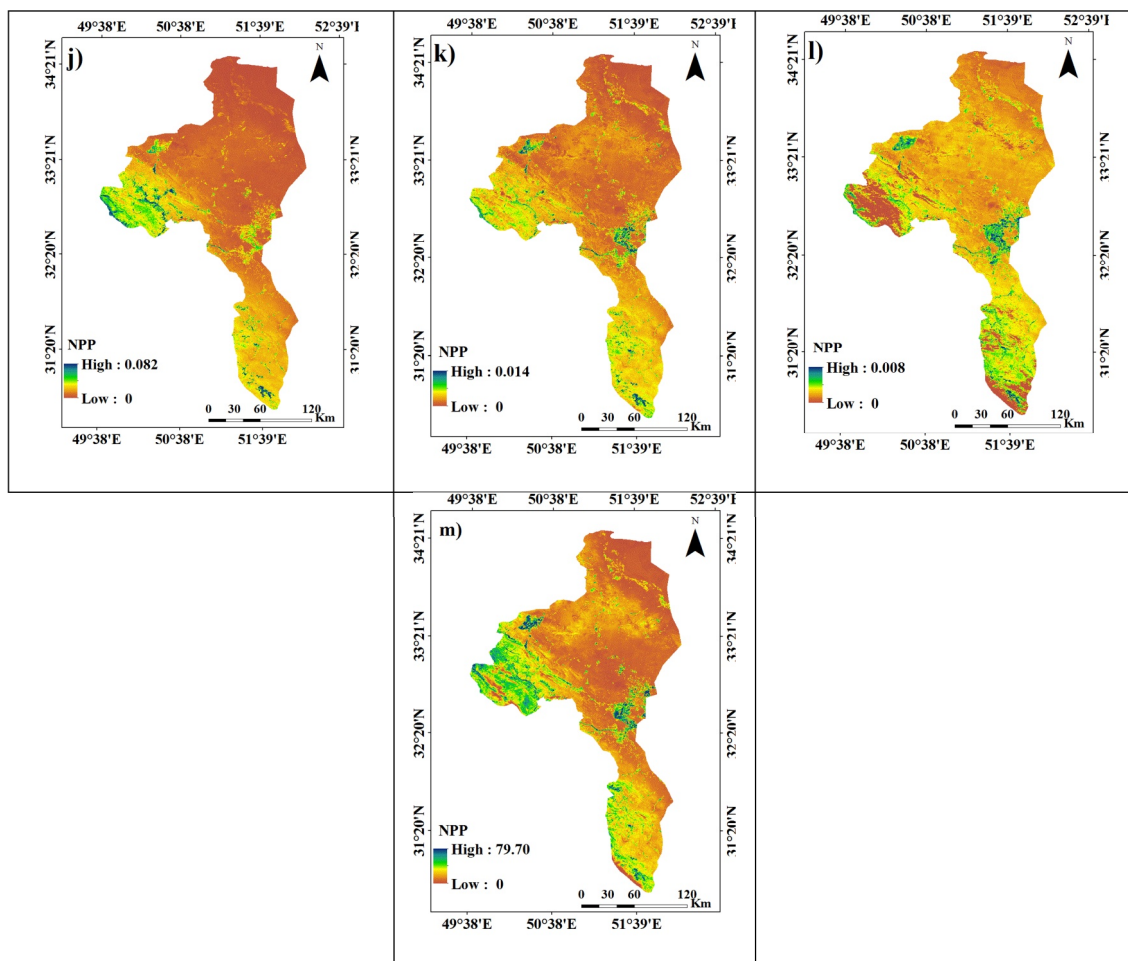
بررسی شاخص (RUE) Rain Use Efficiency

به‌منظور تعیین تاثیرات بارش و تخریب مراتع بر تولید پوشش گیاهی، شاخص RUE محاسبه شد، این شاخص بر اساس نسبت بین مقادیر NPP بر مقدار بارش دریافتی محاسبه می‌شود. بدین منظور، نقشه میزان NPP (سالیانه) بر مقدار بارش سالیانه تقسیم شد. ابتدا نقشه بارندگی سالیانه منطقه با استفاده از روش kriging، تهیه و با کمک نقشه NPP (سالیانه) نقشه شاخص RUE تعیین و مقادیر آن برای تیپ‌های مختلف گیاهی

مدل سازی تخریب مراتع نیمه‌استپی استان اصفهان با استفاده از تصاویر مودیس



شکل ۳. مقادیر ماهیانه تولید خالص اولیه بر حسب $C/m^2/mo$ ، در سال ۲۰۱۶ ، ژانویه (دی) (a)، فوریه (بهمن) (b)، مارس (سفند) (c)، آوریل (فروردین) (d)، می (اردیبهشت) (e)، ژوئن (خرداد) (f)، ژوئیه (تیر) (g)، آگوست (مرداد) (h)، سپتامبر (شهریور) (i)، اکتبر (مهر) (j)، نوامبر (آبان) (k)، دسامبر (آذر) (l) و مقدار NPP سالیانه ($C/m^2 y^{-1}$) (m)



ادامه شکل ۳.

کمتر است. تیپ گیاهی *Artemisia aucheri* با وضعیت مرتعی متوسط، بیشترین همبستگی (۷۸٪) را داشت و کمترین همبستگی، در تیپ گیاهی *Launea - Noaea* (۳۲٪) با وضعیت خیلی فقیر مشاهده شد (جدول ۲). در اقلیم نیمه‌خشک گرم بیشترین همبستگی میان داده‌های زمینی مدل CASA در تیپ *Astragalus - Stipa* با وضعیت خوب (۷۱٪) دیده شد. کمترین همبستگی بین داده‌های زمینی و مدل CASA در تیپ *Scariola - Euphorbia* با وضعیت مرتعی خیلی فقیر (۲۸٪) مشاهده شد. در این منطقه، الگوی پراکنش گیاهان از یک‌نواختی کمتری نسبت به منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب و نیمه‌خشک سرد برخوردار بود، در گیاهان شادابی کمتری مشاهده شد و میزان همبستگی بین مدل CASA و داده‌های زمینی کمتر بود (جدول ۳).

تیپ‌های گیاهی با یک گونه غالب (۶۰٪)، *Artemisia sieberi* نسبت به دو گونه غالب (۵۶٪)، همبستگی بهتری با مدل CASA در وضعیت مرتعی یکسان داشت. اما به‌طور کلی، در اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب سرد، تیپ گیاهی *Astragalus-Agropyrum*، ۸۴٪، و تیپ گیاهی *Gundelia - Cousnia*، ۴۰٪، به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان همبستگی، بین مدل CASA و داده‌های زمینی بودند (جدول ۱).

