

تغییرات مکانی و زمانی تولید خالص اولیه (NPP) و ارتباط آن با فاکتورهای اقلیمی طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰ در استان اصفهان

مرجان ساکی^{*}، سعید سلطانی کوپایی^۱، مصطفی ترکش اصفهانی^۱ و رضا جعفری^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۲۷)

چکیده

مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی و زمانی تولید خالص اولیه بیوم‌های مختلف استان اصفهان در دوره ۲۰۱۴-۲۰۰۰ و پاسخ آن به فاکتورهای اقلیمی انجام گرفت. به این منظور داده‌های تولید خالص اولیه سنجنده MODIS جمع‌آوری و نقشه متغیرهای اقلیمی با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی تولید شد و ترکیب این داده‌ها برای ارزیابی تغییرات زمانی- مکانی تولید خالص اولیه مورد استفاده قرار گرفت. نتایج نشان داد پراکنش مکانی تولید خالص اولیه در منطقه روند معنی‌دار دارد. بیشترین میزان تولید خالص اولیه مربوط به قسمت‌های غربی استان است و به سمت شرق کاهش می‌یابد. میانگین سالانه تولید خالص اولیه برای بیوم‌های مرتع، جنگل، بیابان، تاغزارها و اراضی کشاورزی به ترتیب برابر با ۱۶/۷، ۵۸/۷۷، ۱/۶۶، ۵/۷۶ و ۵۱/۴۳ گرم کربن در مترمربع در سال است. تغییرات زمانی میانگین سالانه تولید خالص اولیه از ۲۰۱۴-۲۰۰۰ روند معنی‌داری نداشته است. در ۸۲/۱۴ درصد از سطح منطقه، شیب تغییرات کمتر از صفر ($\theta_{Slope < 0}$) و در ۱۷/۸۶ درصد از منطقه مقدار این شاخص بیشتر از صفر ($\theta_{Slope > 0}$) است. بیشترین و کمترین میزان شیب تغییرات به ترتیب در بیوم‌های جنگل و بیابان دیده می‌شود. مقدار تولید خالص اولیه بیوم‌های مرتع، بیابان و تاغزارها تحت تأثیر فاکتور بارش قرار دارد، در حالی که درجه حرارت فاکتور کنترل‌کننده اصلی در بیوم‌های جنگل و کشاورزی است.

واژه‌های کلیدی: سنجنده MODIS، شیب تغییرات تولید خالص اولیه، پراکنش مکانی تولید خالص اولیه، روش‌های میان‌یابی، بیوم‌های استان اصفهان

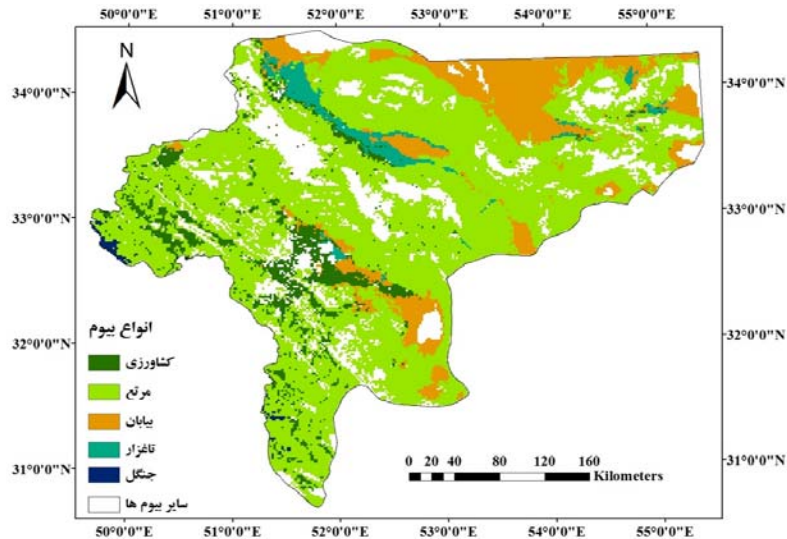
۱. گروه علوم مرتع، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی اصفهان
^{*} مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: marjan.saki@yahoo.com

