مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹
ص ۴۷۱-۴۵۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱
تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۰۶/۲٤

پیش‌بینی تولید خالص اولیهٔ بیوم‌های مختلف دشت جیرفت در مواجهه با تغییر اقلیم

❖ **سعید برخوری؛** استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران.

❖ **الهام رفیعی ساردوئی؛** استادیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران.

❖ **محمد رضا رمضانی؛** دانشجوی دکتری مهندسی محیط زیست، مؤسسهٔ رودخانه‌های استرالیا و دانشکدهٔ مهندسی محیط زیست، دانشگاه گریفیت، ناتان، ۴۱۱۱، استرالیا.

❖ **علی آذره*؛** استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه جیرفت، کرمان، ایران.

❖ **مریم نسب پور مولایی؛** دانش آموختهٔ کارشناسی ارشد آبیاری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد کرمان، کرمان، ایران.

چکیده

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از چالش‌های اساسی در قرن حاضر به شمار می‌رود که بر بخش‌های مختلف اکوسیستم تأثیر گذاشته است. یکی از اجزای مهم و اساسی اکوسیستم‌ها، تولید خالص اولیه است که شاخص عملکرد اکوسیستم در مقابل تغییرات محیطی محسوب می‌گردد. از این‌رو با توجه به اهمیت موضوع در این پژوهش، جهت کمی کردن اثرات تغییر اقلیم روی اکوسیستم‌ها، تولید خالص اولیهٔ بیوم‌های مختلف در دشت جیرفت در دو دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۰۱ و ۲۰۳۰-۲۰۱۶ با استفاده از مدل BIOME-BGC شبیه‌سازی شد. جهت بررسی تغییر پارامترهای اقلیمی در دورهٔ آتی از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG ۶ استفاده شد. پس از اطمینان از قابلیت مدل LARS-WG در تولید داده‌های اقلیمی، اقدام به شبیه سازی متغیرهای اقلیمی در دورهٔ ۲۰۳۰-۲۰۱۶ تحت سناریوی RCP 4.5 شد. مقادیر NPP در دورهٔ گذشته با استفاده از مدل BIOME-BGC شبیه‌سازی و با داده‌های NPP حاصل از تصاویر مودیس MOD17A3 مقایسه و اعتبار سنجی‌گردید که نتایج حاکی از عملکرد بالای مدل در شبیه سازی NPP بود. پس از اطمینان از صحت مدل، تولید خالص اولیهٔ تحت داده‌های بارش و دما در دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶) شبیه‌سازی گردید. نتایج مقایسهٔ پارامترهای اقلیمی در دورهٔ پایه (۲۰۱۵-۲۰۰۱) و دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶) حاکی از افزایش بارش و دمای کمینه و بیشینه در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه می‌باشد. همچنین بر طبق نتایج، میزان NPP در دورهٔ آتی در تمامی بیوم‌ها افزایش یافته است که این افزایش در دورهٔ آتی درنتیجه افزایش بارندگی می‌باشد. بیشترین مقدار NPP در قسمت‌های شمالی و غربی منطقه به ترتیب مربوط به بیوم ۴ با پوشش کشاورزی، بیوم ۵ و ۲ با پوشش گیاهی مرتع بوده و کمترین مقدار آن مربوط به قسمت‌های جنوبی منطقهٔ مورد مطالعه می‌باشد.

کلید واژگان: مودیس، اکوسیستم، دما، بارش، Lars-WG.

* نویسنده مسئول: شماره تماس: ۹۸۹۱۳۲۵۷۶۶۵۶+
Email: aliazareh@ujiroft.ac.ir

[1] Net Primary Production

۱. مقدمه

تغییر اقلیم و پیامدهای ناشی از آن خصوصاً گرم شدن کرهٔ زمین، به عنوان بزرگترین معضل قرن بیست و یکم شناخته شده است [۲۱] به‌ویژه در دو دههٔ اخیر توجه بسیاری از محافل علمی و سیاسی جهان را به خود جلب کرده است. براساس گزارشات هیئت بین‌الدول تغییرات اقلیم (IPCC)[۱]، گرمایش جهانی و وقوع تغییر اقلیم با استفاده از مشاهدات دما که از سطح خشکی‌ها و آب‌های جهان به‌دست آمده، تأیید شده‌است. عمده‌ترین علت افزایش دما در طی ۵۰ سال اخیر ناشی از افزایش گازهای گلخانه‌ای بوده است. در بین گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن بیشترین اثر تابشی را دارد و بر موازنهٔ تابشی یا موازنهٔ گرمایی کل زمین تأثیر می‌گذارد [۱۴، ۲۵ و ۸]. تغییر اقلیم و افزایش گازهای گلخانه‌ای اثرات متعددی بر بخش‌های مختلف اکوسیستم به‌خصوص تولید خالص اولیهٔ[۲] پوشش‌های گیاهی مختلف دارد [۳۴]. تولید خالص اولیه، معیار پتانسیل ذخیرهٔ کربن در یک اکوسیستم بوده [۹، ۳۵] و به‌عنوان یک شاخص مهم برای چگونگی پاسخ اکوسیستم به تغییرات اقلیمی بیان شده‌است [۱، ۳۲ و ۶]. از این‌رو بررسی میزان آسیب‌پذیری به تغییرات اقلیمی و میزان تغییرات در وضعیت تولید خالص اولیه، یکی از مسائل مهم و کلیدی، به خصوص در اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک می‌باشد.

برآورد تولید خالص اولیه با استفاده از برداشت‌های میدانی، کاری زمان‌بر و هزینه‌بردار بوده و در مقیاس وسیع قابل انجام نیست [۲۲]. از این‌رو استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌خصوص سنجندهٔ MODIS[۳] و داده‌های سنجش از دور، راه‌کاری سریع و مقرون به صرفه، جهت برآورد تولید خالص اولیه به‌خصوص در مقیاس وسیع می‌باشد [۳۶]. هم‌چنین، جهت بررسی میزان آسیب‌پذیری اکوسیستم‌ها به تغییرات اقلیمی و کمی کردن اثرات تغییر اقلیم روی تولید خالص اولیهٔ پوشش‌های گیاهی مختلف، مدل‌های مبتنی بر سنجش از دور مختلفی نظیر مدل Miami [۱۰]، مدل Thornthwaite memorial [۱۱]، مدل Chikugo (ChKM) [۲۹]، مدل BIOME-BGC[۴] [۳۰، ۳۷] و... توسعه یافته‌اند. پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ اثر تغییر اقلیم بر تولید خالص اولیهٔ اکوسیستم‌ها با استفاده از این مدل‌ها انجام شده‌است [۱، ۲۲، ۱۲].

در پژوهشی به بررسی تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های مرتعی مغولستان با استفاده از مدل HLZ[۵] در محیط GIS پرداخته شد. نتایج نشان داد که NPP رابطهٔ معنی‌داری با پارامترهای اقلیمی دما و بارش داشته و تولید خالص اولیه در نتیجهٔ کاهش بارش، افزایش دما و تبخیر و تعرق کاهش می‌یابد [۳۶]. در مطالعه‌ای ارتباط تولید خالص اولیه و فاکتورهای اقلیمی در استان گانسو چین با استفاده از مدل CASA[۶] بررسی شد. نتایج نشان داد که ارتباط معنی‌داری بین دما و بارش و تولید خالص اولیه وجود دارد [۱۳].

در تحقیقی، اثر تغییر اقلیم روی تولید خالص اولیه در مراتع مغولستان با استفاده از مدل CIMB[۷] مطالعه گردید. نتایج مطالعهٔ ایشان حاکی از افزایش تولید خالص اولیه در نتیجهٔ افزایش بارش و دما بود [۹]. در پژوهشی رابطهٔ رگرسیونی تولید خالص اولیهٔ اکوسیستم‌ها و متغیرهای اقلیمی در شهرستان کوهدشت بررسی گردید. نتایج مطالعات حاکی از آن بود که رابطهٔ رگرسیونی معنی‌داری بین دما و NPP در اکوسیستم‌های جنگل، مرتع و کشاورزی دیم وجود دارد [۴]. در مطالعه‌ای دیگر به بررسی ارتباط تولید خالص اولیه با فاکتورهای اقلیمی با استفاده از مدل CASA در استان اصفهان پرداخته شد. بر طبق نتایج، مقدار تولید خالص اولیهٔ بیوم‌های مرتع، بیابان و تاغزارها تحت تأثیر فاکتور بارش قرار داشت، در حالی‌که درجه حرارت فاکتور کنترل کنندهٔ اصلی در بیوم‌های جنگل و کشاورزی بود [۲۲].

[۱] Intergovernmental Panel on Climate Change
[۲] Net Primary Production
[۳] Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
[۴] Biome-BioGeochemical Cycles
[۵] Holdridge Life Zone
[۶] Carnegie-Ames-Stanford Approach
[۷] Classification Indices-Based Model

بر طبق تحقیقات پیشین تاکنون مطالعاتی در زمینهٔ مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم روی تولید خالص اولیهٔ اکو سیستم‌ها با استفاده از مدل BIOME-BGC در ایران صورت نگرفته‌است. دشت جیرفت یکی از دشت‌های حاصلخیز کشور می‌باشد و از اهمیت استراتژیک بالایی برخوردار است، از این‌رو پیش‌بینی و مدل‌سازی تولید خالص اولیه برای سازگاری با تغییر اقلیم در این دشت مهم و ضروری به نظر می‌رسد. درنتیجه، هدف از مطالعهٔ حاضر، بررسی تغییرات زمانی و مکانی NPP، در سطح بیوم‌های مختلف دشت جیرفت همچون مراتع و اراضی کشاورزی و نیز بررسی پاسخ آن‌ها به تغییرات پارامترهای اقلیمی در دورهٔ آتی با استفاده از مدل BIOME-BGC می‌باشد.