در نواحی نیمه‌خشک و سرد استان با کم‌شدن توپوگرافی منطقه از رطوبت هوا نسبت به منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب کاسته شده و تیپ‌های گیاهی، دارای شرایط یک‌نواخت‌تری بودند؛ اما مقادیر همبستگی نسبت به منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب

مدل‌سازی تخریب مراتع نیمه‌استپی استان اصفهان با استفاده از تصاویر مودیس

جدول ۱. تیپ‌های گیاهی، وضعیت مرتع، میزان همبستگی داده‌های زمینی و مدل CASA، مقادیر RUE، NPP و LUE در منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب سرد

ردیف	تیپ گیاهی	وضعیت مرتع	همبستگی (R ²)	RUE	NPP	LUE
۱	Artemisia sieberi - Scariola	Fair	٪۶۳	۰/۲۳	۳۷	۰/۱۲۴
۲	Astragalus - Agropyrum	Fair	٪۷۹	۰/۱۸	۳۱	۰/۱۰۵
۳	Astragalus - Bromus	Fair	٪۷۸	۰/۱۲	۲۸	۰/۱
۴	Astragalus - Cousinia	Fair	٪۷۱	۰/۱۱	۲۹	۰/۱۰۲
۵	Astragalus - Daphnae	Fair	٪۷۳	۰/۳	۳۹	۰/۱۳
۶	Astragalus - Psathyrostachys	Fair	٪۶۹	۰/۱۷	۳۰	۰/۱۰۴
۷	Astragalus - Stipa	Fair	٪۷۲	۰/۲	۳۱	۰/۱۰۶
۸	Atriplex - Panicum	Fair	٪۶۸	۰/۲۲	۲۹	۰/۱۰۱
۹	Artemisia aucheri	Fair	٪۶۵	۰/۲	۳۳	۰/۱۱۲
۱۰	Astragalus - Daphnae	Fair	٪۷۳	۰/۲۹	۳۹	۰/۱۳
۱۱	Astragalus - Agropyrum	Good	٪۸۴	۰/۲۱	۳۶	۰/۱۱۳
۱۲	Anabasis aphylla - Artemisia	Poor	٪۶۵	۰/۰۸۱	۲۵	۰/۰۹
۱۳	Anabasis aphylla - Astragalus	Poor	٪۶۴	۰/۲۲	۲۹	۰/۱۰۱
۱۴	Anabasis aphylla - Scariola	Poor	٪۶۲	۰/۰۸	۲۴	۰/۰۸۹
۱۵	Annual grasses - Annual forbs	Poor	٪۷۱	۰/۰۱۷	۵	۰/۰۱۲
۱۶	Artemisia aucheri - Scariola	Poor	٪۵۸	۰/۰۷۱	۲۳	۰/۰۸۵
۱۷	Artemisia sieberi	Poor	٪۶۰	۰/۰۶	۲۲	۰/۰۸۱
۱۸	Artemisia sieberi-Anabasis	Poor	٪۵۳	۰/۰۷۴	۲۳	۰/۰۸۶
۱۹	Artemisia sieberi-Astragalus	Poor	٪۵۶	۰/۰۷۳	۲۴	۰/۰۸۹
۲۰	Artemisia aucheri	Poor	٪۶۶	۰/۰۵۶	۲۰	۰/۰۸۷
۲۱	Astragalus - Acantholimon	Poor	٪۵۵	۰/۰۸۹	۲۶	۰/۰۹۴
۲۲	Astragalus - Bromus	Poor	٪۵۴	۰/۰۸۸	۲۶	۰/۰۹۲
۲۳	Astragalus - Daphnae	Poor	٪۶۲	۰/۱۱	۲۸	۰/۰۹۹
۲۴	Astragalus - Scariola	Poor	٪۵۵	۰/۰۹	۲۸	۰/۰۹۸
۲۵	Euphorbia - Hertia	Poor	٪۵۱	۰/۰۵۱	۱۹	۰/۰۷۴
۲۶	Scariola - Astragalus	Poor	٪۵۰	۰/۰۷۷	۲۴	۰/۰۸۸
۲۷	Scariola - Cousinia	Poor	٪۴۹	۰/۱	۲۸	۰/۰۹۹
۲۸	Artemisia sieberi - Scariola	Very Poor	٪۴۷	۰/۰۴۶	۱۶	۰/۰۶۵
۲۹	Astragalus - Cirsium	Very Poor	٪۴۶	۰/۰۵	۱۹	۰/۰۷۴
۳۰	Astragalus - Eryngium	Very Poor	٪۴۲	۰/۰۴۹	۱۸	۰/۰۷۱
۳۱	Gundelia - Cousnia	Very Poor	٪۴۱	۰/۰۳۹	۱۴	۰/۰۶۱
۳۲	Hertia - Scariola	Very Poor	٪۴۵	۰/۰۳۶	۱۲	۰/۰۵۶
۳۳	Rosa persica - Scariola	Very Poor	٪۴۶	۰/۰۲۹	۱۱	۰/۰۵۱
۳۴	Scariola - Cousinia	Very Poor	٪۴۱	۰/۰۲۴	۱۰	۰/۰۴۹
۳۵	Scariola - Euphorbia	Very Poor	٪۴۶	۰/۰۲۳	۸	۰/۰۴۵
۳۶	Sophora - Lanunea	Very Poor	٪۴۷	۰/۰۳۴	۱۱	۰/۰۵۲
۳۷	Gundelia - Cousnia	Very Poor	٪ ۴۰/۸	۰/۰۴۱	۱۵	۰/۰۶۱

