

## مقایسه تولید واقعی و بالقوه اکوسیستم‌های مرتعی استان کهگیلویه و بویراحمد در وضعیت‌های مختلف مرتع

فاطمه جعفری<sup>۱</sup>، رضا جعفری<sup>۲</sup>، حسین بشری<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری علوم و مهندسی مرتع، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

نویسنده مسئول: [reza.jafari@iut.ac.ir](mailto:reza.jafari@iut.ac.ir)

### چکیده

تغییرات مکانی و زمانی تولید خالص اولیه از معیارهای اساسی تعیین کننده وضعیت اکوسیستم‌های مرتعی است. هدف پژوهش حاضر پهنه‌بندی و پایش تولید واقعی و بالقوه اکوسیستم‌های مرتعی استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از مدل‌های کسا و میامی از طریق داده‌های مودیس و میدانی در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۹ می‌باشد. صحت نقشه‌های تولیدی در ۲۵۳ سایت نمونه‌برداری در تیپ‌های مختلف گیاهی که دارای وضعیت‌های مرتعی خوب، متوسط، فقیر بودند، با کمک رگرسیون خطی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که اختلاف تولید واقعی و بالقوه در استان بیش از  $56 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  بوده که می‌تواند نشان‌دهنده اثرات منفی دخالت‌های انسان در اکوسیستم‌های مرتعی منطقه باشد. بیشترین ضریب تبیین  $0/84$  بین تولیدات مدل شده و واقعیت زمینی در تیپ *Astragalus spp.- Bromus tomentellus* با وضعیت خوب و کمترین مقدار  $0/28$  در تیپ گیاهی *Astragalus sieberi- Stipa capensis* با وضعیت فقیر مشاهده گردید. یافته‌های پژوهش نشان داد که در شرایط خشکسالی، تیپ پوشش گیاهی و وضعیت مرتع در برآورد تولیدات واقعی و بالقوه دارای اهمیت بالایی بوده و اختلاف این دو نوع تولید می‌تواند بعنوان شاخصی جهت تعیین و پایش وضعیت اکوسیستم‌های مرتعی مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** تیپ گیاهی، تولید خالص اولیه، مدل کسا، مدل میامی، سنجش از دور، خشکسالی

### مقدمه

اکوسیستم‌های مرتعی بیش از  $54\%$  از خشکی‌های سطح جهان را به خود اختصاص داده‌اند و سرویس‌های اجتماعی، بیولوژیک و اقتصادی زیادی را برای انسان فراهم می‌نمایند (۲۷). تولید خالص اولیه (Net Primary Production, NPP) به میزان کربن خالصی اطلاق می‌شود که طی فرایند فتوسنتز توسط گیاهان جذب می‌شود. بعبارت دیگر تولید اولیه خالص بیانگر چگونگی تعادل بین تولید بیوماس ناخالص طی فتوسنتز و تنفس گیاه است و در منابع علمی خدمات اکوسیستم اغلب از آن بعنوان نماینده‌ای از ظرفیت اکوسیستم‌ها برای ارائه خدمات اکوسیستم استفاده می‌شود و نقش محوری برای آن بعنوان نقطه شروع همه حیات هتروتروف‌ها در زمین در نظر می‌گیرند (۲۱). بررسی تغییرات مکانی و زمانی تولید خالص اولیه مراتع کاربردهای

مهمی در ارزیابی کارکرد اکولوژیک و مدیریت صحیح و پایدار دارد (۷، ۳۵). امروزه میزان تولید خالص اولیه روی زمین با کمک مدل‌سازی مطالعه می‌گردد که از آن جمله می‌توان به مدل‌های (CASA) Carnegie Ames Stanford Approach Model، Global Production Efficiency Model (GloPEM) و Terrestrial Uptake and Release of Carbon (TURC) اشاره نمود (۳، ۱۸، ۲۰).

بردفورد و همکاران (۵) در آمریکا میزان تغییرات فصلی و سالیانه تولید خالص اولیه را بررسی نمودند. در این تحقیق مقادیر تولید خالص اولیه برای گیاهان در زیر و روی زمین به صورت جداگانه محاسبه می‌گردد. ایشان از مدل کسا (CASA) برای مطالعه میزان تولید خالص اولیه در روی زمین استفاده می‌کنند. در تحقیق مذکور داده‌های هواشناسی ۲۰۰ ایستگاه هواشناسی، وضعیت بافت خاک و شاخص گیاهی (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج مطالعه حاکی از آن است که بافت خاک تاثیر بسیار کمی در میزان تولید خالص اولیه در منطقه دارد و عامل اصلی کنترل‌کننده تولید خالص اولیه تغییرات اقلیمی بخصوص در مقیاس فصلی می‌باشد که باعث می‌گردد میزان تولید خالص اولیه دچار تغییر گردد. ونگ و یانگ (۳۱) با استفاده از داده‌های سنجنش از دور مودیس (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer, MODIS) تولید اولیه خالص را در اکوسیستم‌های مرتعی HulunBuir برای اکوسیستم گراسلند  $2/9 \times 10^{13} \text{ gC/m}^2/\text{year}$  ۲۰۰۶ برآورد می‌کنند.

آن و همکاران (۲) برای پایش مرتع در منطقه کینگهای (Kinghai) چین از سال ۲۰۰۴-۱۹۹۰ تغییرات تولید خالص اولیه را با استفاده از داده‌های مودیس مورد بررسی قرار می‌دهند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که درصد تخریب مرتع از ۳۲/۸٪ به ۳۶/۷٪ بین سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۰ افزایش می‌یابد که منجر به کاهش تولید می‌گردد. لیو و همکاران (۱۵) در چین رابطه میان تغییرات تولید خالص اولیه و عوامل اقلیمی را با استفاده از مدل کسا و داده‌های مودیس بین سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۰۰ بررسی می‌کنند و نتایج نشان می‌دهد که میزان تغییرات تولید خالص اولیه در مقیاس سالیانه در پاسخ به اقلیم بسیار بیشتر از تغییرات آنها در طول فصول است. هادیان و همکاران (۹) با استفاده از داده‌های سنجنش از دور مودیس و مدل کسا تولید خالص اولیه را در اکوسیستم‌های مرتعی در تیپ‌های مختلف در شهرستان خوانسار تخمین می‌زنند. نتایج نشان می‌دهد در مناطقی که تیپ‌های درختچه‌ای حضور دارند کارایی مصرف نور به علت ریشه‌های عمیق‌تر این گیاهان بیشتر است. در ضمن تیپ‌هایی که از نظر وضعیت مرتع خوب هستند کارایی مصرف نور آنها نسبت به مرتع ضعیف و خیلی ضعیف بالاتر است. ساکی و همکاران (۲۸) با استفاده از مدل کسا تولید خالص اولیه در بالای سطح زمین در استان اصفهان را از سال ۲۰۱۶-۲۰۰۰ برآورد