۲. روش شناسی

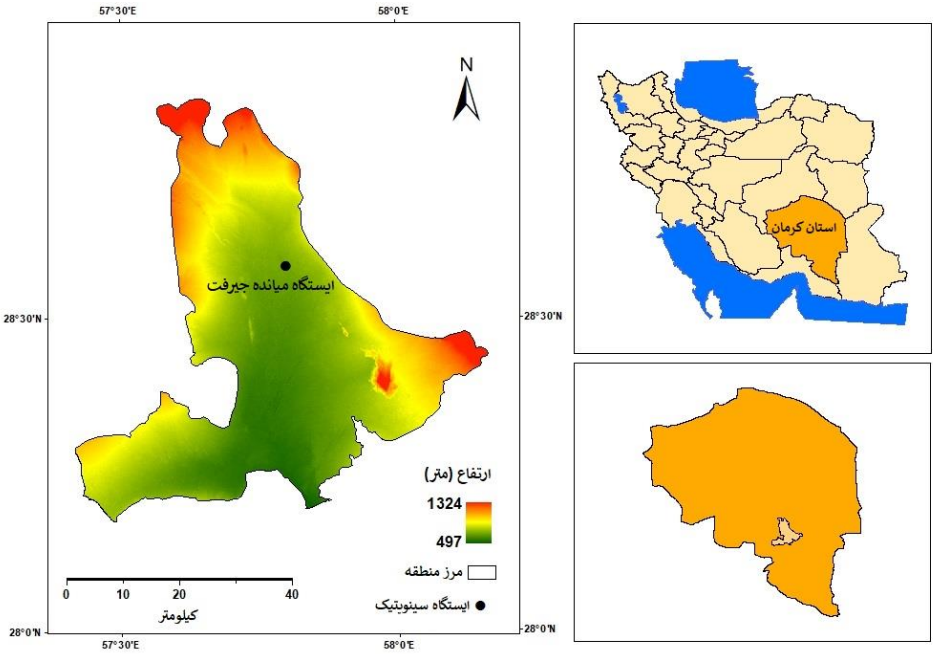
۱,۲. معرفی منطقهٔ مورد مطالعه

دشت جیرفت در عرض جغرافیایی ´۱۰ °۲۸ تا ´۵۵ °۲۸ درجهٔ شمالی و طول جغرافیایی ´۱۰ °۵۸ تا ´۲۵ °۵۷ درجهٔ شرقی، در جنوب شرق ایران در استان کرمان واقع شده‌است. منطقهٔ مورد مطالعه دارای مساحت ۲۲۳۹/۲ کیلومتر مربع بوده و متوسط بارش سالانه در آن ۱۷۲/۷ میلی‌متر است. حداقل و حداکثر ارتفاع در منطقه به‌ترتیب ۴۹۷ و ۱۳۲۴ متر از سطح دریا می‌باشد. دشت جیرفت از مناطق گرم و خشک ایران است و اقلیم آن تحت تأثیر آب و هوای نیمه‌بیابانی و بیابانی قرار دارد. دمای متوسط سالانهٔ این منطقه در حدود ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد است. پوشش گیاهی غالب منطقهٔ مورد مطالعه کشاورزی و مرتع می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در استان کرمان و ایران نشان داده شده‌است.

۲.۲. داده‌های جمع‌آوری شده

۱,۲,۲. داده‌های اقلیمی

در این تحقیق داده‌های روزانه دمای کمینه، بیشینه، بارش و ساعات آفتابی ایستگاه سینوپتیک میانده جیرفت در دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۰۱ تهیه و براساس مدل ریز مقیاس نمایی LARS-WG 6 و مدل گردش عمومی جو HadGEM2 تحت سناریو واداشت تابشی RCP ۴,۵ در دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶) شبیه سازی شدند و کاهش یا افزایش دما و بارش در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ گذشته مورد بررسی قرارگرفت.

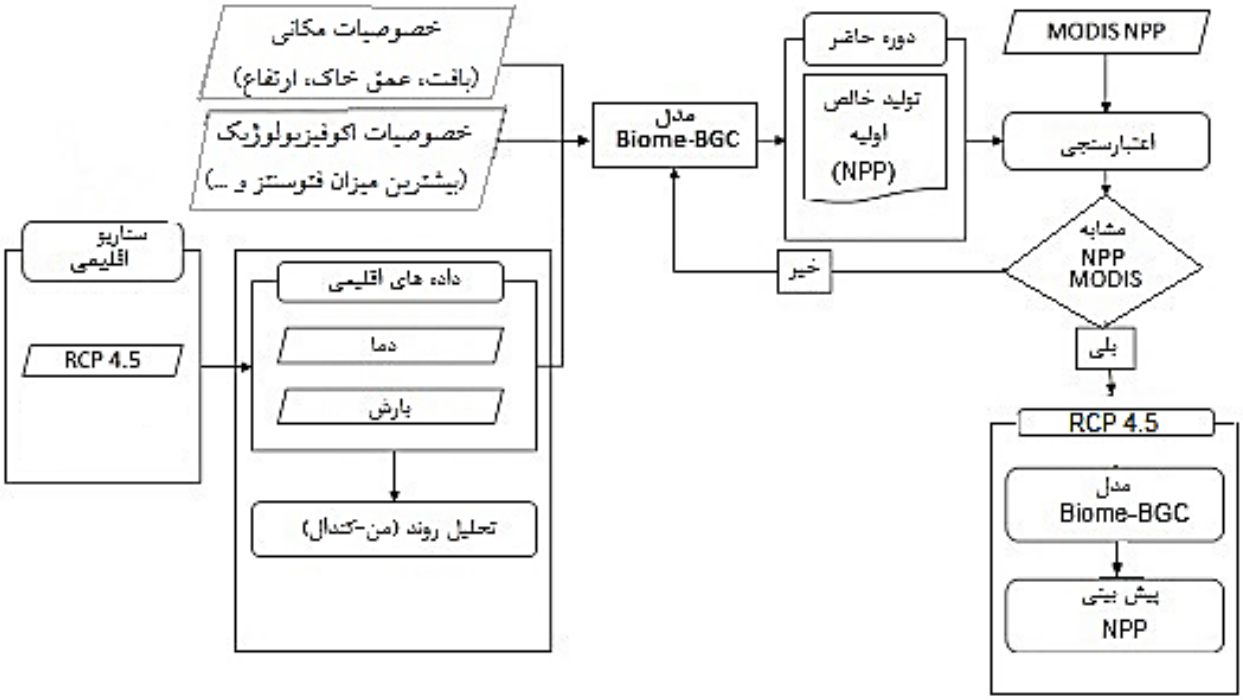


شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران

۲.۲.۲. داده‌های NPP

در این تحقیق تصاویر ماهواره‌ای TERRA سنجندهٔ MODIS با رزولوشن ۱ کیلومتر، برای دورهٔ ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ به صورت ماهانه از سایت neo.sci.gsfc.nasa.gov دانلود گردید. برای به‌دست آوردن مقادیر مشاهداتی تولید خالص اولیه (NPP) در منطقهٔ مورد مطالعه از تصاویر مودیس (MOD 17A3) استفاده شد. جهت پردازش تصاویر و به‌منظور به‌دست آوردن مقادیر NPP از نرم‌افزار ArcGIS 10.2.2 استفاده شد.

مقادیر NPP در دورهٔ گذشته با استفاده از مدل BIOME-BGC شبیه‌سازی و با داده‌های NPP حاصل از تصاویر مودیس (MOD 17A3) مقایسه و اعتبارسنجی گردید. در نهایت در صورت اطمینان از کارایی مدل بر اساس نمایه‌های آماری (RMSE و PE)، مقادیر NPP در دورهٔ آتی تحت سناریوی RCP 4.5 با استفاده از مدل BIOME-BGC شبیه‌سازی و با NPP دورهٔ گذشته مقایسه و تأثیر تغییر اقلیم روی آن مورد بررسی قرارگرفت. شکل (۲) نمودار مراحل اجرای تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲. نمودار مراحل اجرای تحقیق

۳.۲. ریزمقیاس نمایی اقلیمی

مدل LARS-WG یکی از معروف‌ترین مدل‌های مولد داده‌های تصادفی وضع هوا است که برای تولید مقادیر بارش، تابش، درجه حرارت‌های بیشینه و کمینهٔ روزانه در یک ایستگاه برای اقلیم حاضر و آینده به‌کار می‌رود [۱۸، ۲۳ و ۲۴]. خروجی‌های این مدل شامل دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و تابش می‌باشند. تولید داده‌های مدل LARS-WG در سه مرحله انجام می‌شود که عبارتند از: کالیبره کردن، ارزیابی و ایجاد داده‌های هواشناسی [۲، ۳ و ۱۹].

در این تحقیق جهت ریز مقیاس‌نمایی آماری از مدل LARS-WG 6 استفاده شد. در ابتدا، دورهٔ ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵ برای واسنجی مدل استفاده شد. سپس کل همین

دوره (۲۰۰۱ تا ۲۰۱۵) برای صحت سنجی و ارزیابی مدل در نظر گرفته شد و نتایج به‌د ست آمده از مدل با مقادیر مشاهده شده مقایسه و نحوهٔ عملکرد مدل در شبیه سازی داده‌های بارش و دما ارزیابی شد. پس از این مراحل، مدل LARS-WG برای مدل گردش عمومی جو HadGEM2 و تحت سناریوی RCP 4.5 برای دورهٔ زمانی آتی اجرا شد و در نهایت به مقایسه داده‌های دورهٔ پایه (۲۰۱۵-۲۰۰۱) و دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶) پرداخته شد. به منظور ارزیابی مدل و سناریو از معیارهای RMSE، NSE، MAE و R^2 استفاده شد. در زیر روابط موجود برای معیارهای مذکور ارئه شده است:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(o_i - s_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(o_i - \bar{o})^2}$$

فرمول (۱)

$$RMSE = \left[\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s_i - o_i)^2\right]^{1/2}$$

فرمول (۲)

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s_i - \bar{s})(o_i - \bar{o})}{\sigma_s \times \sigma_o}\right]^2$$

فرمول (۳)

$$MAE = 1/n\sum_{i=1}^{n}(s_i - o_i)$$

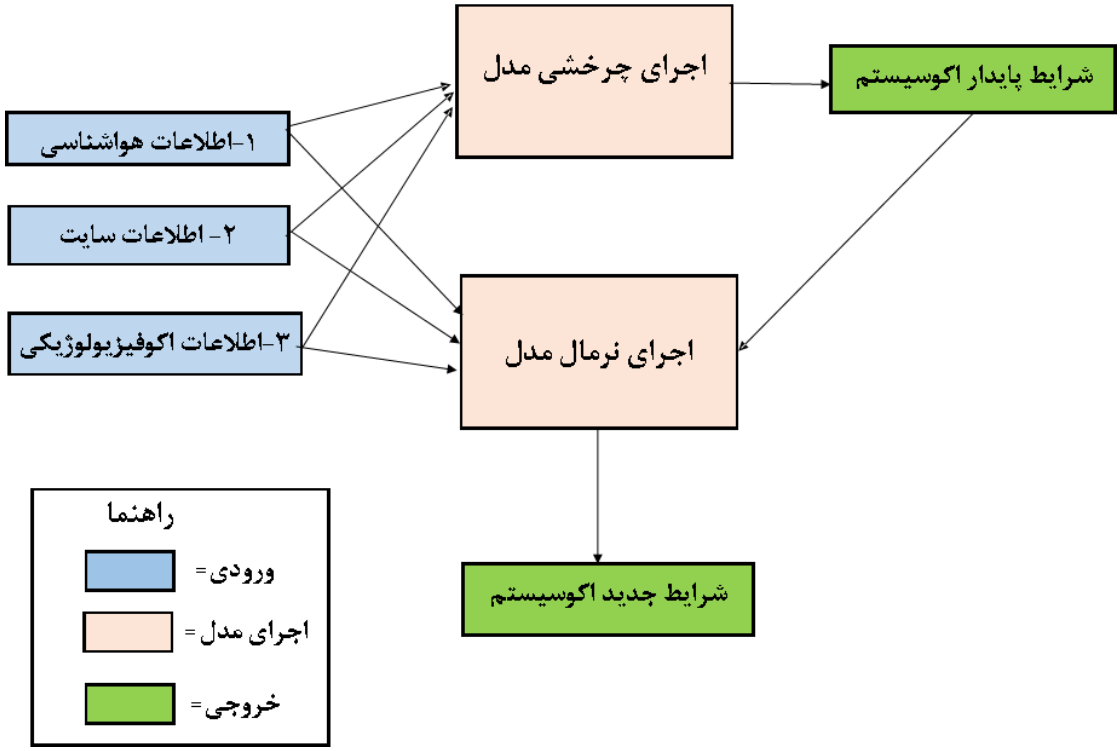
فرمول (۴)