جدول ۲. تیپ‌های گیاهی، وضعیت مرتع، میزان همبستگی داده‌های زمینی و مدل CASA،

مقادیر RUE، NPP و LUE در منطقه نیمه‌خشک و سرد

ردیف	تیپ گیاهی	وضعیت مرتع	همبستگی (R ²)	RUE	NPP	LUE
۱	Artemisia aucheri - Astragalus	Fair	٪۷۵	۰/۵	۲۰	۰/۰۳۶
۲	Artemisia sieberi - Scariola	Fair	٪۷۲	۰/۲۳	۱۳	۰/۰۴۲
۳	Artemisia sieberi-Anvillea	Fair	٪۷۳	۰/۳۵	۱۵	۰/۰۲۷
۴	Artemisia aucheri	Fair	٪۷۸	۰/۲۶	۱۴	۰/۰۲۵
۵	Astragalus - Cousinia	Fair	٪۶۵	۰/۳۹	۱۷	۰/۰۳۱
۶	Astragalus - Scariola	Fair	٪۶۶	۰/۴۵	۱۹	۰/۰۳۴
۷	Atriplex - Panicum	Fair	٪۶۸	۰/۱۹	۱۳	۰/۰۲۳
۸	Convolvulus - Astragalus	Fair	٪۶۷	۰/۲۴	۱۴	۰/۰۲۵
۹	Anabasis aphylla -	Poor	٪۶۴	۰/۱۴	۱۲	۰/۰۲۱
۱۰	Anabasis aphylla - Astragalus	Poor	٪۶۱	۰/۲۱	۱۳	۰/۰۲۴
۱۱	Anabasis aphylla - Scariola	Poor	٪۵۹	۰/۱۷	۱۲	۰/۰۲۲
۱۲	Annual grasses - Annual forbs	Poor	٪۶۹	۰/۰۶	۴	۰/۰۰۸
۱۳	Artemisia sieberi	Poor	٪۶۷	۰/۱۱	۱۰	۰/۰۱۹
۱۴	Artemisia sieberi-Anabasis	Poor	٪۶۱	۰/۱۲۵	۱۱	۰/۰۲
۱۵	Artemisia sieberi-Astragalus	Poor	٪۶۴	۰/۱۶۵	۱۲	۰/۰۲۲
۱۶	Artemisia aucheri	Poor	٪۶۶	۰/۱	۱۰/۵	۰/۰۱۹
۱۷	Astragalus - Phlomis	Poor	٪۶۴	۰/۱۳	۱۲	۰/۰۲۱
۱۸	Scariola - Astragalus	Poor	٪۵۱	۰/۱۲	۱۰	۰/۰۱۸
۱۹	Scariola - Cousinia	Poor	٪۴۴	۰/۱۱	۹	۰/۰۱۷
۲۰	Scariola - Launea	Poor	٪۴۱	۰/۱۲	۹	۰/۰۱۶۵
۲۱	Scariola - Stachys	Poor	٪۳۷	۰/۱۲	۹	۰/۰۱۶
۲۲	Anabasis aphylla	Very Poor	٪۶۳	۰/۱	۱۰	۰/۰۱۷
۲۳	Anabasis aphylla - Peganum	Very Poor	٪۳۶	۰/۰۹۲	۸	۰/۰۱۵
۲۴	Anabasis aphylla - Launea	Very Poor	٪۴۱	۰/۰۹۶	۹	۰/۰۱۵۵
۲۵	Artemisia sieberi - Scariola	Very Poor	٪۴۹	۰/۰۸۹	۸	۰/۰۱۴۶
۲۶	Gundelia - Cousinia	Very Poor	٪۳۵	۰/۰۹۵	۸	۰/۰۱۵۱
۲۷	Launea - Noaea	Very Poor	٪۳۲	۰/۰۹۱	۸	۰/۰۴۱۰
۲۸	Noaea - Cousinia	Very Poor	٪۳۹	۰/۰۸۱	۷/۵	۰/۰۱۳۷
۲۹	Scariola - Euphorbia	Very Poor	٪۳۴	۰/۰۸۷	۸	۰/۰۱۴۱
۳۰	Stachys - Euphorbia	Very Poor	٪۳۳	۰/۰۸۵	۸	۰/۰۱۴۵
۳۱	Stachys - Scariola	Very Poor	٪۳۳	۰/۰۸۶	۸	۰/۰۱۴۴

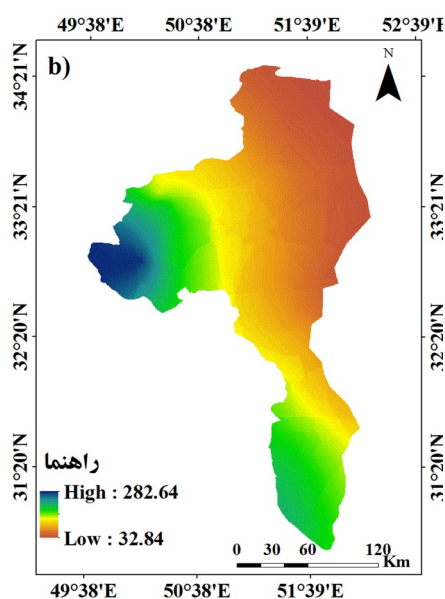
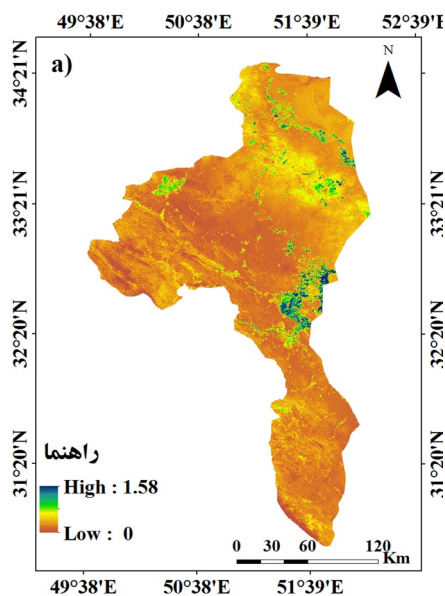
جدول ۳. تیپ‌های گیاهی، وضعیت مرتع، میزان همبستگی داده‌های زمینی و مدل CASA، مقادیر RUE، NPP و LUE در منطقه نیمه‌خشک و گرم

ردیف	تیپ گیاهی	وضعیت مرتع	همبستگی (R ²)	RUE	NPP	LUE
۱	Artemisia aucheri - Astragalus	Fair	٪۶۴	۰/۲۱	۱۸	۰/۰۲۲
۲	Artemisia sieberi - Scariola	Fair	٪۶۰	۰/۲	۱۶	۰/۰۲
۳	Artemisia sieberi - Stipa	Fair	٪۶۶	۰/۱۹۲	۱۴	۰/۰۱۷
۴	Astragalus - Cousinia	Fair	٪۶۲	۰/۲	۱۷	۰/۰۲۱
۵	Astragalus - Stipa	Fair	٪۶۸	۰/۲	۱۶	۰/۰۲
۶	Atriplex - Panicum	Fair	٪۵۹	۰/۲	۱۷	۰/۰۲۱
۷	Astragalus - Stipa	Good	٪۷۱	۰/۲۱	۱۸	۰/۰۲۳
۸	Artemisia sieberi	Poor	٪۶۰	۰/۱۹۵	۱۴	۰/۰۱۸
۹	Artemisia sieberi - Pteropyrum	Poor	٪۵۲	۰/۲	۱۶	۰/۰۲
۱۰	Artemisia sieberi - Stipa	Poor	٪۵۶	۰/۱۸۵	۱۲	۰/۰۱۵
۱۱	Artemisia sieberi-Anabasis	Poor	٪۵۰	۰/۱۷۶	۱۱	۰/۰۱۴۲
۱۲	Artemisia sieberi-Astragalus	Poor	٪۵۳	۰/۱۹۱	۱۴	۰/۰۱۷
۱۳	Cornulaca - Annual grasses	Poor	٪۵۰	۰/۱۶۵	۷	۰/۰۰۹
۱۴	Hammada - Polygonum	Poor	٪۴۱	۰/۱۷	۱۰	۰/۰۱۳
۱۵	Scariola - Stipa	Poor	٪۳۹	۰/۱۵۶	۶	۰/۰۰۸
۱۶	Stipa - Artemisia	Poor	٪۴۰	۰/۱۶۲	۷	۰/۰۰۹
۱۷	Artemisia sieberi	Very Poor	٪۴۲	۰/۱۵۸	۶	۰/۰۰۷
۱۸	Artemisia sieberi - Salsola	Very Poor	٪۳۸	۰/۱۶۱	۶	۰/۰۰۸
۱۹	Artemisia sieberi - Scariola	Very Poor	٪۳۲	۰/۱۳۵	۴	۰/۰۰۵
۲۰	Halocnemum	Very Poor	٪۳۴	۰/۱۶۱	۷	۰/۰۰۹
۲۱	Rosa persica - Scariola	Very Poor	٪۳۱	۰/۱۴	۵	۰/۰۰۶
۲۲	Scariola - Euphorbia	Very Poor	٪۲۸	۰/۱۶۲	۷	۰/۰۰۹

بررسی راندمان فتوسنتز در تیپ‌های گیاهی

در منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب تیپ گیاهی *Annual grasses - Annual forbs* با وضعیت مرتعی فقیر کمترین میزان NPP (۴/۴ g C/m² y-1) را نشان می‌دهد و در بین بوته‌زارها بیشترین مقدار NPP در وضعیت خوب و کمترین در خیلی فقیر (Scariola - Euphorbia، ۸/۱۴ g C/m² y-1) مشاهده شد. اما در بوته‌زارهایی که گونه دوم از نوع درختچه (Astragalus - Daphnae) وضعیت فقیر) نسبت به سایر بوته‌زارها

مقایسه میزان LUE در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی، نشان داد که میزان کارایی فتوسنتز گیاهان، بسته به شرایط اقلیمی متفاوت است به طوری که، بیشترین میزان راندمان فتوسنتز در اقلیم مرطوب و نیمه‌سرد و کمترین در منطقه نیمه‌خشک سرد در تیپ گیاهان یک ساله مشاهده شد (شکل ۵). در یک اقلیم مشخص نیز، گیاهان بسته به وضعیت مرتعی و نوع فرم رویشی از نظر کارایی فتوسنتز مقادیر متفاوتی را نشان دادند.