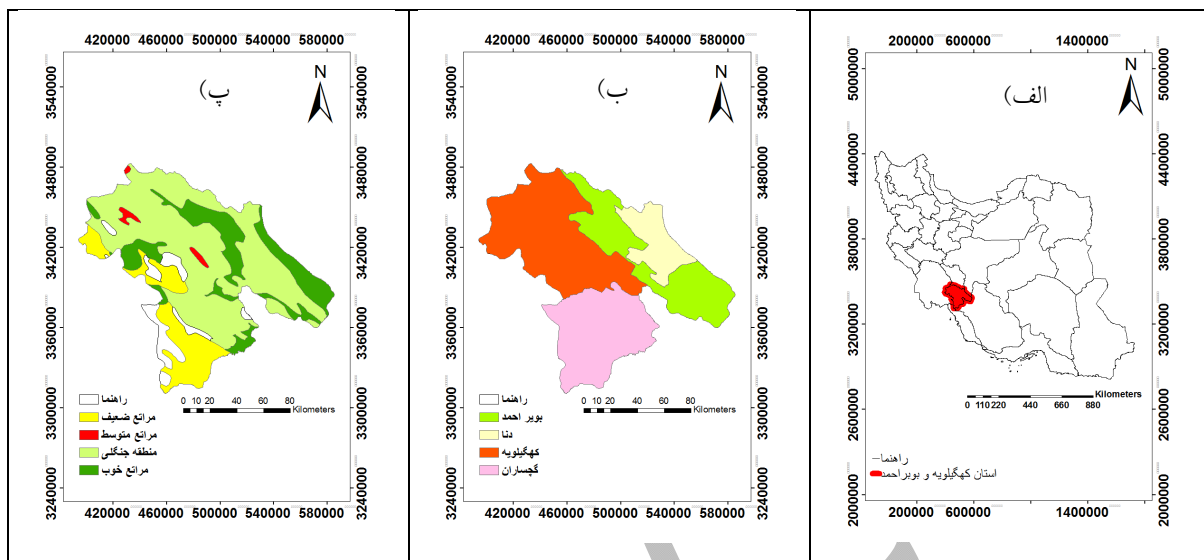
می‌کنند و نتایج نشان می‌دهد ضریب تبیین ۰/۹۱۷ بین داده‌های مشاهده شده تولید خالص اولیه در بالای سطح زمین و تخمین زده شده وجود دارد. در مطالعه دیگر نشان داده می‌شود که در مناطق خشک و نیمه‌خشک همبستگی بین داده‌های تولید زمینی و ماهواره‌ای به علت سبزینه کمتر و غالب شدن انعکاس خاک تقلیل می‌یابد (۶). علاوه بر مطالعات فوق که به مبحث تولید خالص اولیه واقعی می‌پردازند، مطالعاتی نیز با استفاده از مدل‌هایی مانند میامی (Miami) و پارامترهای کمتر و با تمرکز روی پارامترهای اقلیمی مانند بارش و دما پتانسیل تولید خالص اولیه را پهنه‌بندی می‌کنند (۱، ۸، ۱۶، ۲۶، ۳۰). همانطوریکه مشخص است این نوع پهنه‌بندی میزان حداکثری تولید را با توجه به شرایط اقلیمی مورد توجه قرار می‌دهد.

مطالعه تغییرات تولید پوشش گیاهی در استان کهگیلویه و بویراحمد به علت اقلیم‌های آب و هوایی متنوع، تنوع پوشش گیاهی بالا، تخریب اراضی و حادث شدن دوره‌های متوالی خشکسالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (۲۵، ۲۹). با توجه به وسعت مراتع، صعب‌العبور بودن آنها و همچنین سرعت تغییرات تولید گیاهی به علت تغییرات اقلیمی و انسانی در این منطقه، روش‌های سنتی زمینی با محدودیت‌های فراوانی روبرو هستند. بنابراین، پژوهش حاضر با بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور مودیس با قابلیت تکرارپذیری بالا و داده‌های اقلیمی زمینی، بطور مشخص با اهداف ذیل انجام شده است: (۱) پهنه‌بندی تولید خالص اولیه واقعی استان کهگیلویه و بویراحمد توسط مدل کسا و ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی از طریق داده‌های زمینی تولید در مقیاس تیپ‌های گیاهی؛ (۲) پهنه‌بندی تولید خالص اولیه بالقوه استان با استفاده از مدل میامی و (۳) بررسی تغییرات تولید واقعی و بالقوه در دوره زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

استان کهگیلویه و بویراحمد با مساحت  $15575 \text{ km}^2$  بین  $29^\circ$  و  $56'$  تا  $31^\circ$  و  $27'$  عرض شمالی و نیز  $49^\circ$  و  $53'$  تا  $51^\circ$  و  $53'$  طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). براساس طبقه‌بندی اقلیمی به روش آمبرژه، این استان به پنج منطقه اقلیمی مرطوب، نیمه مرطوب، نیمه‌خشک خفیف، نیمه‌خشک میانه و نیمه‌خشک شدید تقسیم می‌شود (۲۹). مراتع استان کهگیلویه و بویراحمد با وسعتی معادل تقریباً  $487000 \text{ ha}$  از مساحت استان را به خود اختصاص می‌دهد که حدود ۳۰٪ از سطح مراتع دارای وضعیت خوب با پوشش متراکم، حدود ۳۰٪ دارای وضعیت متوسط با پوشش نیمه متراکم و حدود ۴۰٪ دارای وضعیت ضعیف یا فقیر می‌باشد و حدود ۵۳٪ سطح استان پوشیده از جنگل است (۱۱، ۱۹).



شکل ۱. موقعیت منطقه مطالعاتی: الف) استان کهگیلویه و بویراحمد در ایران، ب) شهرستان‌های استان و پ) وضعیت پوشش گیاهی (۲۳)

#### داده‌های زمینی

داده‌های زمینی تولید در منطقه مطالعاتی در ۲۵۳ سایت در دوره رویشی سال ۲۰۱۸ در تپ‌های مختلف مرتعی جمع‌آوری گردید. از میان سایت‌های مذکور تعداد ۱۵۰ سایت در پژوهش حاضر برداشت شد و ۱۰۳ سایت نیز که توسط اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان برداشت گردید، مورد استفاده قرار گرفت (۲۳). سایت‌های نمونه‌برداری با استفاده از روش سیستماتیک- تصادفی در هر یک از تپ‌های گیاهی و وضعیت‌های مرتع انتخاب شدند. در هر سایت نمونه‌برداری ترانسکت-هایی در جهت و عمود بر شیب غالب منطقه با طول ۲۰۰m در نظر گرفته شد و نقطه GPS در وسط ترانسکت ثبت گردید و سپس در طول ترانسکت توسط پلات‌هایی به فاصله ۵ m و به ابعاد ۱×۲ m<sup>2</sup>، میزان تولید سال جاری با استفاده از روش نمونه‌برداری مضاعف اندازه‌گیری شد. وضعیت مرتع نیز که دارای فقط کلاس‌های خوب، متوسط و فقیر بود با استفاده از روش ۴ فاکتوری تعیین شد (۲۴). ارتباط بین داده‌های تولید جمع‌آوری شده بعنوان متغیر وابسته و تخمین زده شده توسط مدل کسا بعنوان متغیر مستقل نیز با استفاده از رگرسیون خطی و ضریب تبیین R<sup>2</sup> در هر یک از تپ‌های پوشش گیاهی مورد بررسی قرار گرفت.