که در آن oi داده‌های مشاهداتی، si داده‌های برآورد شده، $\bar{o}$ و $\bar{s}$ میانگین داده‌های مشاهداتی و برآورد شده و σ_s و σ_o انحراف معیار داده م شاهداتی و برآورد شده می‌با شد. مقادیر RMSE و MAE معرف دقت در بسیاری از روش‌های آماری می‌باشد. هر چه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشند، نشان‌دهندهٔ دقت بالای مدل است. R^2 بیانگر ارتباط داده‌های مشاهداتی و محاسباتی می‌باشد. دامنهٔ این پارامتر بین صفر تا یک ا ست هر چه این مقدار به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهندهٔ ارتباط قوی بین دو گروه می‌باشد. دامنهٔ ضریب نش-ساتکلیف (NSE) بین صفر تا یک قابل‌قبول و بهترین حالت زمانی است که ضریب NSE برابر یک باشد.

۴,۲. مدل BIOME-BGC

مدل BIOME-BGC، یک مدل پرکاربرد بیوژئوشیمیایی است که نرخ ذخیره و جریان آب، کربن و نیتروژن را داخل اجزای یک اکوسیستم خاکی شبیه‌سازی می‌کند [۲۰، ۲۸]. هم‌چنین مدل BIOME-BGC، از نوع سایت محور (بیوم محور) ا ست و به صورت یک فایل Excel، که روابط در زبان برنامه‌نویسی ماکرو در آن کدنویسی شده‌است، قابل دسترس است [۱۶، ۱۷]. اجرای مدل به دو بخش شبیه‌ساز هواشناسی و بخش شبیه ساز پو شش گیاهی تقسیم می شود. نحوهٔ کار مدل به‌گونه‌ای است که اگر ایستگاه هواشناسی تمام اطلاعات مورد نیاز مدل را نداشته باشد، ابتدا بخش هوا شنا سی شبیه سازی می شود و سپس خروجی بخش هواشناسی به‌عنوان یکی از اطلاعات ورودی مورد نیاز برای بخش شبیه‌ساز پوشش گیاهی به کار می‌رود.

مدل این قابلیت را دارد تا متغیرهای اکولوژیکی مانند تولید خالص اولیه (NPP) و شاخص سطح برگ (LAI) را در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه و سالانه و در مقیاس مکانی واحد (۱ متر مربع) برای ۷ نوع پوشش گیاهی جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌دار، جنگل‌های سوزنی برگ خزان‌دار، جنگل‌های پهن‌برگ همیشه سبز، جنگل‌های سوزنی برگ همیشه سبز، مرتع، گیاهان C3 و گیاهان C4 شبیه‌سازی کند [۱۷]. روند کلی اجرای مدل در شکل (۳) نشان داده شده‌است.



شکل ۳. فرآیند کلی مدل در اجرای شبیه‌سازی

۵،۲. تهیهٔ اطلاعات برای هر سایت شبیه‌سازی

تولید خالص اولیه

با استفاده از محصولات MODIS، میزان تولید خالص اولیه در هر پیکسل که دارای مختصات مکانی یکسان هستند، به‌دست آمد. نقطهٔ مرکز این سلول‌ها به عنوان سایت‌های شبیه‌سازی تولید خالص اولیه در سطح دشت جیرفت انتخاب شد و سپس اطلاعات مورد نیاز برای هر سایت (بیوم) تهیه گردید. مدل BIOME-BGC برای اجرا به سه دسته اطلاعات اصلی شامل اطلاعات هواشناسی، فیزیکی و اکوفیزیولوژیکی سایت‌ها نیاز دارد. اطلاعات هواشناسی مورد نیاز مدل شامل داده‌های روزانهٔ دمای حداکثر، دمای حداقل، بارش، طول روز، تابش روزانه و کمبود فشار بخار می‌باشد. جهت تهیهٔ داده‌های بارش، دمای حداقل و دمای حداکثر در تمامی بیوم‌ها (پوشش‌های گیاهی) از داده‌های ایستگاه سینوپتیک میانده جیرفت استفاده گردید و سایر اطلاعات هواشناسی با استفاده از بخش شبیه ساز هواشناسی تعبیه شده در مدل BIOME-BGC به نام مدل MT-CLIM شبیه‌سازی گردید [۲۸]. اطلاعات فیزیکی سایت‌ها مانند ارتفاع، شیب و جهت از نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه استخراج گردید (شکل ۱). سایر اطلاعات فیزیکی شامل عمق مؤثر خاک و بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن) براساس نمونه برداری میدانی برای هر سایت (بیوم) به‌دست آمد. همچنین پارامتر های اکوفیزیولوژیکی (دی‌اکسیدکربن، فتوسنتز، تنفس، تجزیه و مرگ و میر گیاهی) برای اجرای مدل مورد نیاز است اما به‌دلیل اینکه هیچ‌گونه مقدار اندازه‌گیری شده در منطقهٔ مطالعاتی وجود ندارد، از مقادیر پیش فرض مدل استفاده شد [۳۳]. در نهایت اطلاعات مذکور برای هر سایت (بیوم)، در محیط ArcGIS 10.2.2 استخراج گردید.

۶,۲. کالیبراسیون مدل BIOME-BGC

پس از وارد کردن اطلاعات مورد نیاز و شبیه‌سازی تولید خالص اولیه در دورهٔ حاضر، مدل BIOME-BGC به‌صورت مجزا در هر سایت (بیوم) مورد واسنجی قرار گرفت. مدل BIOME-BGC دارای پارامترهای اکوفیزیولوژیکی زیادی است که می‌توان متغیرهای خروجی را با آن‌ها تنظیم کرد. با توجه به اینکه هدف ما در این مطالعه شبیه‌سازی تولید خالص اولیه است، بنابراین باید پارامترهای کالیبراسیون به گونه‌ای انتخاب شوند که دارای بیشترین تأثیر بر میزان تولید خالص اولیه باشند. پارامترهای نسبت کربن به نیتروژن برگ‌ها (LEAF_CN)، نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ (LLITTER_CN) و... از جمله پارامترهایی هستند که جهت کالیبراسیون مدل به کار می‌روند.

به دلیل نبود اطلاعات تولید خالص اولیه در منطقهٔ مورد مطالعه، واسنجی مدل اکولوژیکی BIOME-BGC با استفاده از تصاویر MODIS (MOD 17 A3) صورت گرفت.

در این تحقیق از دو شاخص شناخته شدهٔ جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) و درصد خطا (PE)، برای نشان دادن نتیجهٔ واسنجی مدل BIOME-BGC در هر سایت (بیوم) شبیه‌سازی تولید خالص اولیه استفاده شده‌است (رابطهٔ ۵ و ۶). هرچه مقدار این شاخص‌ها کمتر باشد، نشان دهندهٔ عملکرد بهتر مدل می‌باشد. در رابطهٔ ۵ و۶، n نشان‌دهندهٔ تعداد سال است. هم‌چنین (MODIS_NPP) مقدار میانگین سالیانهٔ تولید خالص اولیه به‌دست آمده از تصاویر MODIS و (BIOMEBGC_NPP) مقدار میانگین سالیانهٔ تولید خالص اولیه به‌دست آمده از مدل BIOME-BGC است. دورهٔ مطالعاتی که برای واسنجی در نظر گرفته شده‌است برابر با ۱۵سال (۲۰۱۵-۲۰۰۱) است.

فرمول (۵)

$$RMSE = SQRT\left(\frac{\sum_{i=1}^{n}(MODIS_NPP - BIOMEBGC_NPP)^2}{\sum_{i=1}^{n} BIOMEBGC_NPP}\right)$$

فرمول (۶)

$$PE = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n}\left|MODIS_NPP - BIOMEBGC_NPP\right|}{\sum_{i=1}^{n} MODIS_NPP}\right)\times 100$$

۳. نتایج

۱,۳. بررسی روند داده‌های دما و بارش

جهت بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی از آزمون من‌کندال در نرم افزار متلب استفاده گردید. نتایج حاصل از بررسی روند پارامترهای اقلیمی با استفاده از آزمون من‌کندال در ایستگاه سینوپتیک میانده جیرفت، در دورهٔ آماری ۲۰۱۵-۲۰۰۱ میلادی در جدول (۱) نشان داده شده‌است. با توجه به جدول مشخص است که مقدار بارش در ایستگاه سینوپتیک مورد بررسی فاقد روند مشخص و معنی‌داری می‌باشد. اما پارامتر دمای کمینه و بیشینه دارای یک روند مشخص صعودی در سطح معنی‌داری ۵ درصد می‌باشد.

جدول ۱. نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات پارامترهای اقلیمی در ایستگاه سینوپتیک میانده جیرفت

متغیر اقلیمی	Z من کندال	بررسی معنی‌داری روند در سطح ۵ درصد
دمای کمینه	۳/۵۷	دارای روند صعودی
دمای بیشینه	۶/۷۸	دارای روند صعودی
بارش	-۰/۲۱	فاقد روند مشخص

۲،۳. ارزیابی مدل تغییر اقلیم LARS-WG

نتایج ارزیابی دقت مدل LARS-WG در شبیه‌سازی دما و بارش بر اساس شاخص R^2، RMSE، MAE و NSE در ایستگاه‌های سینوپتیک میانده جیرفت در جدول (۲) نشان داده شده‌است. نتایج نشان می‌دهد که انطباق زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی وجود داشته که مقادیر پایین RMSE و MAE و بالا بودن مقدار NSE و R^2 در ایستگاه سینوپتیک میانده جیرفت نشان دهندهٔ همین انطباق است. با توجه‌به نتایج حاصله می‌توان دریافت که مدل LARS-WG از توانایی قابل قبولی در کوچک مقیاس‌نمایی داده‌های دمای کمینه و بیشینه و بارش برخوردار است.