شکل ۶. میزان شاخص RUE (g C/m2 y-1/mm) و بارش (a) و سالیانه (b) در مناطق نیمه‌استپی استان اصفهان

در منطقه مرطوب و نیمه مرطوب سرد نیز، میزان این شاخص RUE، 0.3 تا 0.17 g C/m2 y-1/mm بود که بیشترین مقدار در تیپ *Astragalus - Daphnae* (وضعیت متوسط) و کمترین در *Annual grasses - Annual forbs* (وضعیت فقیر) مشاهده شد (جدول ۱).

میزان در وضعیت فقیر مقدار NPP بیشتر بود. در مناطق درختچه‌زار (*Daphnae - Astragalus*) نسبت به بوته‌زارها در وضعیت مرتعی یکسان (فقیر) میزان NPP زیادتر گزارش شد. مقدار LUE نیز، با NPP یک روند مشابه داشت به طوری که، بیشترین مقدار در *Astragalus - Ferula* (0.11 g C (MJ)-1) و کمترین در *Annual grasses - Annual forbs* (0.12) ملاحظه شد (جدول ۱).

در منطقه نیمه خشک سرد، بیشترین مقدار NPP و LUE در تیپ گیاهی *Artemisia aucheri - Astragalus* با وضعیت متوسط ($19/5$ g C/m2 y-1) و کمترین در *Annual grasses - Annual forbs* با وضعیت مرتعی فقیر ($3/5$ g C (MJ)-1) مشاهده شد. ضمن آنکه در مناطق بوته‌زار نسبت به تیپ یک‌ساله، مقدار NPP و LUE زیادتر و بوته‌زارهای با وضعیت خیلی فقیر نسبت به فقیر و متوسط، مقادیر کمتری را نشان دادند (جدول ۲).

در منطقه نیمه خشک گرم، به دلیل افزایش دما و خشکی در اواخر فصل رویش، دوره فنولوژی کوتاه‌تر و نسبت به نیمه خشک سرد مقدار NPP کمتری دارند؛ در این ناحیه بیشترین مقدار NPP و LUE در تیپ گیاهی *Astragalus - Stipa* ($18/4$ g C/m2 y-1) و کمترین در *Artemisia sieberi - Scariola* (4 g C/m2 y-1) با وضعیت مرتعی خوب و کمترین در *Artemisia sieberi - Scariola* (0.05 g C (MJ)-1) با وضعیت مرتعی خیلی فقیر وجود داشت (جدول ۳).

راندمان بارندگی بر تولید سالیانه در تیپ‌های گیاهی

مقادیر شاخص RUE، در تیپ‌های مرتعی بیانگر آن بود که میزان این شاخص در اقلیم‌های مختلف، متفاوت است. طبق نقشه تولیدشده (شکل ۶)، در سراسر منطقه مورد مطالعه، مقدار RUE، 0 تا $1/58$ g C/m2 y-1/mm بود که در تیپ‌های مرتعی، محدوده‌ای بین 0.17 تا 0.50 را دارا بود.

نیمه‌خشک، نسبت به مرطوب در مقایسه با سایر عوامل اقلیمی ناشی می‌شود و به دلیل پایین بودن میزان نزولات، تغییرات مقادیر سالیانه و فصلی، تاثیرات شدیدتر و گسترده‌تری بر پوشش گیاهی دارند (Miranda et al., 2011). در مناطق نیمه‌خشک، نسبت اندام‌های هوایی به زمینی کاهش می‌یابد که موجب افزایش توانایی آنها در استفاده از رطوبت خاک می‌شود؛ لذا مقدار RUE نیز افزایش می‌یابد (Snyman, 2004). مقدار RUE، در مناطق نیمه‌خشک گرم نیز نسبت به نیمه‌خشک سرد کاهش یافت که دلیل آن را می‌توان افزایش دما و تبخیر و تعرق دانست که نقش مهمی بر مقدار تاثیرات بارش و نفوذ در خاک دارد (Binbol&Zemba, 2007).

تعداد تیپ‌های گیاهی نیز در اقلیم‌های مختلف آب و هوایی، نشان‌دهنده تنوع بیشتر در غرب و جنوب منطقه بود که به علت وجود توپوگرافی در منطقه و تغییرات میزان بارش و خصوصیات خاک به وجود آمده است (Richerson&Lum, 1980)؛ اما در این مناطق، شیب زمین، باعث شده تا به‌رغم افزایش بارش، این بارش دریافتی نفوذ کمتری به داخل خاک داشته و مقدار RUE نسبت به مناطق دشتی کاهش یابد (Krishnan et al., 2015; Ols et al., 2017).

رشد گیاهان با گرم شدن هوا در ماه مارس آغاز شده و به دلیل خشکی هوا تا ماه ژوئن، به‌شدت کاهش می‌یابد. به‌طور کلی محدودیت دمایی در فصل‌های سرد و خشک، در اواخر خشکی از عوامل عدم تولیدکنندگی در گیاهان به‌شمار می‌رود که باعث می‌شود دوره فنولوژی گیاهان تنها در چند ماه از سال وجود داشته باشد (Ghazanfar, 1997; Lázaro et al., 2001) که این امر از دلایل کاهش میزان تولید خالص اولیه و تثبیت کربن در مراتع نیمه‌استپی استان اصفهان، نسبت به مناطق مرطوب استوایی و خزری به‌شمار می‌آید. لذا، در این منطقه مقدار LUE (شکل ۵) نیز، پایین است که بسته به شرایط آب و هوایی نیز، مقدار NPP در تیپ‌های مرتعی ($4-38/85 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}$) و

در منطقه نیمه‌خشک و سرد، نسبت به منطقه مرطوب و نیمه‌مرطوب سرد در برخی تیپ‌های گیاهی، مقدار شاخص RUE افزایش می‌یابد. در تیپ گیاهی *Artemisia aucheri - Astragalus* (وضعیت متوسط - $0/5 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}/\text{mm}$) بیشترین و در تیپ *Annual grasses - Annual forbs* (وضعیت فقیر - $0/06 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}/\text{mm}$) کمترین مقدار محاسبه شد (جدول ۲).