#### داده‌های ماهواره‌ای

در پژوهش حاضر تصاویر MODIS NDVI با نام MOD13Q1 با توان تفکیک زمانی ۱۶ روزه و توان تفکیک مکانی ۲۵۰m ماهواره مودیس اخذ گردید (<http://earthexplorer.usgs.gov>). تصاویر مورد نیاز با فرمت HDF تهیه و با کمک ابزار (MODIS Conservation ToolKit) MCTK در نرم افزار ENVI مورد تصحیح هندسی قرار گرفت. برای اجرای مدل کسا که در منبع ژو

و همکاران (۳۴) تشریح شده است از داده‌های ۳۱ ایستگاه هواشناسی موجود در استان و استان‌های مجاور استفاده گردید. داده‌های هواشناسی مورد نیاز شامل میانگین درجه حرارت ماهانه، ساعات آفتابی ماهانه و کل بارش ماهانه از ژانویه ۲۰۰۸ تا دسامبر ۲۰۱۸ می‌باشد که از سازمان هواشناسی کل کشور اخذ گردید (۲۲). مقدار اندازه پیکسل کلیه نقشه‌های اقلیمی به منظور هماهنگی با تصاویر NDVI  $250 \times 250 \text{ m}^2$  تعیین شد. فایل رقومی کاربری و پوشش اراضی استان با مقیاس  $1/250000$  تولید شده توسط سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور، به منظور تفکیک پوشش مرتع از سایر پوشش‌ها مورد استفاده قرار گرفت (۳۲). جهت تهیه لایه اطلاعاتی پراکنش مکانی هر یک از متغیرهای اقلیمی کارایی روش‌های مختلف میان‌یابی در محیط نرم‌افزار ArcGIS با مقایسه آماره ریشه دوم مربعات خطا (RMSE) مورد آزمون قرار گرفت که از بین روش‌های مختلف، روش کریجینگ یونیورسال (Universal) کمترین خطا و بهترین عملکرد را داشت (۱۲). لایه اطلاعاتی تابش خورشیدی مورد استفاده در مدل کسا با استفاده از لایه اطلاعاتی مدل رقومی ارتفاع (DEM) در مقیاس ماهانه با استفاده از ماژول Solar Area Radiation در محیط نرم‌افزار ArcGIS به دست آمد.

مقایسه تولید واقعی و بالقوه

پوشش گیاهی هر منطقه به شدت تحت تاثیر شرایط اقلیمی و فعالیت‌های انسانی است. در پژوهش حاضر جهت اندازه‌گیری میزان تولید خالص اولیه واقعی از مدل کسا و تولید خالص اولیه بالقوه از مدل میامی استفاده گردید (۱۴). در مدل میامی با کمک داده‌های هواشناسی مانند بارش، دما و تبخیر بالقوه؛ تولید خالص اولیه بالقوه تعیین می‌شود تا بتوان تاثیر فعالیت‌های انسانی و سایر موجودات را بر تولید خالص اولیه تفکیک نمود (رابطه‌های ۱، ۲ و ۳). روند تغییرات مکانی و زمانی تولیدات مذکور از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ نیز مورد بررسی قرار گرفت.

$$NPP = 3000 \times [1 - e^{0.000695(v-20)}] \quad \text{رابطه ۱}$$

$$V = \frac{1.05 \times r}{\sqrt{1 + (1 + 1.05 \times r/L)}} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$L = 3000 \times 25t + 0.05 \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه‌ها، NPP میزان پتانسیل تولید خالص اولیه، V میانگین تبخیر و تعرق واقعی سالیانه، L میانگین تبخیر و تعرق پتانسیل سالیانه، r مجموع بارش سالیانه و t میانگین دمای سالیانه می‌باشد.

## بررسی خشکسالی در منطقه مطالعاتی

شناخت و بررسی پدیده‌های اقلیمی از جمله پدیده خشکسالی که اثرات مستقیمی بر تولید پوشش گیاهی و اکوسیستم دارد، ضروری می‌باشد. بدین منظور برای بررسی تغییرات تولید در ارتباط با عوامل اقلیمی، وضعیت خشکسالی منطقه مطالعاتی بر اساس شاخص استاندارد بارندگی سالانه (Standard Index of Annual Precipitation, SIAP) در مقیاس شهرستان طی سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۸ بررسی شد (۴). برای محاسبه شاخص استاندارد بارندگی سالانه، از بارندگی سالانه و میانگین درازمدت بارندگی استفاده گردید (رابطه ۴ و جدول ۱).

$$SIAP = \frac{P_i - \bar{p}}{SD} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه؛  $P_i$  مقدار بارش در سال مورد نظر،  $\bar{p}$  میانگین درازمدت بارندگی و  $SD$  انحراف معیار بارندگی در بلندمدت می‌باشد.

جدول ۱. طبقه‌بندی کلاس خشکسالی بر اساس شاخص استاندارد بارندگی سالانه

محدوده شاخص	کلاس خشکسالی
$SIAP > -0.5$	نرمال و بالای نرمال
$-1.0 < SIAP \leq -0.5$	کم
$-2.0 < SIAP \leq -1.0$	متوسط
$SIAP \leq -2.0$	شدید

## نتایج

ارتباط بین تولید برآورد شده و واقعیت زمینی

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که در کلیه وضعیت‌های مختلف مرتعی مورد مطالعه بین داده‌های زمینی تولید و مقدار برآورد شده توسط مدل کسا در سال ۲۰۱۸ ارتباط قابل قبولی وجود دارد و معنادار می‌باشد ( $p < 0.05$ ). میزان ضریب تبیین از ۰/۳۱ مربوط به تیپ گیاهی *Astragalus carpinus*- *Stipa capensis* تا ۰/۸۴ مربوط به تیپ گیاهی *Astragalus spp.*- *Bromus tomentellus* متغیر بود (جدول ۲). مراتع با وضعیت خوب غالباً از گندمیان چندساله مانند گونه‌های *Hordeum bulbosum* و *Bromus tomentellus* و انواع گونه‌های گون (*Astragalus spp.*) تشکیل شده که به صورت بسیار پراکنده انواع گونه‌های *Stipa* و *Agropyron spp.* نیز دیده می‌شوند. در ارتفاعات بالاتر از ۱۵۰۰m علف گندمی مهم دیگری مانند *Bromus tomentellus* با *Festuca ovina* و *Prangos ferulacea* و انواع گونه‌ها از جنس *Stipa* همراه می‌شود. در این مراتع بیشترین مقدار ضریب تبیین بین داده‌های زمینی و مدل شده در تیپ *Astragalus spp.*- *Bromus tomentellus* ۰/۸۴ و کمترین مقدار در تیپ *Apium graveolens*- *Prangos ferulacea* ۰/۵۱ بود. در مراتع با وضعیت متوسط بیشترین مقدار ضریب تبیین بین داده‌های زمینی و مدل شده در تیپ *Ferulago angulate*- *Prangos ferulacea* ۰/۸۲ و کمترین مقدار در تیپ *Prangos*

*ferulacea- Dorema aucheri* ۰/۴۲ گردید. در مراتع با وضعیت فقیر بیشترین مقدار ضریب تبیین بین داده‌های زمینی و مدل

شده در تیپ *Astragalus spp.-Festuca ovina* ۰/۷۵ و کمترین مقدار در تیپ *Astragalus sieberi- Stipa capensis* ۰/۲۸

شد. پوشش جنگلی منطقه مطالعاتی که غالبا از بلوط تشکیل شده است مقادیر بالایی از تولید خالص اولیه را به خود اختصاص

داده است (جدول ۲).