جدول ۲. آماره‌های خطا حاصل از پارامترهای اقلیمی مشاهداتی و مدل‌سازی شده توسط مدل LARS-WG در مرحلهٔ صحت سنجی

متغیر اقلیمی	NSE	MAE	R^2	RMSE
دمای کمینه (°c)	۰/۹۴	۰/۹۶	۰/۸۲	۱/۴
دمای بیشینه (°c)	۰/۹۷	-۰/۹۳	۰/۸۴	۱/۰۱
بارش (میلی‌متر)	۰/۹۱	-۰/۴۱	۰/۸	۳/۶

۳،۳. سناریوی تغییر اقلیم

نتایج مقایسهٔ پارامترهای اقلیمی (بارش، دمای کمینه و بیشینه) در دورهٔ پایه (۲۰۱۵-۲۰۰۱) و دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶) در شکل (۴) نشان داده شده‌است. نتایج حاکی از افزایش بارش، افزایش دمای کمینه و بیشینه در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه می‌باشد.

۴،۳. مقادیر NPP مشاهداتی

مقادیر مشاهداتی تولید خالص اولیهٔ دشت جیرفت (گرم.کربن/مترمربع.سال) در دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۰۱، در اشکال ۵ و ۶ نشان داده شده‌است. به‌طورکلی مقدار تولید خالص اولیه بین ۰ تا ۶/۵ گرم کربن بر متر مربع بر روز (۲۳۷۲/۵ گرم. کربن/ مترمربع. سال) می‌باشد و هرچه مقادیر به ۶/۵ نزدیک‌تر باشد، تولید خالص اولیه افزایش می‌یابد.

۵،۳. سایت‌های شبیه‌سازی تولید خالص اولیه

شکل (۷)، سایت‌های شبیه‌سازی تولید خالص اولیه را در سطح دشت جیرفت نشان می‌دهد. به‌طورکلی براساس دامنهٔ تغییرات NPP، ۱۴ سایت (بیوم) در نظر گرفته شد. اطلاعات بیوم‌های منتخب در دشت جیرفت، درجدول (۳) نشان داده شده‌است.

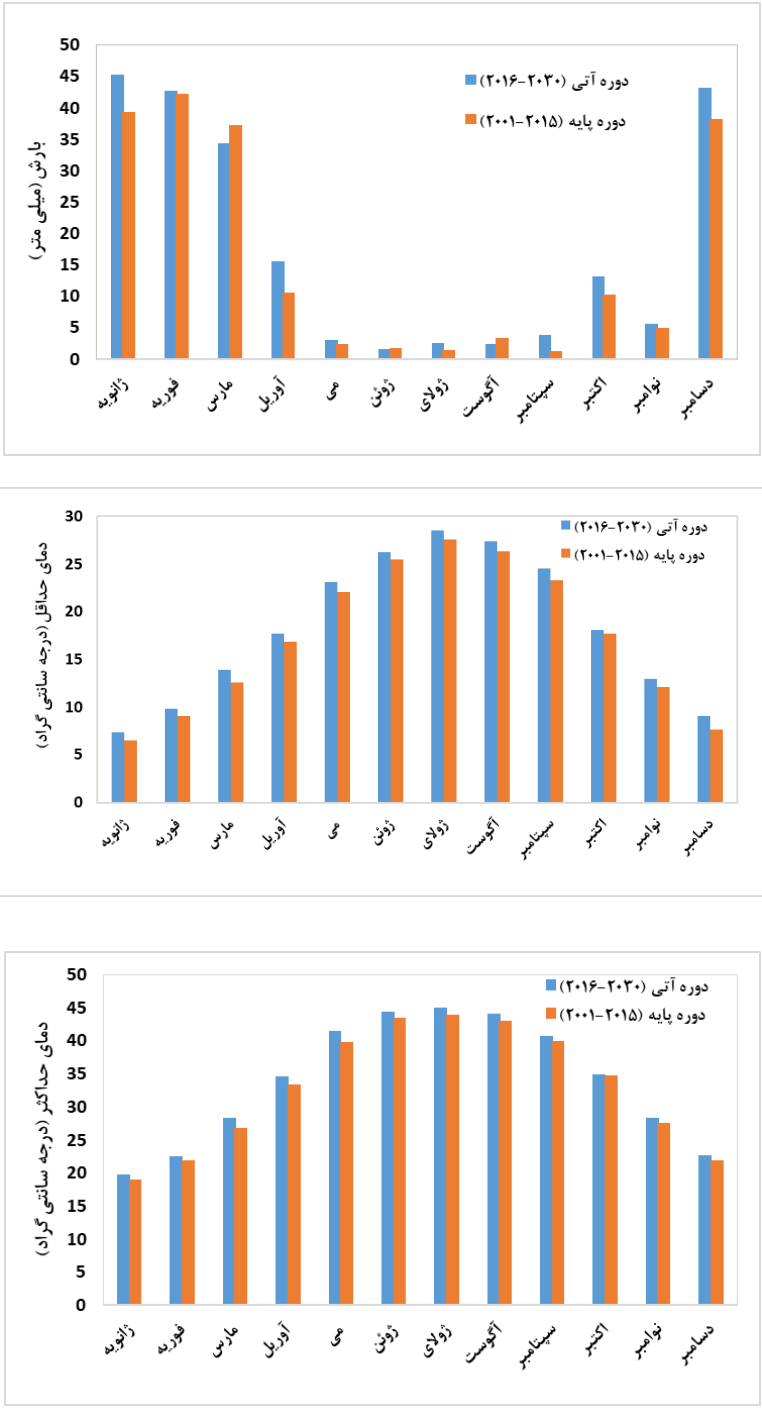
پهنه‌بندی تولید خالص اولیه در ۱۴ سایت موجود در دشت جیرفت، در طی دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۰۱ در شکل (۸) نشان داده شده‌است. چنانچه مشاهده می‌شود قسمت‌های شمالی و غربی منطقهٔ مطالعاتی دارای بیشترین مقدار تولید خالص اولیه می‌باشند. همانطور که مشاهده می شود بیشترین تولید خالص اولیه به ترتیب مربوط به بیوم ۴ با پوشش کشاورزی و بیوم ۵ با پوشش گیاهی مرتع می‌باشند.

۶،۳. مدل BIOME-BGC

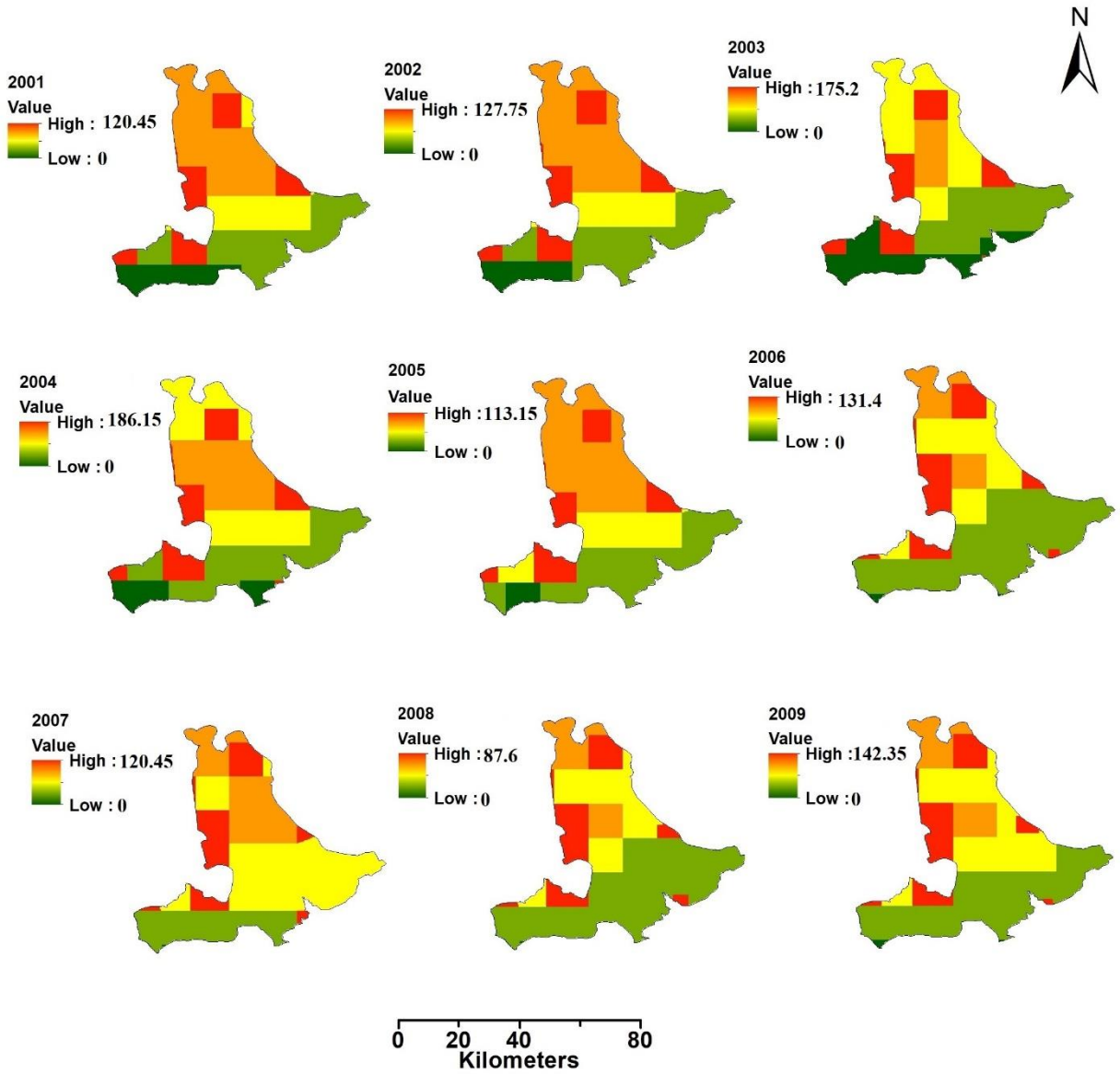
۱.۶،۳. نتایج کالیبراسیون مدل BIOME-BGC و شبیه‌سازی تولید خالص اولیه