در منطقه نیمه‌خشک گرم نسبت به نیمه‌خشک سرد، تاثیرات بارش، کاهش نشان داد؛ به‌طوری‌که تیپ‌های گیاهی *Artemisia sieberi - Scariola* (وضعیت خیلی فقیر - $0/135 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}/\text{mm}$) و *Astragalus - Stipa* (وضعیت خوب - $0/21 \text{ g C/m}^2 \text{ y}^{-1}/\text{mm}$) به‌ترتیب کمترین و بیشترین مقدار شاخص RUE را نشان دادند (جدول ۳).

به‌طور کلی، در منطقه مورد مطالعه، مقدار RUE در تیپ‌های گیاهی به ترتیب با وضعیت خوب، متوسط، فقیر و خیلی فقیر در وضعیت فیزیوگرافی یکسان، کاهش داشت (شکل ۵).

۴- بحث

نقشه‌های ماهیانه NPP (شکل ۳)، نشان‌دهنده آن است که رشد رویشی در مناطق شرقی و شمالی نسبت به غرب و جنوب، زودتر آغاز می‌شود که دلیل آن کاهش دما در مناطق غربی و جنوبی، به دلیل شرایط کوهستانی است، اما به تدریج، هر چه به سمت شرق و شمال می‌رویم، از سردی هوا در ماه مارس کاسته شده و فنولوژی گیاهان شروع می‌شود. در اواخر فصل رویش نیز در مناطق شرق و شمال، به دلیل کاهش رطوبت، دوره رشد گیاهان زودتر پایان می‌یابد؛ لذا وضعیت توپوگرافی منطقه را می‌توان یکی از دلایل تغییرات NPP در منطقه دانست (Li et al., 2018b).

طبق نتایج (اشکال ۵ و ۶)، میزان تاثیر بارش بر پوشش گیاهی RUE در برخی مناطق نیمه‌خشک بیشتر است؛ این امر از اهمیت بارش در مناطق

به ساقه نیز، از جمله مواردی است که در همبستگی بین داده‌های ماهواره‌ای و زمینی تاثیرگذار می‌شود. به طوری که سطح تاج پوشش و همچنین شاخص سطح برگ در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب نسبت به نیمه خشک تراکم، بیشتر است که این امر سبب کاسته شدن تاثیر بازتاب خاک بر طیف گیاهان می‌شود؛ لذا تیپ گیاهی *Astragalus - Agropyrum* به دلیل داشتن تراکم بیشتر، دارای همبستگی زیادتری است ($R^2 = 0.84$). میزان شاخص سطح برگ نیز، یکی از مهمترین عوامل در تولید گیاهان به شمار می‌آید (Hibbard et al., 2005)؛ لذا یک گونه گیاهی مانند *Artemisia sieberi* در اقلیم‌های مختلف از نظر تولید در واحد سطح، متفاوت است (شکل ۵). علاوه بر این، محدودیت‌های شرایط اکولوژیکی مانند الگوی پراکنش مکانی و زمانی بارش، باعث می‌شود گیاهان در اقلیم‌های مختلف از نظر الگوی‌های پراکنش مختلفی نشان دهند (Woodward & Williams, 1987)، به طوریکه در مناطق خشک به دلیل کاهش بارندگی، نواحی با شرایط رطوبتی مناسب مانند آبراهه‌ها، گیاهان تجمع بیشتری یافته و الگوی پراکنش کپه‌ای را تشکیل می‌دهد. لذا طبق بررسی‌های انجام شده، داشتن الگوی پراکنش کپه‌ای در مناطق نیمه خشک و تخریب یافته، سبب افزایش خطای نمونه برداری و کاهش همبستگی با تصاویر ماهواره‌ای می‌شود (Maestre & Cortina, 2002).

در مناطق مختلف، بهره برداری و تخریب گیاهان نیز باعث تغییرات زیادی در خصوصیات گیاهان و منطقه می‌شود. در مناطق مرتعی با وضعیت فقیر و خیلی فقیر نسبت به وضعیت خوب و متوسط مقدار LUE و RUE پایین تر است (شکل ۵). طبق تحقیقات انجام شده نیز، چرای دام در مراتع در کوتاه مدت، موجب کاهش نسبت برگ به ساقه (Mortimer, 1992) و در دراز مدت، موجب کاهش تراکم (Manning et al., 2013) می‌شود. در همین حال، استرس وارد شده به گیاهان، تاثیر زیادی در توانایی تولیدکنندگی گیاهان دارد که این امر

LUE (MJ-1) $0.05 - 0.13$ متفاوت است که به دلیل رطوبت بیشتر خاک و کاهش تبخیر، میزان NPP در مناطق غرب و جنوب بیشتر است (Melillo et al., 1993). طبق نتایج این تحقیق (شکل ۵)، تغییرات میزان RUE و LUE در تمامی تیپ‌های گیاهی بررسی شده دارای یک روند یکسان است که نشان می‌دهد در مناطق خشک و نیمه خشک، میزان رطوبت خاک نقش مهم‌تری در افزایش تولیدکنندگی گیاهان دارند که براساس مشاهدات (Middleton et al., 2016) نیز، نوع تیپ گیاهی از نظر ساختار گیاهی و فیزیولوژی در افزایش، LUE و RUE و در نتیجه مقدار NPP، نقش تعیین کننده‌ای دارند. بطوری که گیاهان درختچه‌ای و بوته‌ای نسبت به گراس‌ها و گیاهان یک ساله، توانایی بیشتری در استفاده از سایر طبقات خاک دارند و این گیاهان، به دلیل داشتن ساختار چوبی در ساقه‌ها، نسبت به گراس‌ها مقدار آب کمتری را در اثر تبخیر از دست می‌دهند؛ ضمن آنکه عمق ریشه‌ها در گیاهان درختچه‌ای نیز بیشتر بوده و کارایی بیشتری در تولیدکنندگی دارد (Schwinning et al., 2002). علاوه بر این، داشتن ریشه‌های عمیق، سبب افزایش نگهداری خاک و کاهش فرسایش آبی در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب می‌شود (Gyssels et al., 2005)؛ بنابراین در تیپ درختچه‌ای نسبت به بوته‌زارها، مقدار NPP بیشتری داشته و تیپ گراس‌ها و پهن برگ‌های یک ساله، کمترین مقدار NPP در منطقه را نشان می‌دهند (شکل ۵).