جدول ۲. مقادیر تولید خالص اولیه و میزان ضریب تبیین آن با داده‌های زمینی در تیپ‌ها و وضعیت‌های مختلف گیاهی

تیپ گیاهی	وضعیت مرتع	NPP (gC/m <sup>2</sup> /month)	R <sup>2</sup> (p-value)
<i>Astragalus adscendens</i>	متوسط	14/73	0/54 (0)
<i>Astragalus spp.- Bromus tomentellus</i>	خوب	16/02	0/84 (0)
<i>Astragalus susianus- Daphne mucronata</i>	متوسط	14/85	0/69 (0)
<i>Astragalus spp.- Prangos ferulacea</i>	متوسط	15/1	0/59(0)
<i>Astragalus susianus- Artemisia sieberi</i>	فقیر	17/19	0/81 (0)
<i>Stipa capensis- Scariola orientalis</i>	فقیر	7/28	0/42(0)
<i>Ferulago angulate- Prangos ferulacea</i>	متوسط	10/85	0/82 (0)
<i>Ferulago angulate- Dorema aucheri</i>	متوسط	12/49	0/7 (0/03)
<i>Hordeum bulbousm</i>	خوب	10/17	0/7 (0/03)
<i>Apium graveolens- Prangos ferulacea</i>	خوب	9/5	0/51 (0)
<i>Prangos ferulacea- Daphne mucronata</i>	خوب	13/4	0/74 (0)
<i>Prangos ferulacea- Ferulago angulate</i>	خوب	15/8	0/6 (0)
<i>Prangos ferulacea- Dorema aucheri</i>	متوسط	13/42	0/42 (0)
<i>Prangos ferulacea- Daphne mucronata</i>	متوسط	10/01	0/65 (0)
<i>Dorema aucheri- Prangos ferulacea</i>	خوب	11/32	0/67 (0)
<i>Dorema aucheri- Ferulago angulate</i>	متوسط	11/6	0/48(0)
<i>Dorema aucheri- Prangos ferulacea</i>	خوب	12/49	0/55 (0)
<i>Dorema aucheri- Astragalus susianus</i>	متوسط	10/1	0/5 (0)
<i>Astragalus carpinus- Stipa capensis</i>	فقیر	0/78	0/31 (0)
<i>Astragalus sieberi- Stipa capensis</i>	فقیر	0/59	0/28 (0)
<i>Astragalus adscendens- Daphne mucronata</i>	متوسط	8/91	0/63 (0)
<i>Astragalus spp.- Hordeum bulbousm</i>	خوب	11/82	0/52 (0)
<i>Gundelia tournefortii- Astragalus susianus</i>	فقیر	1/43	0/72 (0)
<i>Medicago spp.- Poterium sanguisorba</i>	فقیر	0/8	0/62(0)
<i>Astragalus spp. - Prangos ferulacea</i>	متوسط	5/99	0/78 (0)
<i>Astragalus spp. - Ferula spp.</i>	خوب	11/76	0/7 (0)
<i>Astragalus spp.</i>	متوسط	14/3	0/54 (0)
<i>Astragalus spp.-festuca ovina</i>	فقیر	0/7	0/75 (0)
<i>Gundelia. tournefortii - Cousnia spp.</i>	فقیر	0/36	0/32 (0)
<i>Quercus persica</i>	-	53/62	-

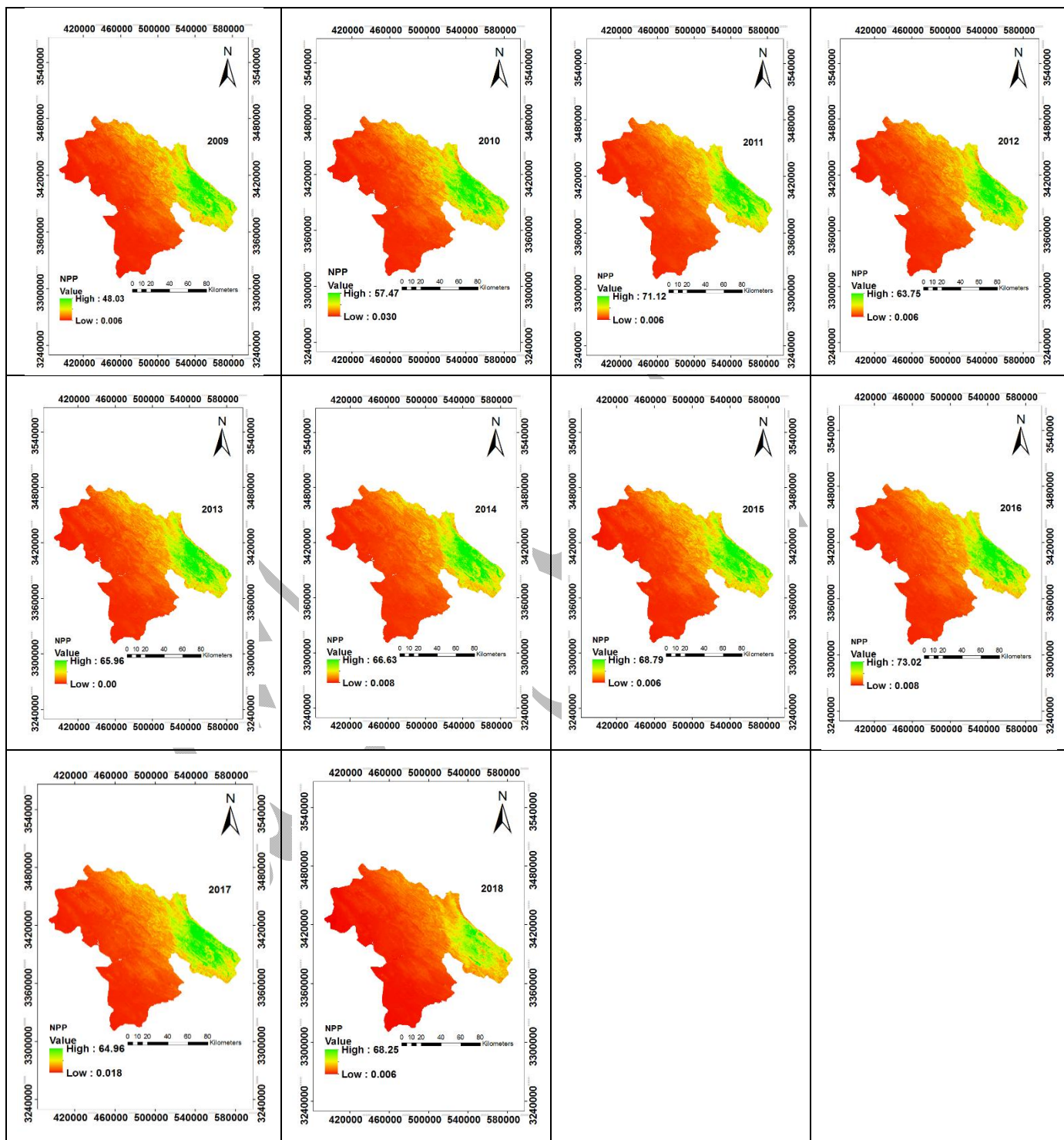
با توجه به ارتباط بالا و همچنین معناداری بالای ۵٪ در کلیه تیپ‌های مورد بررسی؛ پهنه‌بندی و تغییرات مکانی و زمانی تولید واقعی استان کهگیلویه و بویراحمد از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۲). میزان تولید واقعی در منطقه مطالعاتی بین  $0 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  صفر تا  $73 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  متغیر بود. بیشترین مقدار تولید مربوط به سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ و کمترین مقدار در سال ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ رخ داده است. مطابق نقشه های تولید واقعی (شکل ۲)، مقادیر بالاتر تولید در نواحی شرقی در مراتع با وضعیت خوب و مقادیر کمتر در جنوب و غرب در مراتع با وضعیت فقیر مشاهده می‌شود. مناطق شرقی و شمالی به دلیل کوهستانی بودن، بارش بیشتری دریافت می‌کنند و پوشش گیاهی متراکم‌تر دارند؛ بنابراین پتانسیل تولید بیشتری دارند. در مناطق جنوبی و غربی مانند شهرستان‌های کهگیلویه با اقلیم نیمه‌خشک و بارش کمتر، تولید مقدار پایین‌تری دارد. نقشه تولید بالقوه نیز که در سطح استان به کمک مدل میامی به‌دست آمد، نشان داد که مقادیر این تولید بین  $129 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  -۲۱ متغیر است (شکل ۳). نیمه‌های شمالی و شرقی و گاه نواحی مرکزی به دلیل وضعیت خوب پوشش گیاهی، پتانسیل بیشتری در تولید نسبت به مناطق جنوبی و غربی نشان دادند (شکل ۳). حداقل تولید مربوط به سال ۲۰۱۰ با حداکثر و حداقل به‌ترتیب برابر  $68 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و  $21 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و حداکثر تولید با حداکثر و حداقل به‌ترتیب برابر  $129 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و  $71 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  مربوط به سال ۲۰۱۲ بود.