با توجه به مطالعات قبلی در مورد تحلیل حساسیت مدل BIOME-BGC، این مسئله نشان داده شده است که پارامترهای نسبت کربن به نیتروژن برگ‌ها (LEAF_CN)، نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ (LLITTER_CN)، نسبت کربن به نیتروژن ریشه‌ها (FR_CN)، نسبت کربن به نیتروژن در چوب زنده (LWOOD_CN) و FLNR (اولین آنزیم چرخهٔ فتوسنتز که بیشترین میزان نیتروژن برگ به این آنزیم اختصاص

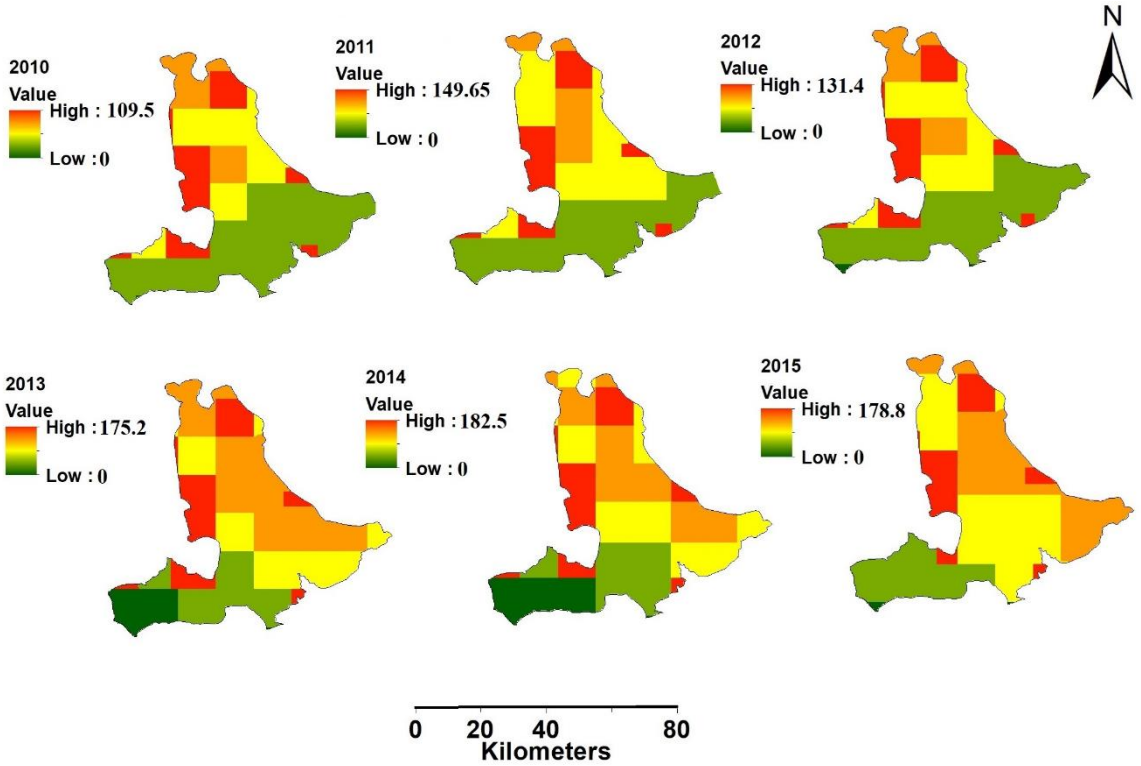
داده می‌شود)، دارای بیشترین اهمیت می‌باشند [۲۷، ۳۳]. ازاین‌رو براساس مطالعات پیشین و نتایج آنالیز حساسیت مدل، این ۵ پارامتر به عنوان پارامترهای کالیبراسیون در این تحقیق انتخاب شدند. جدول (۴) متغیرهای مورد استفاده جهت بهینه‌سازی مقادیر NPP و مقدار بهینهٔ آن‌ها را نشان می‌دهد.



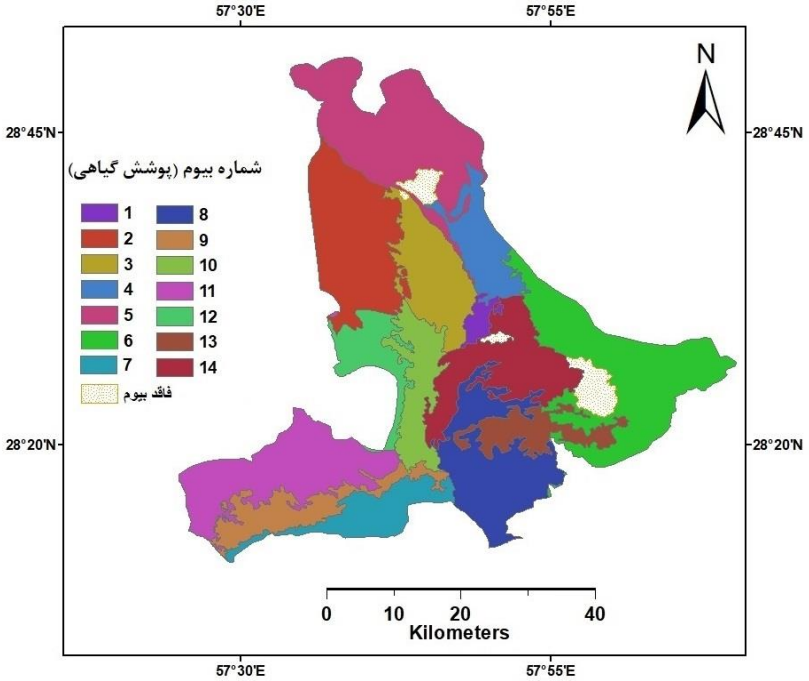
شکل . مقایسهٔ مقادیر متوسط سالانهٔ بارش، دمای کمینه و دمای بیشینهٔ مشاهداتی (۲۰۱۵-۲۰۰۱) و شبیه‌سازی شده در دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶)



شکل ۵. تولید خالص اولیه (گرم. کربن /متر مربع. سال) در دورهٔ ۲۰۰۹-۲۰۰۱ .



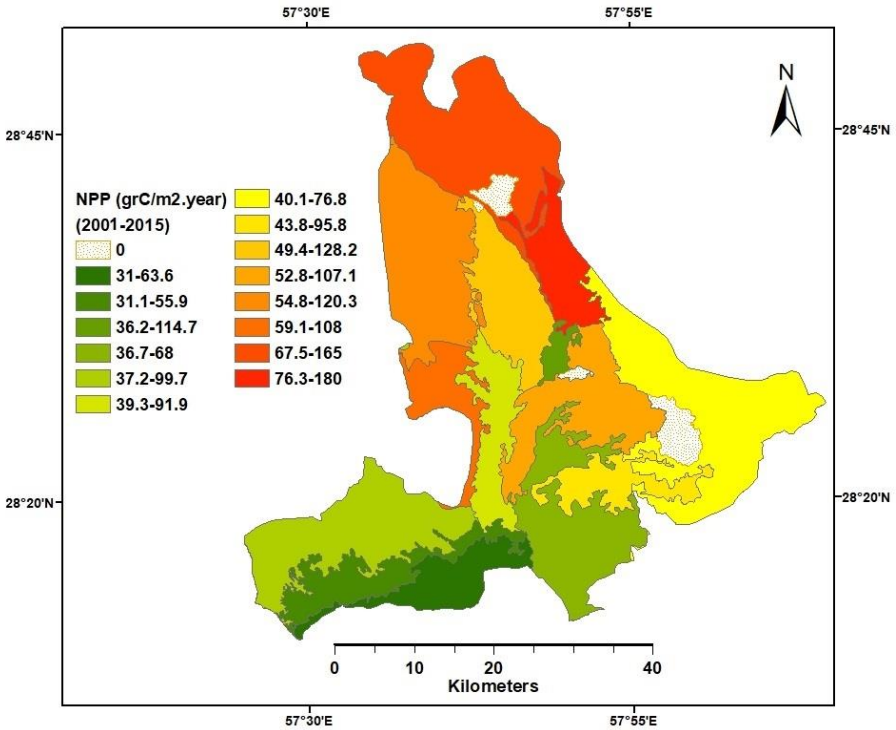
شکل ۶. تولید خالص اولیه (گرم. کربن/متر مربع. سال) در دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۱۰ .



شکل ۷. سایت یا بیوم‌های انتخاب شده در طی دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۰۱

جدول ۳. اطلاعات سایت‌های منتخب در منطقهٔ مورد مطالعه

شماره سایت	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	بارش متوسط سالانه (mm)	شیب (درجه)	جهت (درجه)	عمق خاک (متر)	درصد شن	درصد سیلت	درصد رس	نوع پوشش	نوع پوشش در مدل
۱	۵۷/۸۲	۲۸/۵	۵۸۶	۱۷۲/۷	۲/۸۵	۱۸۶/۲۹	۳	۸۹/۷	۷/۵	۲/۸	گیاهان زراعی	c3grass
۲	۵۷/۶۵	۲۸/۶۱	۷۵۱	۱۷۲/۷	۳/۴۴	۱۳۹/۲۳	۲	۳۹/۷	۳۷/۲	۲۳/۱	مرتع	shrub
۳	۵۷/۷۶	۲۸/۵۶	۶۱۲	۱۷۲/۷	۳/۱۱	۱۶۸/۶۹	۳	۶۴/۸	۲۷/۹	۷/۳	گیاهان زراعی	c3grass
۴	۵۷/۸۲	۲۸/۶	۶۴۵	۱۷۲/۷	۳/۱۳	۱۸۹/۹۶	۴	۸۹/۷	۷/۵	۲/۸	گیاهان زراعی	c3grass
۵	۵۷/۷۱	۲۸/۷۵	۸۲۸	۱۷۲/۷	۴/۰۵	۱۷۱/۹۲	۲	۵۹/۴	۲۷	۱۳/۶	مرتع	shrub
۶	۵۸	۲۸/۴۳	۷۷۰	۱۷۲/۷	۳/۹۴	۲۰۱/۷	۲	۸۹/۷	۶/۹	۳/۴	مرتع	shrub
۷	۵۷/۶۷	۲۸/۲۴	۵۶۶	۱۷۲/۷	۳/۳	۱۷۱/۸۴	۲	۹۰/۸	۶/۶	۲/۶	مرتع	shrub
۸	۵۷/۸۴	۲۸/۳۱	۵۶۲	۱۷۲/۷	۲/۹۲	۱۹۲/۹۷	۲	۷۹/۱	۱۶/۶	۴/۳	مرتع	shrub
۹	۵۷/۵۸	۲۸/۲۵	۶۰۵/۷	۱۷۲/۷	۲/۷۶	۱۶۰/۷۳	۲	۸۸/۳	۸/۵	۳/۲	گیاهان زراعی	c3grass
۱۰	۵۷/۷۴	۲۸/۴۱	۵۶۶	۱۷۲/۷	۳/۲۳	۱۶۳/۶۶	۳	۶۴/۸	۲۷/۳	۷/۹	گیاهان زراعی	c3grass
۱۱	۵۷/۵۶	۲۸/۳	۶۸۳	۱۷۲/۷	۳/۲۳	۱۶۰	۳	۸۹/۳	۸	۲/۷	مرتع	shrub
۱۲	۵۷/۶۸	۲۸/۴۵	۶۳۸	۱۷۲/۷	۳/۱۵	۱۴۶/۴۵	۳	۳۹/۲	۳۷/۷	۲۳/۱	مرتع	shrub
۱۳	۵۷/۹	۲۸/۳۵	۶۱۰	۱۷۲/۷	۲/۸۱	۱۹۱/۶۵	۲	۶۴/۴	۲۷/۳	۸/۳	گیاهان زراعی	c3grass
۱۴	۵۷/۸۵	۲۸/۴۴	۵۹۷	۱۷۲/۷	۳/۰۸	۱۸۷/۳	۳	۶۰/۷	۲۹/۹	۹/۴	گیاهان زراعی	c3grass