کاهش میزان همبستگی بین NPP مدل سازی شده و برآورد شده در مناطق نیمه خشک، نسبت به مرطوب و نیمه مرطوب (شکل ۴)، بیانگر تاثیر فتوسنتز و سبزینگی در بازتاب گیاهان در بررسی تصاویر ماهواره‌ای است به طوری که با خشکی خاک از میزان کلروفیل گیاهان کاسته شده که طبق مطالعات (Gamon et al., 1995; Faramarzi et al., 2018)، نقش مهمی در همبستگی داده‌های زمینی و ماهواره‌ای و صحت نتایج دارد. میزان تراکم گیاهی و نسبت برگ

بررسی کرد. شناسایی تغییرات NPP، با کمک تصاویر مودیس و داده‌های زمینی، در منطقه مورد مطالعه نشان داد که میزان تولید خالص اولیه در مقیاس فصلی، تحت تاثیر شرایط منطقه‌ای و اقلیمی قرار می‌گیرد؛ بطوری که در مناطق کوهستانی نسبت به دشتی، فنولوژی گیاهان زودتر آغاز شده؛ اما دیرتر تمام می‌شود و طول دوره فنولوژی نیز نقش مهمی در مقدار NPP دارد. وضعیت مراتع و شرایط منطقه نیز باعث می‌شود مناطق مختلف از جهت میزان تراکم پوشش گیاهی، درصد تاج پوشش و الگوی پراکنش یکسان نبوده؛ لذا میزان همبستگی بین داده‌های زمینی و تصاویر ماهواره‌ای تحت تاثیر شرایط منطقه‌ای مانند نوع تیپ گیاهی، ویژگی‌های ساختاری گیاهان، تراکم گیاهی، وضعیت مرتع و فیزیولوژی گیاهان قرار می‌گیرد که نقش مهمی در طیف گیاهان دارد که مقادیر مختلفی مشاهده شد.

در مناطق با وضعیت مرتعی خوب، شرایط نگهداری رطوبت در خاک نیز بهتر می‌شود، از طرفی نوع تیپ گیاهی و فرم رویشی، از عواملی هستند که بر مقدار NPP در یک منطقه تاثیر می‌گذارند. گیاهان درختچه‌ای و گراس‌ها به ترتیب بیشترین و کمترین مقدار NPP را نشان می‌دهند. تاثیر بارندگی بر پوشش گیاهی، رابطه مستقیمی با LUE در منطقه مورد مطالعه دارد که به عواملی مانند فرم رویشی، شرایط منطقه‌ای، وضعیت مرتع و ویژگی‌های تیپ گیاهی مانند تراکم گیاهی و نوع گونه گیاهی وابسته است، این امر موجب می‌شود مقدار بارش در مناطق نیمه‌خشک، بیشترین تاثیر را بر راندمان تولید گیاهان داشته باشد و سایر عوامل موثر در تولید گیاهان را تحت الشعاع قرار دهد. عواملی نظیر خشکسالی و بهره‌برداری بیش از حد از مراتع، باعث کاهش راندمان بارش و کاهش تولید می‌شود که در این مناطق با یک سینرژی مثبت، زمینه را برای تخریب بیشتر مراتع فراهم می‌کند.

کاسته‌شدن مقدار شاخص سطح برگ کلروفیل و فتوسنتز را نشان می‌دهد. مناطق تخریب‌شده، واقع در اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب، به دلیل کاهش تراکم گیاهان و لگدکوبی دام‌ها، دچار فرسایش آبی شده و در اقلیم‌های نیمه‌خشک نیز، فرسایش بادی افزایش می‌یابد که این امر، نقش بسیار مهمی در سله بستن و کاهش عمق خاک، کاهش لاشبرگ و در نتیجه کاهش نفوذپذیری خاک در برابر آب باران و افزایش رواناب می‌شود. در مناطق با شیب زیادتر، اثرات فرسایش و کاهش نفوذپذیری، بیشتر مشاهده می‌شود (Zheng, 2006) که این امر با افزایش سیلاب و تخریب گیاهان همراه است. لذا در تیپ‌های گیاهی تخریب‌شده به دلیل کاهش رطوبت خاک و عمق خاک، گیاهان تولیدکنندگی کمتری دارند که در بررسی‌های مختلف، مقادیر LUE (Fensholt et al., 2006) و RUE (de Jong et al., 2011) در سایر مناطق، مورد تایید قرار گرفته است. بنابراین، این مناطق (دارای وضعیت مرتعی فقیر و خیلی فقیر) در مقابل دوره‌های خشکسالی، شکنندگی بیشتری نسبت به مناطق مرتعی با وضعیت خوب و متوسط دارند، اما در دوره‌های ترسالی، قابلیت احیایی کمتری از خود نشان می‌دهند. در همین حال، اقلیم‌های نیمه‌خشک، به دلیل شکنندگی بیشتر و تاثیرات خشکسالی، نسبت به اقلیم‌های مرطوب و نیمه‌مرطوب، مراتع فقیر و خیلی فقیر تخریب بیشتری دارند (Bogan et al., 2015). طبق قانون حال و انتقال مناطق نیمه‌خشک نسبت به خشک و نیمه‌خشک، دارای قابلیت ارتجاع کمتری بوده و برای احیا، نیازمند نیروی شدیدتری هستند (Holechek et al., 1989).

۵- نتیجه‌گیری

تغییرات NPP در مقیاس مکانی و زمانی، یکی از مهم‌ترین موارد قابل توجه در مدیریت مراتع محسوب می‌شود که به عوامل زیادی همچون RUE و LUE وابسته است و در شرایط اقلیمی مختلف، می‌توان آن را