میانگین تغییرات تولید واقعی و بالقوه از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸ در شکل ۴ مشخص شده است. حداکثر میزان تولید واقعی در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۶ به‌ترتیب به میزان  $35/5 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و  $36/5 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و حداقل آن در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به میزان  $24 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و  $28/7 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  بود. در سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۷ کاهش تولید واقعی وجود داشت و در بقیه سال‌ها روند افزایش ناچیز حدود  $5 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  دیده شد. تولید بالقوه نیز در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷ کاهش و در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ افزایش بیش از  $40 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  را نشان داد. نمودار تغییرات بین مقادیر واقعی و پتانسیل تولید در شکل ۴ نشان می‌دهد که بین سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۸ اختلاف زیادی بین تولید واقعی و بالقوه در استان وجود دارد.

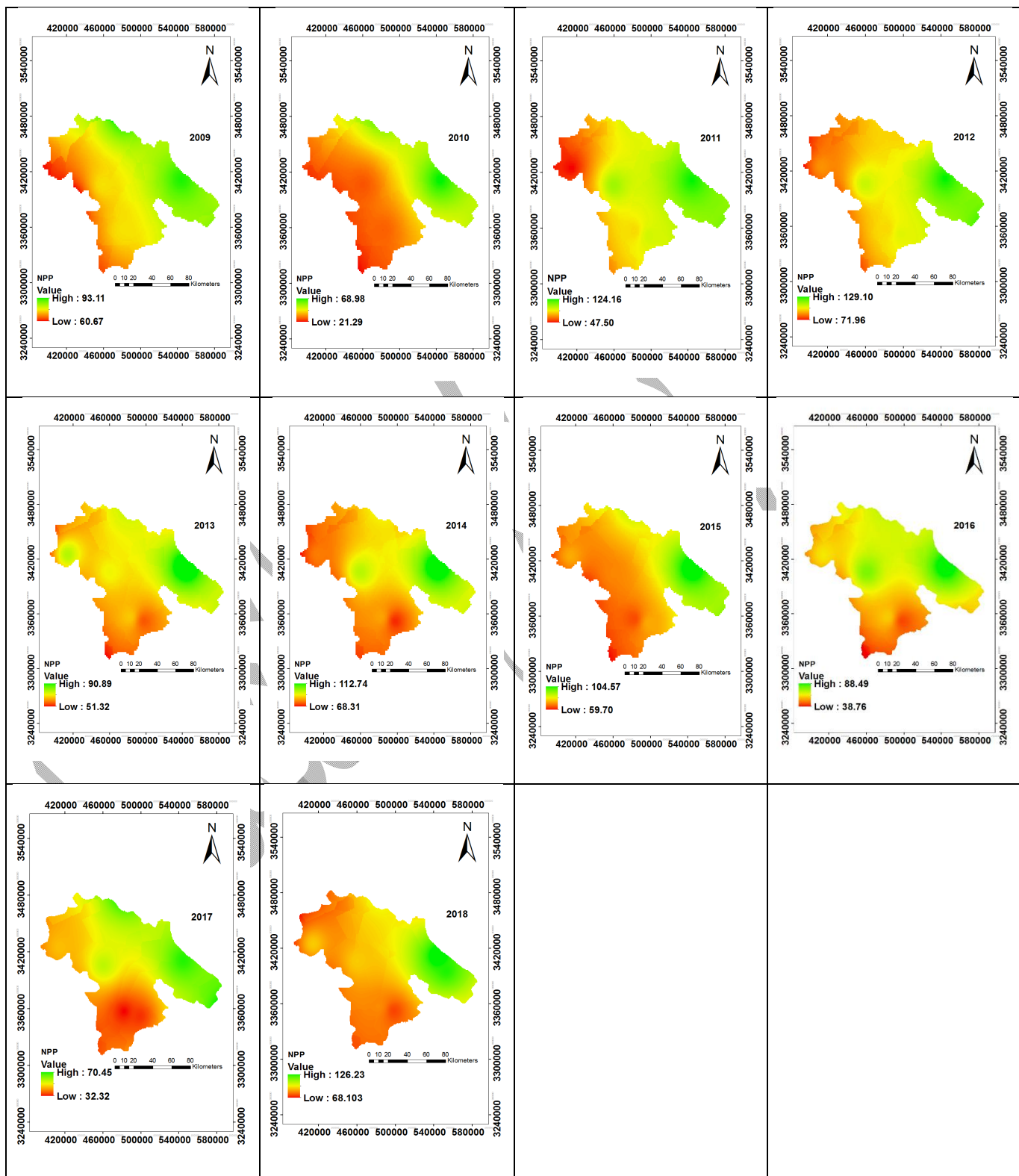
#### وضعیت خشکسالی در منطقه مطالعاتی

بر اساس شاخص استاندارد بارندگی سالانه، خشکسالی در بخش‌های مختلف منطقه در دوره مطالعاتی وجود داشته است. مقایسه مقادیر شاخص خشکسالی شهرستان‌های استان نشان داد که در شهرستان بویراحمد در سال ۲۰۰۸،  $7/37$ ؛ -۲۰۱۰،  $5/47$ ؛ -۲۰۱۳،  $2/8$ ؛ -۲۰۱۵،  $2/33$ ؛ -۲۰۱۶،  $4/6$ ؛ - و  $4/6$ ؛ -۲۰۱۷ و در شهرستان‌های دنا و کهگیلویه طی سال‌های ۲۰۰۸،  $2/8$ ؛ -۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ با میزان شاخص کمتر از ۴- و همچنین در شهرستان گچساران در سال ۲۰۰۸،  $7/3$ ؛ -۲۰۱۰،  $7/03$ ؛ -۲۰۱۶،  $2/24$ ؛ - و  $6/3$ ؛ -۲۰۱۷، خشکسالی‌های شدیدی به وقوع پیوسته است. خشکسالی سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۷ در تمام شهرستان‌های استان باعث کاهش تولیدات واقعی و بالقوه شده است (در شکل ۴). پاسخ پوشش گیاهی به خشکسالی در برخی از سال‌ها با

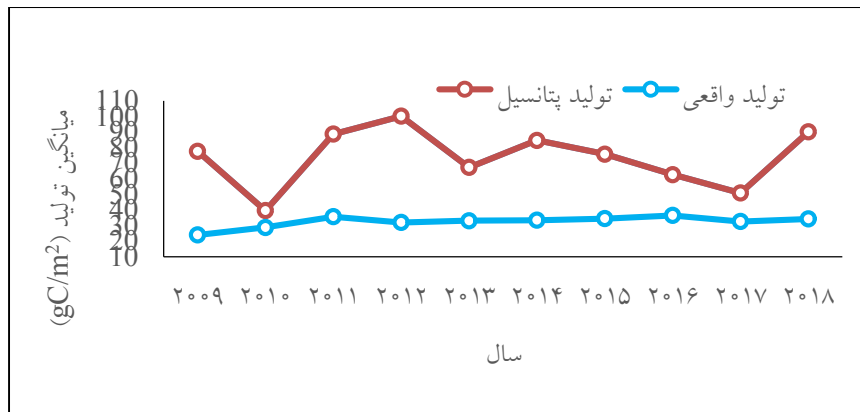




شکل ۲. تغییرات مکانی و زمانی تولید واقعی خردادماه مدل کسا بر حسب  $gC/m^2$  از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸



شکل ۳. تغییرات مکانی و زمانی تولید بالقوه خردادماه مدل میامی بر حسب  $gC/m^2$  از ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸



شکل ۴. میانگین تولید واقعی و بالقوه در منطقه مطالعاتی بین سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۸

تاخیر زمانی رخ داده است مانند سال ۲۰۱۰ که خشکسالی در استان حاکم بوده اما به علت بارش مناسب در سال ۲۰۰۹ تولید با تاخیر زمانی افزایش نسبی داشته است.

#### بحث

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که می‌توان تولید خالص اولیه مراتع منطقه مورد مطالعه را با استفاده از مدل‌سازی و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای در مناطق با تیپ‌های مختلف پوشش گیاهی و وضعیت‌های گوناگون مرتع با دقت قابل قبول به دست آورد ( $p < 0.05$ ). سایر مطالعات نیز گزارش می‌کنند که نقشه‌های تولیدی مدل کسا همبستگی مناسبی را با تولید تیپ‌های مختلف گیاهی دارند و می‌توانند در پهنه‌بندی و پایش تغییرات تولید به کار روند (۹، ۱۰، ۱۷). البته این مطالعات ذکر می‌کنند که میزان ارتباط بین تولید برآورده شده و واقعیت زمینی به نوع پوشش گیاهی، شرایط اقلیمی، الگوی پراکنش گیاهان، وضعیت مرتع و قدرت تفکیک مکانی سنجنده بستگی دارند. بر اساس نتایج پژوهش حاضر در مناطق جنوب و غرب استان که مراتع فقیرتری داشت میزان تولید واقعی نسبت به تولید خالص بالقوه بسیار کمتر می‌باشد که به نظر می‌رسد تخریب‌های درازمدت در منطقه موجب شده است که نسبت بین تولید خالص اولیه واقعی با بالقوه منطقه افزایش یابد. همچنین در مناطق شمالی، شرقی و تا حدودی مرکزی استان که مراتع مرغوب با وضعیت پوشش گیاهی خوب وجود داشت، اختلاف میان مقادیر واقعی و بالقوه مشاهده شد. بدیهی است در مناطق مرطوب و نیمه مرطوب قدرت بازسازی اکوسیستم بیشتر بوده و بهتر از مناطق دارای اقلیم نیمه‌خشک می‌تواند اثرات تخریب را جبران نماید که این موضوع در تحقیقات گذشته نیز ذکر شده است (۲۸، ۳۶). در مناطق تخریب یافته با وضعیت مرتعی فقیر، الگوی پراکنش گیاهی نامنظم بوده و خاک منطقه نیز در برخی مناطق فرسایش

یافته و به دلیل چرای دام، بوته‌کنی، تغییر کاربری اراضی، شخم مراتع و دیم‌زارهای رها شده، ترکیب گیاهان نیز تغییر پیدا کرده است و این عوامل روی کاهش میزان همبستگی اثرگذار است (۳۳).

در تیپ‌های گیاهی که دارای یک گونه غالب بوده مخصوصاً گونه گراس مانند تیپ‌های *Hordeum bulbosum* و یا گراس با گونه همراه دیگری بوده است نظیر تیپ گیاهی و *Astragalus spp.- Bromus tomentellus* ضریب تبیین داده‌های زمینی با تولید برآورد شده بیشتر بود ( $R^2 > 0.7$ ) که دلیل آن را می‌توان سبزینه‌ی بالای این گیاهان در ابتدای فصل رشد تحت تاثیر بارش‌های بهاری و اندام خشبی کمتر ذکر نمود که توسط شاخص گیاهی سنجنده مودیس ثبت شده است.