شکل ۸. پهنه‌بندی تولید خالص اولیه در طی دورهٔ ۲۰۱۵-۲۰۰۱

جدول ۴. پارامترهایی مورد استفاده جهت بهینه‌سازی مقادیر NPP

پارامترها	تعریف	محدودهٔ تغییرات	مقدار بهینه
LEAF_CN	نسبت کربن به نیتروژن برگ ها	۰-۱۰۰	۹۰
LLITTER_CN	نسبت کربن به نیتروژن لاشبرگ	۰-۱۲۰	۱۱۰
FR_CN	نسبت کربن به نیتروژن ریشه‌ها	۰-۶۵	۶۰
LWOOD_CN	نسبت کربن به نیتروژن چوب زنده	۰-۶۵	۶۰
FLNR	اولین آنزیم چرخهٔ فتوسنتز که بیشترین میزان نیتروژن برگ به این آنزیم اختصاص داده می‌شود	۰/۳-۱	۰/۹

همان‌گونه‌که مقادیر شاخص‌های خطا در جدول (۵) نشان می‌دهد، واضح هست که در تمام بیوم‌ها مقدار شاخص جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) کمتر از ۱/۶۸ و مقدار شاخص درصد خطا (PE) کمتر از ۱۶/۱۲ درصد شد که بیانگر این مطلب است که خطای مدل BIOME-BGC در شبیه سازی مقادیر تولید خالص اولیه بسیار کم می‌باشد و مقدار شاخص‌های خطا نیز در حد معقولی قرار دارند.

جدول ۵. شاخص‌های درصد خطا مقادیر NPP شبیه‌سازی شده در دورهٔ پایه

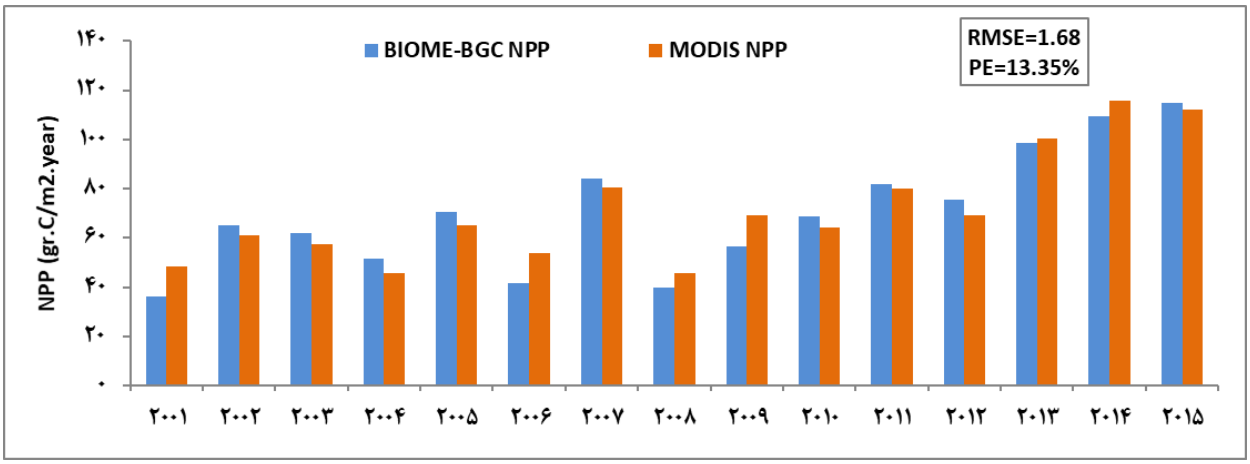
شمارهٔ سایت	نوع پوشش گیاهی (بیوم)	درصد خطا (PE)	RMSE
۱	گیاهان زراعی	۱۳/۳۵	۱/۶۸
۲	مرتع	۸/۵۵	۰/۸۸
۳	گیاهان زراعی	۱۱/۶۶	۱/۳۲
۴	گیاهان زراعی	۱۰/۳۷	۱/۲۶
۵	مرتع	۹/۰۸	۱/۱۲
۶	مرتع	۱۲/۱۷	۱/۱۵
۷	مرتع	۱۶/۱۲	۱/۱۷
۸	مرتع	۱۰/۲۴	۰/۸۶
۹	گیاهان زراعی	۱۳/۷۶	۰/۹۹
۱۰	گیاهان زراعی	۱۴/۱۲	۱/۴۲
۱۱	مرتع	۹/۲۰	۰/۸۴
۱۲	مرتع	۵/۶۲	۰/۶۱
۱۳	گیاهان زراعی	۱۰/۲۲	۰/۸۷
۱۴	گیاهان زراعی	۱۰/۴۴	۰/۹۹

در اشکال ۹ تا ۱۱، نتایج ناشی از مقایسهٔ مقادیر میانگین سالانهٔ تولید خالص اولیه شبیه‌سازی شده با مدل BIOME-BGC و تولید خالص اولیه به‌دست‌آمده از تصاویر MODIS، در سایت‌های (پوشش‌های گیاهی) ۷،۱ و ۱۴ نشان داده شده‌است. تمامی اشکال نشان دهندهٔ اختلاف ناچیز مقادیر NPP مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

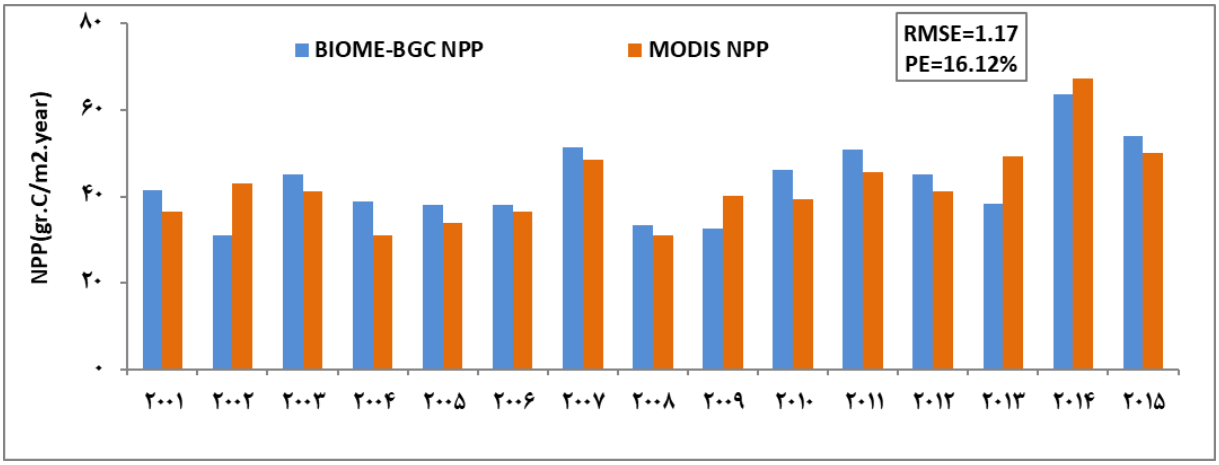
توسط مدل مذکور می‌باشند. با توجه به اختلاف کم در مقادیر میانگین سالیانهٔ شاخص تولید خالص اولیهٔ مشاهداتی به‌دست‌آمده از MODIS و شبیه سازی شده توسط مدل BIOME-BGC، این موضوع مشخص است که مدل BIOME-BGC توانسته به‌خوبی میانگین سالیانهٔ تولید خالص اولیه را در پوشش‌های گیاهی مختلف موجود در منطقهٔ مذکور شبیه سازی کند و در نتیجه مدل دارای عملکرد مناسب در شبیه‌سازی تولید خالص اولیه می‌باشد.

بعد از صحت‌سنجی و اطمینان از صحت و عملکرد مدل BIOME-BGC، مدل براساس پارامترهای بهینه و وارد سازی داده‌های اقلیمی ایستگاه‌ها از ۲۰۰۱ تا ۲۰۳۰ اجرا گردید و تأثیر اقلیم روی تولید خالص اولیه در دورهٔ آتی مورد بررسی قرار گرفت.

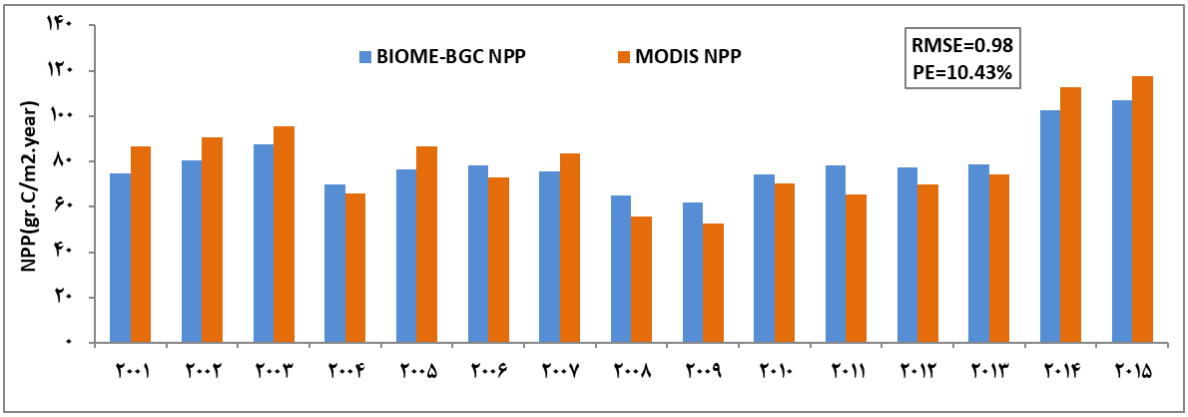
شکل (۱۲) مقادیر تولید خالص اولیه را در دورهٔ پایه و دورهٔ آتی نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود تولید خالص اولیه در دورهٔ آتی در تمامی بیوم‌ها افزایش یافته‌است که افزایش تولید خالص اولیه در دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶) به علت افزایش بارندگی می‌باشد.