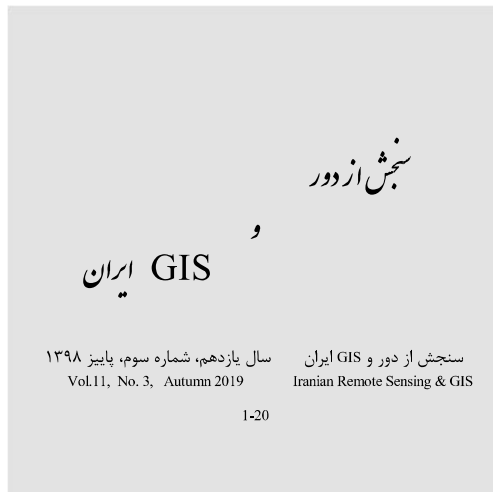
۶- منابع

- Adler, P., Raff, D. & Lauenroth, W., 2001, **The effect of grazing on the spatial heterogeneity of vegetation**, *Oecologia*, 128(4): 465-479.
- Alamdari, P., Nematollahi, O. & Alemrajabi, A.A., 2013, **Solar energy potentials in Iran: A review**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 21: 778-788.
- Almorox, J., Benito, M. & Hontoria, C., 2005, **Estimation of monthly Angström-Prescott equation coefficients from measured daily data in Toledo, Spain**, *Renewable Energy*, 30(6): 931-936.
- Attorre, F., Alfo, M., De Sanctis, M., Francesconi, F. & Bruno, F., 2007, **Comparison of interpolation methods for mapping climatic and bioclimatic variables at regional scale**, *International Journal of Climatology*, 27(13): 1825-1843.
- Bai, Z., Dent, D., Olsson, L., Schaepman, M., 2008, **Global assessment of land degradation and improvement: 1, identification by remote sensing**, Citeseer.
- Binbol, N. & Zemba, A., 2007, **Analysis of Rainfall Data for Effective Agricultural Production in Adamawa State, Nigeria**.
- Bogan, M.T., Boersma, K.S. & Lytle, D.A., 2015, **Resistance and resilience of invertebrate communities to seasonal and suprasonal drought in arid-land headwater streams**, *Freshwater Biology*, 60(12): 2547-2558.
- Dale, V.H., Joyce, L.A., McNulty, S., Neilson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., Hanson, P.J., Irland, L.C., Lugo, A.E. & Peterson, C.J., 2001, **Climate change and forest disturbances: climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides**, *BioScience*, 51(9): 723-734.
- de Jong, R., de Bruin, S., Schaepman, M. & Dent, D., 2011, **Quantitative mapping of global land degradation using Earth observations**, *International Journal of Remote Sensing*, 32(21): 6823-6853.
- Eisfelder, C., Kuenzer, C., Dech, S. & Buchroithner, M.F., 2013., **Comparison of two remote sensing based models for regional net primary productivity estimation—a case study in semi-arid Central Kazakhstan**, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(4): 1843-1856.
- Faramarzi, M., Heidarizadi, Z., Mohamadi, A. & Heydari, M., 2018, **Detection of Vegetation Changes in Relation to Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Semi-Arid Rangeland in Western Iran**, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 20(1): 51-60.
- Fensholt, R., Sandholt, I., Rasmussen, M.S., Stisen, S. & Diouf, A., 2006, **Evaluation of satellite based primary production modelling in the semi-arid Sahel**, *Remote Sensing of Environment*, 1.۱۸۸-۱۷۳ : (۳)۰۵
- Friedlingstein, P., Joel, G., Field, C.B. & Fung, I.Y., 1999, **Toward an allocation scheme for global terrestrial carbon models**, *Global Change Biology*, 5(7): 755-770.
- Gamon, J.A., Field, C.B., Goulden, M.L., Griffin, K.L., Hartley, A.E., Joel, G., Penuelas, J. & Valentini, R., 1995, **Relationships between NDVI, canopy structure, and photosynthesis in three Californian vegetation types**, *Ecological Applications*, 5(1): 28-41.
- Ghazanfar, S.A., 1997, **The phenology of desert plants: a 3-year study in a gravel desert wadi in northern Oman**, *Journal of Arid Environments*, 35(3): 407-417.
- Gitelson, A.A., Viña, A., Verma, S.B., Rundquist, D.C., Arkebauer, T.J., Keydan, G., Leavitt, B., Ciganda, V., Burba, G.G. & Suyker, A.E., 2006, **Relationship between gross primary production and chlorophyll content in crops: Implications for the synoptic monitoring of vegetation productivity**, *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 111(D8).
- Gyssels, G., Poesen, J., Bochet, E. & Li, Y., 2005, **Impact of plant roots on the**

- resistance of soils to erosion by water: a review**, Progress in physical geography, 29(2): 189-217.
- Hadian, F., Jafari, R., Bashari, H., Tarkesh, M. & Clarke, K.D., 2019, **Effects of drought on plant parameters of different rangeland types in Khansar region ,Iran**, Arabian Journal of Geosciences, 12(3): 93.
- Haxeltine, A. & Prentice, I., 1996., **A general model for the light-use efficiency of primary production**, Functional Ecology, 551-561.
- Hibbard, K., Law, B., Reichstein, M. & Sulzman, J., 2005, **An analysis of soil respiration across northern hemisphere temperate ecosystems**, Biogeochemistry, 73(1): 29-70.
- Holechek, J.L., Pieper, R.D. & Herbel, C.H., 1989, **Range management**, Principles and practices, Prentice-Hall.
- Hua, L., Liu, H., Zhang, X., Zheng, Y., Man, W. & Yin ,K., 2014, **Estimation Terrestrial Net Primary Productivity Based on CASA Model: a Case Study in Minnan Urban Agglomeration, China**, IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, p. 012153.
- Jafari, R., Bashari, H. & Tarkesh, M., 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, 1-17.
- Jafari, R., Bashari, H. & Tarkesh, M., 2017, **Discriminating and monitoring rangeland condition classes with MODIS NDVI and EVI indices in Iranian arid and semi-arid lands**, Arid land research and management, 31(1): 94-110.
- Kern, A., Marjanović, H., Dobor, L., Anić, M., Hlásny, T., Barcza, Z., 2017, **Identification of Years with Extreme Vegetation State in Central Europe Based on Remote Sensing and Meteorological Data**, South-east European forestry, 8(1): 1-20.
- Khajeddin, S.J., 1995, **A survey of the plant communities of the Jazmorian, Iran, using Landsat MSS data**, University of Reading, Pages.
- Krishnan, V., Murugaiya, R., Shanmugham, R. & Mariappan, M., 2015, **Assessing the Impact of Natural Factors on Desertification in Tamilnadu, India using Integrated Remote Sensing**, 1st International Electronic Conference on Remote Sensing. Multidisciplinary Digital Publishing Institute, pp. 1-16.
- Lázaro, R., Rodrigo, F., Gutiérrez, L., Domingo, F. & Puigdefábregas, J., 2001, **Analysis of a 30-year rainfall record (1967–1997) in semi-arid SE Spain for implications on vegetation**, Journal of arid environments, 48(3):373-395.
- Li, J., Wang, Z., Lai, C., Wu, X., Zeng, Z., Chen, X. & Lian, Y., 2018a, **Response of net primary production to land use and land cover change in mainland China since the late 1980s**, Science of The Total Environment, 639: 237-247.
- Li, W., Li, C., Liu, X., He, D., Bao, A., Yi, Q., Wang, B. & Liu, T., 2018b, **Analysis of spatial-temporal variation in NPP based on hydrothermal conditions in the Lancang-Mekong River Basin from 2000 to 2014**, Environmental monitoring and assessment, 190(6): 321.
- Li, X., Li ,G., Wang, H., Wang, H. & Yu, J., 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(3): 561.
- Maestre, F.T., Cortina, J., 2002, **Spatial patterns of surface soil properties and vegetation in a Mediterranean semi-arid steppe**, Plant and soil, 241(2): 279-291.
- Manning, A.D., Cunningham, R.B. & Lindenmayer, D.B., 2013, **Bringing forward the benefits of coarse woody debris in ecosystem recovery under different levels of grazing and vegetation density**, Biological Conservation, 157: 204-214.
- McCoy, R.M., 2005, **Field Methods in Remote Sensing**, Guilford New York.