خشکسالی تاثیر بسزایی در میزان تولیدات واقعی و بالقوه اکوسیستم‌ها دارد (۱۳). نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که در استان کهگیلویه و بویر احمد در دوره مطالعاتی ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ در منطقه خشکسالی‌های با شدت‌های مختلف رخ داده است و این عامل بر تولید پوشش گیاهی تاثیر زیادی گذاشته است. بطور مثال در سال ۲۰۰۸ خشکسالی شدیدی در منطقه رخ داده که نتیجه آن این بوده است که میزان تولید در سال ۲۰۰۹ با تاخیر یکساله کمترین مقدار در دوره مطالعاتی باشد (شکل‌های ۲ و ۴). همچنین به علت خشکسالی‌های سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۷ میزان تولید کاهش یافته و در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۸ به علت نرمال بودن شرایط خشکسالی، میزان تولید افزایش یافته است. همانطوریکه مشخص است میزان میانگین تولید بالقوه بالاتر از تولید واقعی است که این میزان در منطقه مطالعاتی بیش از  $76 \text{ gC/m}^2$  بود. بیشتر بودن تولید بالقوه نسبت به تولید واقعی نشان‌دهنده این است که اگر شرایط اقلیمی منطقه مناسب باشد و تخریب جنگلها و مراتع کاهش یابد، شاهد اکوسیستمی سالم با تولید حداکثری خواهیم بود. بررسی تغییرات تولید در استان با توجه به دوره‌های خشکسالی و ترسالی نشان داد که در دوره‌های خشکسالی مقدار کاهش تولید در نیمه‌های جنوبی، تا حدودی مرکزی و غربی در شهرستانهای گچساران و کهگیلویه که مراتع فقیرتری دارند به دلیل وجود اقلیم نیمه‌خشک بسیار بیشتر است. اما در نیمه‌های شرقی و شمالی در شهرستانهای بویراحمد و دنا به دلیل اقلیم مرطوب و نیمه‌مرطوب و وجود مراتع مرغوب شرایط خشکسالی تاثیر چشمگیری بر روی پوشش گیاهی نداشته است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به افزایش فشار بر مراتع کشور و از جمله استان کهگیلویه و بویراحمد جهت درآمد بیشتر، این اکوسیستم‌های طبیعی روز به روز در حال تخریب بوده و توانایی تولید آنها کاهش یافته است. لذا، پژوهش حاضر با هدف پهنه‌بندی میزان تولیدات

واقعی و بالقوه و بررسی تغییرات آنها در دوره مطالعاتی در این استان با استفاده از مدل‌های کسا، میامی و تصاویر ماهواره‌ای انجام و صحت نقشه‌های تولیدی با استفاده از داده‌های میدانی بررسی گردید. ضریب تبیین بالای انواع تیپ گیاهی و تولید به دست آمده از مدل کسا نشان داد که می‌توان از این مدل و تصاویر مودیس برای تخمین مقدار تولید و پراکنش مکانی و زمانی استفاده نمود. به طور کلی نتایج نشان داد که مقدار تولید به عواملی مختلفی از جمله اقلیم، نوع پوشش گیاهی، وضعیت مرتع، خشکسالی و تیپ گیاهی وابسته است. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان تولید بالقوه به ترتیب  $29 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و  $73 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و تولید واقعی به ترتیب  $73 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  و  $0 \text{ gC/m}^2/\text{month}$  در تمام سال‌ها مقدار تولید بالقوه بالاتر از تولید واقعی بود. بر اساس نتایج بدست آمده، مقدار تولید واقعی و بالقوه و همچنین میزان افزایش آنها در نیمه غربی مانند شهرستان کهگیلویه و جنوبی مانند گچساران که دارای وضعیت مرتعی فقیر بودند، در سال‌های بدون خشکسالی از مناطق با وضعیت خوب مانند شهرستان‌های بویراحمد و دنا در نیمه‌های شرقی و شمال شرقی کمتر بود. ارتباط بالای  $80\%$  بین تولید تخمین زده شده و داده‌های زمینی تولید در سایت‌های نمونه‌برداری در برخی از تیپ‌های گیاهی تایید کننده صحت نقشه‌های تولید در منطقه مطالعاتی بود. البته قدرت تفکیک مکانی سنجنده، دقت برداشت‌های زمینی و دقت سامانه مکان یاب جهانی نقش مهمی در میزان خطای محاسبات تولید دارند.

به طور کلی پهنه‌بندی میزان تولید و بررسی تغییرات تولید در مقیاس مکانی و زمانی از جمله ابزارهای کلیدی در مدیریت مراتع به شمار می‌رود. مقایسه نتایج تولید خالص اولیه واقعی و بالقوه استان کهگیلویه و بویراحمد در دوره مطالعاتی نشان داد که علیرغم عدم وجود خشکسالی شدید در برخی از سال‌ها و بالا بودن میزان تولید بالقوه، اما میزان تولید واقعی کاهش یافته است که این امر می‌تواند نشان دهنده کاهش مساحت مراتع و تخریب پوشش گیاهی این استان طی سال‌های گذشته و تغییر سطح مراتع از وضعیت خوب و متوسط به فقیر باشد. به نظر می‌رسد بخش عمده‌ای از این تغییرات ناشی از چرای دام بیش ظرفیت مراتع و فعالیت‌های انسانی است که خود صدمات جبران‌ناپذیری در پی خواهد داشت و لذا توجه ادارات منابع طبیعی و آبخیزداری استان به این امر مهم لازم و ضروری می‌باشد.

#### منابع مورد استفاده

1. Alexandrov, G.A. and T. Matsunaga. 2008. Normative productivity of the global vegetation. *Carbon Balance and Management* 3(1): 1-8.

2. An, R., Z. Wang, H.L. Wang, H. Wu, and J.A. Quaye-Ballard. 2014. Monitoring rangeland degradation on the “Three River Headwaters” region in 1990 and 2004, Qinghai, China. 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium: 3526-3529.
3. Bao, G., Y. Bao, Z. Qin, X. Xin, Y. Bao, S. Bayarsaikan, Y. Zhou, and 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. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 46: 84-93.
4. Bazrafshan, J. and A. Khalili. 2013. Spatial analysis of meteorological drought in Iran from 1965 to 2003. *Desert* 18(1): 63-71.
5. Bradford, J.B., W.K. Lauenroth, I.C. Burke, and J.M. Paruelo. 2006. The influence of climate, soils, weather, and land use on primary production and biomass seasonality in the US Great Plains. *Ecosystems* 9(6): 934-950.
6. Diouf, A. and E. Lambin. 2001. Monitoring land-cover changes in semi-arid regions: remote sensing data and field observations in the Ferlo, Senegal. *Journal of Arid Environments* 48(2): 129-148.
7. Gang, C., Y. Zhang, Z. Wang, Y. Chen, Y. Yang, J. Li, J. Cheng, J. Qi, and I. Odeh. 2017. Modeling the dynamics of distribution, extent, and NPP of global terrestrial ecosystems in response to future climate change. *Global and Planetary Change* 148: 153-165.
8. Grosso, S.D., W. Parton, T. Stohlgren, D. Zheng, D. Bachelet, S. Prince, K. Hibbard, and R. Olson. 2008. Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature. *Ecology* 89(8): 2117-2126.
9. Hadian, F., R. Jafari, H. Bashari, M. Tartesh, and K.D. Clarke. 2019. Estimation of spatial and temporal changes in net primary production based on Carnegie Ames Stanford Approach (CASA) model in semi-arid rangelands of Semirom County, Iran. *Journal of Arid Land* 11(4): 477-494.
10. He, Y., W. Yan, Y. Cai, F. Deng, X. Qu, and X. Cui. 2022. How does the net primary productivity respond to the extreme climate under elevation constraints in mountainous areas of Yunnan, China? *Ecological Indicators* 138: 108817.
11. Karami, A. and J. Fegghi. 2012. Investigation of Quantitative metrics to protect the landscape in land use by sustainable pattern (Case study: Kohgiluyeh and Boyer Ahmad). *Journal of Environmental Studies* 37(7): 79-88. (In Farsi)
12. Karamouz, M., M. Fallahi, and S. Nazif. 2010. Analysis of spatial variation of precipitation: comparison of conventional and Kriging methods. *Iran-Water Resources Research* 6 (1): 1-9. (In Farsi)
13. Li, S. and S. He. 2022. The variation of net primary productivity and underlying mechanisms vary under different drought stress in Central Asia from 1990 to 2020. *Agricultural and Forest Meteorology* 314: 108767.
14. Lieth, H. (1975). Modeling the primary productivity of the world. Primary productivity of the biosphere. Springer, New York. 237-263.
15. Liu, C., X. Dong, and Y. Liu. 2015. Changes of NPP and their relationship to climate factors based on the transformation of different scales in Gansu, China. *CATENA* 125: 190-199.
16. Liu, Y. and W. Song. 2022. Mapping human appropriation of net primary production in agroecosystems in the Heihe River Basin, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 335: 107996.
17. Liu, Y., R. Zhou, H. Ren, W. Zhang, Z. Zhang, Z. Zhang, and Z. Wen. 2021. Evaluating the dynamics of grassland net primary productivity in response to climate change in China. *Global Ecology and Conservation* 28: 01574.