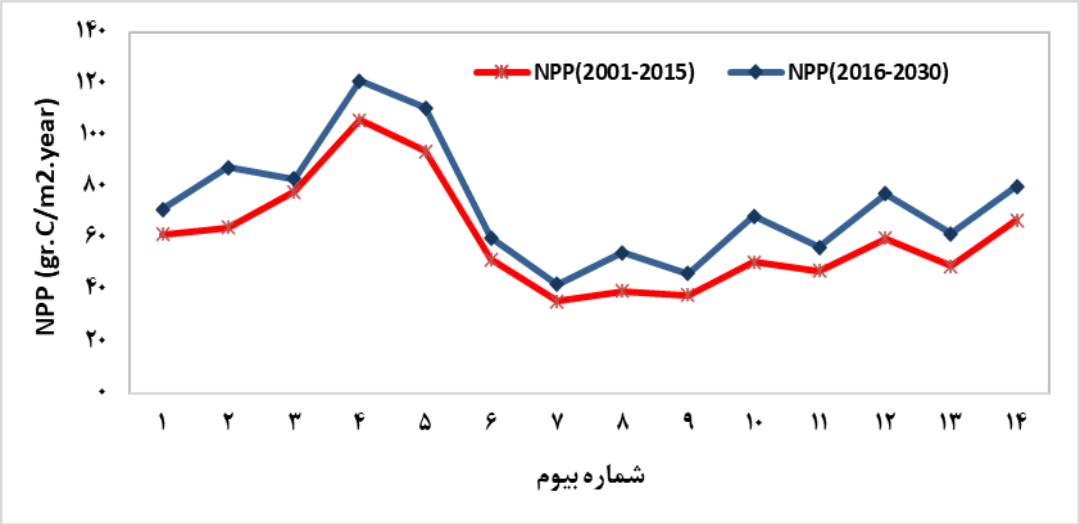
شکل ۹. مقایسهٔ مقادیر میانگین سالانهٔ تولید خالص اولیهٔ شبیه‌سازی شده با مدل BIOME-BGC و به‌دست‌آمده از تصاویر MODIS در بیوم شمارهٔ ۱ با پوشش گیاهی گیاهان c3



شکل ۱۰. مقایسهٔ مقادیر میانگین سالانهٔ تولید خالص اولیه شبیه‌سازی شده با مدل BIOME-BGC و به‌دست‌آمده از تصاویر MODIS در بیوم شمارهٔ ۷ با پوشش گیاهی مرتع



شکل ۱۱. مقایسهٔ مقادیر میانگین سالانهٔ تولید خالص اولیهٔ شبیه‌سازی شده با مدل BIOME-BGC و به‌دست‌آمده از تصاویر MODIS در بیوم شمارهٔ ۱۴ با پوشش گیاهی گیاهان c3

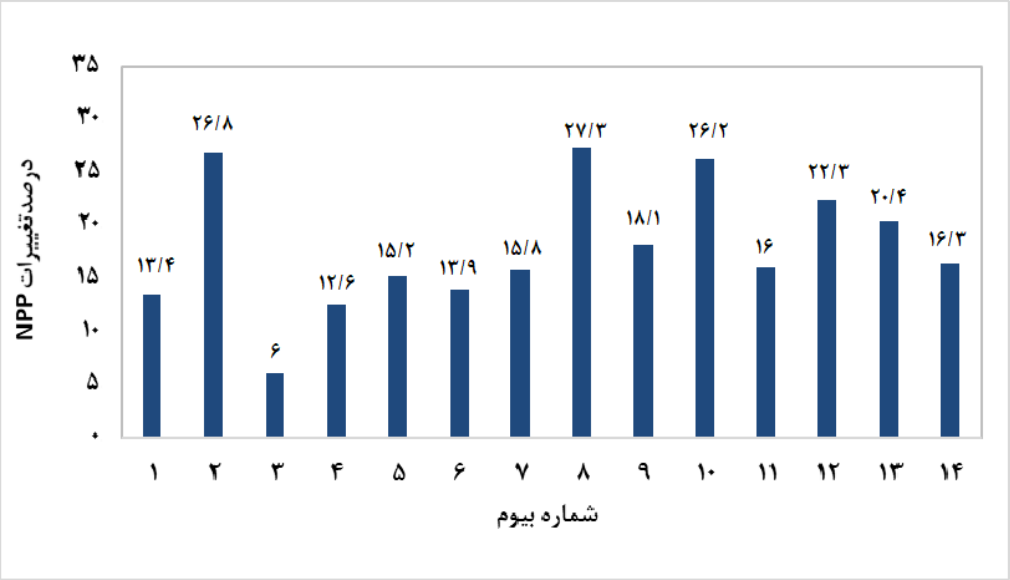


شکل ۱۲. مقادیر تولید خالص اولیه در دورهٔ پایه و دورهٔ آتی

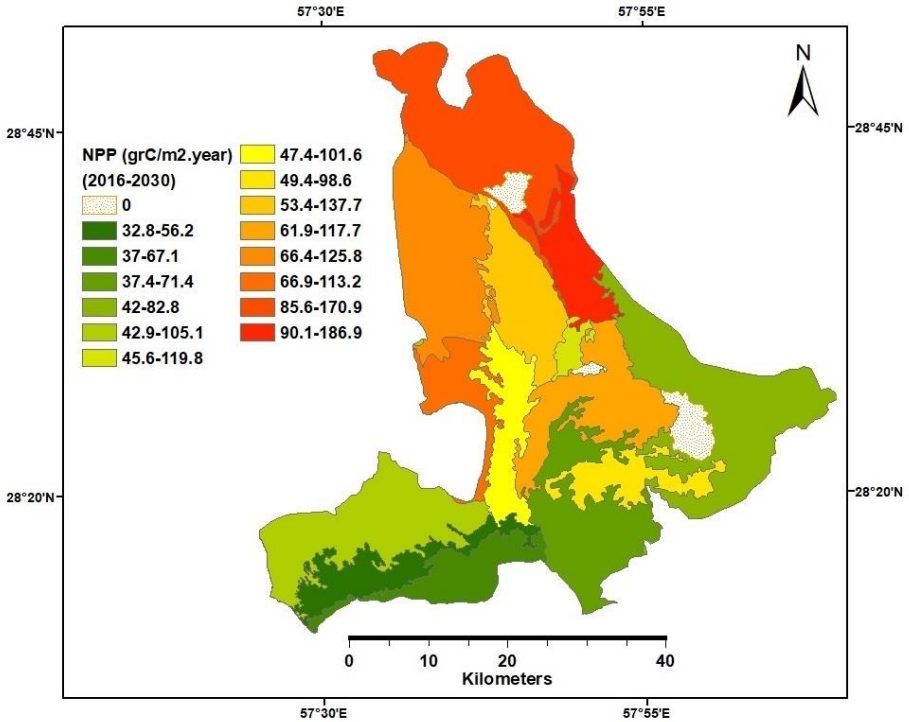
شکل (۱۳) درصد تغییرات تولید خالص اولیه را در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می‌شود میزان افزایش تولید خالص در هر بیوم متفاوت می‌باشد به‌طوری‌که بیشترین درصد تغییرات ۲۷/۳، ۲۶/۸ و ۲۶/۲ درصد به ترتیب در بیوم ۸ و ۲ با پوشش گیاهی مرتع و بیوم ۱۰ با پوشش گیاهان زراعی مشاهده شده‌است.

شکل (۱۴)، پهنه‌بندی تولید خالص اولیه در طی دورهٔ ۲۰۱۶-۲۰۳۰ را نشان می‌دهد. چنانچه مشاهده می شود قسمت‌های شمالی و غربی منطقه مطالعاتی دارای بیشترین مقدار تولید خالص اولیه می‌باشند.[1] بیشترین تولید خالص اولیه به‌ترتیب مربوط به بیوم‌های ۴ با پوشش کشاورزی، ۵ با پوشش گیاهی مرتع و بیوم ۲ با پوشش گیاهی مرتع می‌باشد.

[1] قسمت‌های سفید بدون بیوم و پوشش گیاهی می‌باشند.



شکل ۱۳. درصد تغییرات تولید خالص اولیه در دورهٔ آتی نسبت به دورهٔ پایه



شکل ۱۴. پهنه‌بندی تولید خالص اولیه در طی دورهٔ ۲۰۳۰-۲۰۱۶

۴. بحث و نتیجه‌گیری

تغییر اقلیم به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین چالش های زیست محیطی اثرات مستقیم و غیرمستقیم متعددی بر اکوسیستم ها دارد و پیش‌بینی می‌شود که تغییر پارامترهای اقلیمی باعث نوساناتی در تولید زیست تودهٔ اکوسیستم‌های طبیعی گردد. از این‌رو، مقدار تولید خالص اولیه در ۱۴ بیوم با پوشش‌های گیاهی مرتع و کشاورزی با استفاده از داده‌های ماهوارهٔ مودیس (MOD 17A3)، داده‌های ایستگاه سینوپتیک و همچنین استفاده از مدل BIOME-BGC در دو بازهٔ زمانی ۲۰۱۵-۲۰۰۱ و ۲۰۱۶-۲۰۳۰ در دشت جیرفت شبیه‌سازی گردید.

نتایج حاصل از مقایسهٔ NPP به‌دست آمده از تصاویر مودیس و NPP به‌دست آمده از مدل BIOME-BGC در دورهٔ گذشته (۲۰۱۵-۲۰۰۱)، نشان‌دهندهٔ عملکرد خوب مدل در شبیه‌سازی تولید خالص اولیه پوشش‌های گیاهی مختلف موجود در منطقهٔ مورد مطالعه بود که محققین بسیاری نیز مطلوبیت این مدل را در این زمینه تأیید نموده‌اند [۷، ۵، ۲۶]. بدین‌ترتیب از مدل BIOME-BGC برای پیش‌بینی میزان NPP در دورهٔ آتی استفاده شد. بر طبق نتایج، تولید خالص اولیه در دورهٔ آتی (۲۰۳۰-۲۰۱۶) تحت سناریوی RCP 4.5، نسبت به دوره پایه (۲۰۱۵-۲۰۰۱) در دشت جیرفت افزایش می‌یابد. که این افزایش بیشتر در قسمت‌های شمالی و غربی دشت جیرفت مشاهده می‌شود و کمترین مقدار آن مربوط به قسمت‌های جنوبی دشت می‌باشد. بیشترین نرخ تغییرات NPP به‌ترتیب مربوط به بیوم ۸ و ۲ با پوشش گیاهی مرتع و بیوم ۱۰ با پوشش گیاهان زراعی می‌باشد. چنانچه نتایج نشان می‌دهد، افزایش در تولید خالص اولیه در نتیجه افزایش بارش بوده و بارش فاکتور اصلی کنترل کنندهٔ NPP در اکثر بیوم‌هاست که نتایج تحقیقات در مراتع شمالی آمریکا [۱۵]، در مراتع مغولستان [۹] و در حوزهٔ رودخانهٔ شیانگ چین [۳۷] تأیید کننده این مطلب می‌باشد. به‌طورکلی می‌توان نتیجه‌گیری کرد که دما و بارش در دورهٔ آتی، در دشت جیرفت روند صعودی داشته و تولید خالص اولیهٔ پوشش‌های گیاهی مختلف موجود در منطقهٔ مورد مطالعه، به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار گرفته و افزایش خواهد یافت. نتایج حاصل از پاسخ تولید خالص اولیهٔ پوشش‌های گیاهی مختلف به تغییر اقلیم می‌تواند اطلاعات مفیدی را برای دولت‌مداران جهت حفظ امنیت غذایی فراهم کند.