- Melillo, J.M., McGuire, A.D., Kicklighter, D.W., Moore, B., Vorosmarty, C.J. & Schloss, A.L., 1993, **Global climate change and terrestrial net primary production**, *Nature*, 363(6426): 234.
- Meyfroidt, P., Lambin, E.F., Erb, K.-H. & Hertel, T.W., 2013, **Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use**, *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5): 438-444.
- Middleton, E.M., Huemmrich, K.F., Cheng, Y.-B. & Margolis, H.A., 2016, **12 Spectral Bioindicators of Photosynthetic Efficiency and Vegetation Stress**, *Hyperspectral remote sensing of vegetation*, 265.
- Miranda, J.d.D., Armas, C., Padilla, F. & Pugnaire, F., 2011, **Climatic change and rainfall patterns: effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast**, *Journal of Arid Environments*, 75(12): 1302-1309.
- Monteith, J., 1972, **Solar radiation and productivity in tropical ecosystems**, *Journal of applied ecology*, 9(3): 747-766.
- Mortimer, S.R., 1992, **Root length/leaf area ratios of chalk grassland perennials and their importance for competitive interactions**, *Journal of vegetation science*, 3(5): 665-673.
- Ols, C., Girardin, M.P., Hofgaard, A., Bergeron, Y. & Drobyshev, I., 2017, **Monitoring climate sensitivity shifts in tree-rings of eastern boreal North America using model-data comparison**, *Ecosystems*, 1-16.
- Pack, S.M., 2009, **A MODIS Imagery Toolkit for ArcGIS Explorer**.
- Pan, G., Sun, G.-J. & Li, F.-M., 2009, **Using QuickBird imagery and a production efficiency model to improve crop yield estimation in the semi-arid hilly Loess Plateau, China**, *Environmental Modelling & Software*, 24(4): 510-516.
- Pettorelli, N., Vik, J.O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C.J., Stenseth, N.C., 2005, **Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change**, *Trends in ecology & evolution*, 20(9): 503-510.
- Piao, S., Fang, J. & He, J., 2006, **Variations in vegetation net primary production in the Qinghai-Xizang Plateau, China, from 1982 to 1999**, *Climatic Change*, 74(1-3): 253-267.
- Raich, J.W. & Schlesinger, W.H., 1992, **The global carbon dioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate**, *Tellus B*, 44(2): 81-99.
- Rey, A., Pegoraro, E., Oyonarte, C., Were, A., Escribano, P. & Raimundo, J., 2011, **Impact of land degradation on soil respiration in a steppe (*Stipa tenacissima* L.) semi-arid ecosystem in the SE of Spain**, *Soil Biology and Biochemistry*, 43(2): 393-403.
- Richerson, P.J. & Lum, K.-I., 1980, **Patterns of plant species diversity in California: relation to weather and topography**, *The American Naturalist*, 116(4): 504-536.
- Rohli, R.V. & Vega, A.J., 2013, **Climatology**, Jones & Bartlett Publishers.
- Sanaiejad, S.H., Shah Tahmasbi, A.R., Sadr Abadi Haghighi, R. & Kelarestani, K., 2008, **A Study of Spectral Reflection on Wheat Fields in Mashhad Using MODIS Data**, *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Water and Soil Science* 12(45): 11-19.
- Schwinning, S., Davis, K., Richardson, L. & Ehleringer, J.R., 2002, **Deuterium enriched irrigation indicates different forms of rain use in shrub/grass species of the Colorado Plateau**, *Oecologia*, 130(3): 345-355.
- Shabanov, N., Wang, Y., Buermann, W., Dong, J., Hoffman, S., Smith, G., Tian, Y., Knyazikhin, Y. & Myneni, R., 2003, **Effect of foliage spatial heterogeneity in the MODIS LAI and FPAR algorithm over**

- broadleaf forests**, Remote Sensing of Environment, 85(4): 410-423.
- Snyman, H., 2004, **Short-term response in productivity following an unplanned fire in a semi-arid rangeland of South Africa**, Journal of Arid Environments, 56(3): 465-485.
- Tesfaye, S., Birhane, E., Leijnse, T. & van der Zee, S., 2017, **Climatic controls of ecohydrological responses in the highlands of northern Ethiopia**, Science of the Total Environment, 609: 77-91.
- Turner, D.P., Gower, S.T., Cohen, W.B., Gregory, M. & Maieresperger, T.K., 2002, **Effects of spatial variability in light use efficiency on satellite-based NPP monitoring**, Remote Sensing of Environment, 80(3): 397-405.
- van Minnen, J.G., Onigheit, J. & Alcamo, J., 2002., **Critical climate change as an approach to assess climate change impacts in Europe: development and application**, Environmental Science & Policy, 5(4): 335-34.V
- Woodward, F.I. & Williams, B., 1987, **Climate and plant distribution at global and local scales**, Vegetatio, 69(1-3): 189-197.
- Xu, B., Park, T., Yan, K., Chen, C., Zeng, Y., Song, W., Yin, G., Li, J., Liu, Q. & Knyazikhin, Y., 2018a, **Analysis of Global LAI/FPAR Products from VIIRS and MODIS Sensors for Spatio-Temporal Consistency and Uncertainty from 2012–2016**, Forests, 9(2): 73.
- Xu, L., Tu, Z., Zhou, Y. & Yu, G., 2018b, **Profiling Human-Induced Vegetation Change in the Horqin Sandy Land of China Using Time Series Datasets**, Sustainability, 10(4): 1068.
- Yaghmaei, L., Soltani, S. & Khodaghali, M., 2009, **Bioclimatic classification of Isfahan province using multivariate statistical methods**, International Journal of Climatology, 29(12): 1850-1861.
- Yu, D., Shi, P., Shao, H., Zhu, W. & Pan, Y., 2009, **Modelling net primary productivity of terrestrial ecosystems in East Asia based on an improved CASA ecosystem model**, International Journal of Remote Sensing, 30(18): 4851-4866.
- Yuan, J., Niu, Z., Wang, C., 2006, **Vegetation NPP distribution based on MODIS data and CASA model—A case study of northern Hebei Province**, Chinese Geographical Science, 16(4): 334-341.
- Zhang, X., Moran, M.S., Zhao, X., Liu, S., Zhou, T., Ponce-Campos, G.E. & Liu, F., 2014, **Impact of prolonged drought on rainfall use efficiency using MODIS data across China in the early 21st century**, Remote Sensing of Environment, 150: 188-197.
- Zheng, F.-L., 2006, **Effect of Vegetation Changes on Soil Erosion on the Loess Plateau1**, Pedosphere, 16(4): 420-427.
- Zu, J., Zhang ,Y., Huang, K., Liu, Y., Chen, N. & Cong, N., 2018, **Biological and climate factors co-regulated spatial-temporal dynamics of vegetation autumn phenology on the Tibetan Plateau**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 69: 198-205.



Modeling of semi-steppe rangelands degradation in Isfahan Province using MODIS images

Hadian, F.¹, Jafari, R.^{*2}, Bashari, H.², Tarkesh, M.³

- 1- Graduate Ph D in Range Management, Isfahan University of Technology
2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology
3- Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology

Abstract

Plants are one of the most important components of the ecosystem which are affected by natural and human factors. Therefore, the study of net primary production (NPP) is one of the main subjects in ecology. The main purpose of this research was to model spatial and temporal distributions of NPP and also to determine the degradation of vegetation types using Carnegie Ames Stanford Approach (CASA), Rain Use Efficiency (RUE) and Light Use Efficiency (LUE) models in semi-steppe rangelands of Isfahan Province. For this purpose, the 16- day MODIS NDVI images, metrological data, land cover maps and field study were applied in the study area. The results showed that the NPP rate increased from March (11.44gC/m²/mo) to May (41.07gC/m²/mo) while demonstrating a decreasing trend from the onset of June (2.2 g C/m²/mo) due to soil dryness. Climate, vegetation type and rangeland conditions had important roles in annual plant NPP and therefore the highest and lowest NPP were observed in *Astragalus- Daphnae* (38.85 gC/m² y-1) and *Artemisia sieberi* - *Scariola* (4 g C/m² y-1) vegetation types with maximum (0.13 g C (MJ)-1) and minimum (0.005 g C (MJ)-1) LUE, respectively. The amount of RUE decreased in degraded rangelands. Moreover, the correlation between field measurements and the CASA model decreased in semiarid warm climate and degraded rangelands. Therefore, rangeland conditions, vegetation type and climate condition must be taken into consideration in NPP monitoring and rangelands management.

Key word: NPP, CASA, RUE, LUE, range condition