18. Liu, Z., M. Hu, Y. Hu, and G. Wang. 2018. Estimation of net primary productivity of forests by modified CASA models and remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing* 39(4): 1092-1116.
19. Majidi Karani, N. 2014. Historical and natural geography of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province, Aroon Press, Tehran. (In Farsi)
20. Marshall, M., K. Tu, and J. Brown. 2018. Optimizing a remote sensing production efficiency model for macro-scale GPP and yield estimation in agroecosystems. *Remote Sensing of Environment* 217: 258-271.
21. Mayer, A., L. Kaufmann, G. Kalt, S. Matej, M.C. Theurl, T.G. Morais, A. Leip, and K.-H. Erb. 2021. Applying the human appropriation of net primary production framework to map provisioning ecosystem services and their relation to ecosystem functioning across the European Union. *Ecosystem Services* 51: 101344.
22. Meteorological Organization. 2018. Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad meteorological organization, climate data, CD-ROM, Yasuj, Iran. (In Farsi)
23. Natural Resources and Watershed Mangement Administration. 2018. Field data and Information, Natural Resources and Watershed Mangement Administration of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province, CD-ROM, Yasuj, Iran. (In Farsi)
24. Parker, K.W. 1951. Application of ecology in the determination of range condition and trend. *Journal of Range Management* 7(1): 14-23.
25. Poorhashemi, M., Y. Khanmohammadian, S. Mohammadkhan, and M. Kakavand. 2020. The effect of land use and discharge changes on the coefficients of suspended sediment rating curve in Zagros forest areas. *Environmental Erosion Researches* 10(2): 21-40. (In Farsi)
26. Restrepo, H.I., C.R. Montes, B.P. Bullock, and B. Mei. 2022. The effect of climate variability factors on potential net primary productivity uncertainty: An analysis with a stochastic spatial 3-PG model. *Agricultural and Forest Meteorology* 315: 108812.
27. Roche, L.M. 2021. Grand challenges and transformative solutions for rangeland social-ecological systems – emphasizing the human dimensions. *Rangelands* 43(4): 151-158.
28. Saki, M., S. Soltani, M.T. Esfahani, and R. Jafari. 2019. Evaluating the variability of ANPP in central Iranian arid and semi-arid rangelands using CASA model and its relationship with climatic factors. *Geosciences Journal* 23(3): 531-545.
29. Salehi, H., Z. Rezapoor, and K. Namjoo. 2018. Climatic zoning of Kohgiluyeh & Boyerahmad Province using factor and cluster analysis. *Journal of Climate Research* 8(31): 137-149. (In Farsi)
30. Trischler, J., D. Sandberg, and T. Thörnqvist. 2014. Estimating the Annual Above-Ground Biomass Production of Various Species on Sites in Sweden on the Basis of Individual Climate and Productivity Values. *Forests* 5(10): 2521-2541.
31. Wang, R.J. and L.W. Yang. 2012. The Research of Livestock Carrying Capacity of Rangeland Ecosystem in HulunBuir. *Advanced Materials Research* 365: 110-114.
32. Watershed Mangement and Natural Resources Organization. 2007. Land Use and Land Cover Digital File of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province produced by Watershed Mangement and Natural Resources Organization using Landsat TM sensor, CD-ROM, Watershed Mangement and Natural Resources Organization Press, Tehran, Iran. (In Farsi)
33. Xiong, Q., Y. Xiao, M.W.A. Halmy, M.A. Dakhil, P. Liang, C. Liu, L. Zhang, B. Pandey, K. Pan, S.B. El Kafraway, and J. Chen. 2019. Monitoring the impact of climate change and human activities on grassland vegetation dynamics in the northeastern Qinghai-Tibet Plateau of China during 2000–2015. *Journal of Arid Land* 11(5): 637-651.

34. Yu, D., P. Shi, H. Shao, W. Zhu, and Y. Pan. 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.
35. Yu, D., Y. Li, B. Yin, N. Wu, R. Ye, and G. Liu. 2022. Spatiotemporal variation of net primary productivity and its response to drought in Inner Mongolian desert steppe. *Global Ecology and Conservation* 33: 01991.
36. Zeidler, J., S. Hanrahan, and M. Scholes. 2002. Land-use intensity affects range condition in arid to semi-arid Namibia. *Journal of Arid Environments* 52(3): 389-403.

## **Comparing actual and potential productions of rangeland ecosystems of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province in different rangeland conditions**

**Fateme Jafari Karjaei, Reza Jafari, Hossain Bashari**

Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran, Post Code: 841568311

Correspond author: [reza.jafari@iut.ac.ir](mailto:reza.jafari@iut.ac.ir)

### **Abstract**

Temporospatial changes of net primary production (NPP) is one of the essential indicators in determining rangeland ecosystem condition. Therefore, the aim of current research was to map and monitor the actual and potential NPP of rangeland ecosystems in Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad province using CASA and Miami models, MODIS and field data from 2009 to 2018. The accuracy of the produced NPP maps was assessed in 253 sampling sites located in different vegetation types with good, fair and poor rangeland conditions using linear regression. Results showed that the difference between actual and potential NPP was greater than 56 grC/m<sup>2</sup>/month, which can be a sign of human impacts and interferences on the rangeland ecosystems in the region. The highest and lowest relationships between modeled and field productions were observed in the *Astragalus* spp. - *Bromus tomentellus* vegetation type with good rangeland condition ( $R^2=0.84$ ) and *Astragalus sieberi*- *Stipa capensis* vegetation type with poor rangeland condition ( $R^2=28$ ), respectively. The research findings indicated the importance of drought conditions, vegetation type and rangeland condition in estimating actual and potential NPP and that the difference of these productions can be used as an index for determining and monitoring rangeland ecosystems condition.

**Keywords:** Vegetation type, net primary production, CASA model, Miami model, remote sensing, drought