محدودیت اصلی پژوهش، عدم دسترسی به داده‌های مشاهداتی تولید خالص اولیه در مقیاس منطقه‌ای می‌باشد که استخراج مقادیر تولید خالص اولیه براساس تصاویر ماهواره‌ای مودیس، می‌تواند جایگزینی برای آن محسوب شود. پیشنهاد می‌گردد که مدل BIOME-BGC برای سایر مناطق کشور اجرا گردیده و کارایی آن تحت اقالیم مختلف مورد بررسی قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

این پروژه در قالب طرح پژوهشی به شماره ۴-۹۷-۴۸۱۲ و با بهره‌مندی از اعتبارات پژوهشی دانشگاه جیرفت به انجام رسیده است.

References

[1] Azhdari, Z., Sardooi, E. R., Bazrafshan, O., Zamani, H., Singh, V. P., Saravi, M. M., & Ramezani, M. (2020). Impact of climate change on net primary production (NPP) in south Iran. Environmental monitoring and assessment, 192(6).

[2] Babaian, I. (2005). Preliminary study and evaluation of Weather generator models Case study: Evaluation of LARS-WG model in selected stations in Khorasan province, Climatological Research Institute, Project Report.

[3] Babaian, I. and Najafi Nik, Z. (2007). Introducing and evaluating the LARS-WG model for modeling the climatological parameters of Khorasan province in 1961-2003, Journal of Nivar, 63, 50-67.

[4] Borji Hassan Gavyar, M., Eskandari Dameneh, H., Khosravi, H. 2017. Net Primary Productivity in Kouhdasht, its Spatio-Temporal Patterns and Relation to Meteorological Variables. Journal of Range and Watreshed Management. 69 (3). 561-574.

[5] Chen, Y. and Xiao, W. (2019). Estimation of forest NPP and carbon sequestration in the Three Gorges Reservoir area, using the Biome-BGC model. Forests, 10(2), 149.

[6] Eskandari, H., Borji, M., Khosravi, H., & Mesbahzadeh, T. (2016). Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. Solid Earth, 7(3), 905-915.

[7] Hidy, D., Barcza, Z., Marjanovic, H., Sever, M. Z. O., Dobor, L., Gelybó, G., et al. (2016). Terrestrial ecosystem process model Biome-BGCMuSo v4. 0: summary of improvements and new modeling possibilities. Journal of Geoscientific Model Development. 9, 4405–4437.

[8] IPCC (2014). Climate Change 2014, Impacts, Adaptation, and Vulnerability, Part A: Global and Sectoral Aspects, Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Edited by: Field, C. B., Barros V. R., Dokken D. J., Mach K. J., Mastrandrea M. D., 544-563.

[9] Li, Q., Tuo, D., Zhang, L., Wei, X., Wei, Y., Yang, N., ... & Pan, X. (2014). Impacts of climate change on net primary productivity of grasslands in Inner Mongolia. The Rangeland Journal, 36(5), 493-503.

[10] Lieth, H. (1973). Primary production: terrestrial ecosystems. Human ecology, 1(4), 303-332.

[11] Lieth, H. (1975). Modeling the primary productivity of the world. In Primary productivity of the biosphere. Springer, Berlin, Heidelberg, 237-263.

[12] Lin, H. and Zhang, Y. (2013). Evaluation of six methods to predict grassland net primary productivity along an altitudinal gradient in the Alxa Rangeland, Western Inner Mongolia, China. Grassland Science, 59(2), 100-110.

[13] Liu, C., Dong, X., & Liu, Y. (2015). Changes of NPP and their relationship to climate factors based on the transformation of different scales in Gansu, China. *Catena*, *125*, 190-199.

[14] Morgan, J. A., Pataki, D. E., Körner, C., Clark, H., Del Grosso, S. J., Grünzweig, J. M., ... & Nippert, J. B. (2004). Water relations in grassland and desert ecosystems exposed to elevated atmospheric CO_2. Journal of Oecologia, 140(1), 11-25.

[15] Polley, H. W., Briske, D. D., Morgan, J. A., Wolter, K., Bailey, D. W., & Brown, J. R. (2013). Climate change and North American rangelands: trends, projections, and implications. Rangeland Ecology & Management, 66(5), 493-511.

[16] Ramezani, M. R., Massah Bavani, A. R., Jafari, M. and Binesh, A. (2017). Evaluating gridded BIOME-BGC for simulating LAI at Kasilian watershed-Iran. Geology, Ecology, and Landscapes, 1(4), 225-231.

[17] Ramezani, M. R., Massah Bavani, A. R., Jafari, M. and Binesh, A. (2017). Calibrating BIOME-BGC ecological model with MODIS images. 4th international conference on environmental planning and management. University of Tehran, Iran.

[18] Rasco, P., Szeidl, L. and Semenov, M. A. (1991). A serial approach to local stochastic models. J. Ecological Modeling, 57, 27-41.

[19] Richardson, C.W., Wright, D.A. (1984). WGEN: A model for generating daily weather variables. US Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS-8. USDA, Washington, DC.

[20] Running, S. W., and Hunt Jr, E. R. (1993). Generalization of a forest ecosystem process model for other biomes, BIOME-BCG, and an application for global-scale models." In Scaling Physiological Processes: Leaf to Globe", Academic Press,141-158.

[21] Saadatfar, A. (2014). Assessing and predicting the effect of climate change on the production of rangeland ecosystems and the vulnerability of ranchers' livelihoods in the coming decades (Case study: Khabar-Rechun region of Baft in Kerman province), Ph.D thesis, Supervisor: Dr. Abdol Reza Bahremand, Dr. Hossein Barani, Dr. Ali Reza Massah Bavani, Gorgan University, Iran.

[22] Saki, M., Soltani Koupaei, S., Taekesh Esfahani, M. and Jafari, R. (2018). Spatial and Temporal Changes of Net Primary Production (NPP) and Their Relationship with Climatic Factors from 2000 to 2014 in Isfahan Province. Iran. J. Appl. Ecol. 7(1). 27-40.

[23] Semenov, M. A., & Barrow, E. M. (2002). A Stochastic Weather Generator for Use in Climate Impact Studies: User Manual. Harpenden, Hertfordshire, UK.

[24] Semenov, M. A., Brooks, R. J., Barrow, E. M. and Richardson, C. W. (1998). Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. Climate research, 10(2), 95-107.

[25] Shams, Sh., Nazem Sadat, S.M., Kamgar Haghighi A. A., Zand Parsa, sh. (2011). Investigating the effect of carbon dioxide concentration and irrigation rate on evapotranspiration and yield of red bean plant (Phaseolus vulgaris). Journal of Science and Technology of Greenhouse Culture, 2(8), 1-8.

[26] Sun, Q., Li, B., Zhang, T., Yuan, Y., Gao, X., Ge, J., ... & Zhang, Z. (2017). An improved Biome-BGC model for estimating net primary productivity of alpine meadow on the Qinghai-Tibet Plateau. Ecological Modelling, 350, 55-68.

[27] Tatarinov, F. A. and Cienciala, E. (2006). Application of BIOME-BGC model to managed forests: 1. Sensitivity analysis. Forest Ecology and Management, 237(1-3), 267-279.

[28] Thornton, P. E., Hasenauer, H., & White, M. A. (2000). Simultaneous estimation of daily solar radiation and humidity from observed temperature and precipitation: an application over complex terrain in Austria. Agricultural and Forest Meteorology, 104(4), 255-271.

[29] Uchijima, Z., & Seino, H. (1985). Agroclimatic evaluation of net primary productivity of natural vegetations. Journal of Agricultural Meteorology, 40(4), 343-352.

[30] Wang, Q., Watanabe, M. and Ouyang, Z. (2005). Simulation of water and carbon fluxes using BIOME-BGC model over crops in China. Agricultural and Forest Meteorology, 131(3-4), 209-224.

[31] Wang, W., Ichii, K., Hashimoto, H., Michaelis, A. R., Thornton, P. E., Law, B. E. and Nemani, R. R. (2009). A hierarchical analysis of terrestrial ecosystem model Biome-BGC: Equilibrium analysis and model calibration. Ecological Modelling, 220(17).

[32] Wang, X., Li, F., Gao, R., Luo, Y. and Liu, T. (2014). Predicted NPP spatiotemporal variations in a semiarid steppe watershed for historical and trending climates. Journal of Arid Environments, 104, 67-79.

[33] White, M. A., Thornton, P. E., Running, S. W. and Nemani, R. R. (2000). Parameterization and sensitivity analysis of the BIOME–BGC terrestrial ecosystem model: net primary production controls. Earth interactions, 4(3), 1-85.

[34] Yu, H., Xu, J., Okuto, E. and Luedeling, E. (2012). Seasonal response of grasslands to climate change on the Tibetan Plateau. PLoS One, 7(11).

[35] Yuan, Q., Wu, S., Dai, E., Zhao, D., Ren, P. and Zhang, X. (2017). NPP vulnerability of the potential vegetation of China to climate change in the past and future. Journal of Geographical Sciences, 27(2), 131-142.

[36] Zhang, G., Kang, Y., Han, G. and Sakurai, K. (2011). Effect of climate change over the past half century on the distribution, extent and NPP of ecosystems of Inner Mongolia. Global Change Biology, 17(1), 377-389.

[37] Zhang, X., Xiao, W., Wang, Y., Wang, Y., Wang, H., Wang, Y., … & Yang, R. (2020). Spatial-temporal changes in NPP and its relationship with climate factors based on sensitivity analysis in the Shiyang River Basin. Journal of Earth System Science, 129(1), 1-13.