مقدمه

تولید خالص اولیه (NPP: Net Primary Production) تابعی از بیوماس رویشگاه است که به‌عنوان میزان تفاوت بین فتوسنتز و تنفس اتوتروف‌ها در واحد سطح و زمان تعریف می‌شود (۲۲). NPP یا نرخ جذب دی‌اکسید کربن در فرایند فتوسنتز، ارتباط قوی بین اتمسفر و بیوسفر برقرار می‌کند (۱۹، ۲۳ و ۲۴). NPP یک جزء مهم در چرخه کربن اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شود. تغییرات اقلیمی اثر معنی‌داری بر اکوسیستم‌های طبیعی در برخی از مناطق جهان داشته و NPP به‌عنوان یک شاخص مهم برای چگونگی پاسخ اکوسیستم بیان شده است (۱۶). به‌طور سنتی NPP با استفاده از اندازه‌گیری بیومتری مثل روش میدانی یا مستقیم ارزیابی می‌شود، اگر چه این روش‌ها بسیار دقیق بوده و به‌طور موفقیت‌آمیزی برای استخراج داده‌های NPP در مقیاس کوچک استفاده می‌شوند، اما آنها اغلب نیازمند صرف هزینه و زمان زیادی بوده و برای مقیاس‌های بزرگ عملی نیستند (۹). محققان برای پایش شاخص‌های اکوسیستم که به تغییرات محیطی حساس هستند از ابزار و برنامه‌های جدید همچون بهره‌گیری از داده‌های سنجنش از دور که ابرزاری قدرتمند برای پایش سیستم‌های محیطی هستند استفاده می‌کنند. پیشرفت داده‌های سنجنش از دور، به‌خصوص سنجنده MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) که به‌طور اصولی شاخص‌های اکولوژیکی را در مقیاس‌های مختلف تولید می‌کند، فرصتی مناسب به‌منظور برآورد NPP در مقیاس چشم‌انداز و منطقه‌ای، با هزینه مناسب و روش دقیق فراهم می‌کند (۲ و ۱۶).

مطالعات تولید براساس داده‌های سنجنش از دور از اوایل سال ۱۹۸۰ شروع شده است. شمار زیادی از این مطالعات بر اکوسیستم‌های جنگلی تمرکز دارند (۹ و ۱۰) و تعداد کمی از تحقیقات جهت برآورد تولید در مناطق خشک و نیمه‌خشک انجام گرفته است. محققان قبلی عموماً بر NPP و تأثیر فاکتورهای اقلیمی بر آن در مقیاس بزرگ تمرکز کرده‌اند (۱، ۱۰ و ۲۵). آنی و همکاران (۵) برای پایش مرتع در منطقه کینگهای چین از سال ۲۰۰۴-۱۹۹۰، تغییرات NPP را مورد بررسی قرار دادند. به‌همین منظور از داده‌های NDVI MODIS

(Normalized Difference Vegetation Index Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) و NDVI AVHRR/NOAA (Normalized Difference Vegetation Index Advanced Very High Resolution Radiometer/National Oceanic and Atmospheric Administration)، به‌ترتیب در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۴ برای برآورد NPP استفاده کردند. نتایج مطالعه آنها نشان می‌دهد که درصد تخریب مرتع از ۳۲/۸۶ درصد به ۳۶/۷ درصد بین سال‌های ۲۰۰۴-۱۹۹۰ افزایش یافته است. چائو و همکاران (۲۱) با هدف بررسی NPP گیاهان در فلات تبت از داده‌های سنجنش از دور سنجنده MODIS و مدل GLO-PEM (Global Production Efficiency Model) استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد تغییرات NPP از صفر تا ۱۵۰۰ گرم کربن در مترمربع در سال، ناشی از فاکتورهای محدود کننده اقلیمی شامل درجه حرارت و بارش است. گانگ و همکاران (۱۴) در مطالعه‌ای به ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی NPP اکوسیستم‌های خشکی در پاسخ به تغییرات اقلیمی از سال ۲۰۰۰-۱۹۱۱ پرداختند. در این تحقیق تغییرات پراکنش مکانی و زمانی NPP از ۲۰۰۰-۱۹۱۱ با سیستم CSCS (Comprehensive and Sequential Classification System) مورد بررسی قرار گرفت. آنها بیان می‌کنند که افزایش ثابت درجه حرارت جهانی و تغییر الگوی بارش تأثیر زیادی بر پراکنش مکانی-زمانی و تولید اکوسیستم‌های خشکی خصوصاً در ارتفاعات بالاتر و متوسط دارد. تولید خالص اولیه جهانی یک همبستگی مثبت با میانگین بارش سالیانه در مقایسه با میانگین درجه حرارت سالیانه و درجه حرارت بیولوژیکی نشان می‌دهد. فنگ و همکاران (۱۳) به پیش‌بینی تغییرات NPP گراسلند در سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۱۰ در مناطق مختلفی از چین پرداختند. به این منظور NPP با استفاده از مدل CASA (Carnegie Ames Stanford Approach) برآورد شد. داده‌های اقلیم پیش‌بینی شده از ۲۰۵۰-۲۰۰۶ با شبیه‌سازی توسط مدل CCSM (Community Climate System Model) تولید شد. نتایج نشان می‌دهد فاکتور درجه حرارت و بارش برای NPP چمنزار در مقیاس ملی بسیار ضروری هستند، اما درجه حرارت



شکل ۱. بیوم‌های اکولوژیک در استان اصفهان

کشاورزی از سال ۲۰۱۴-۲۰۰۰ و پاسخ آنها به فاکتورهای اقلیمی نظیر بارش و درجه حرارت در مقیاس سالانه است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

استان اصفهان به علت قرارگرفتن در منطقه خشک مرکزی ایران دارای تنوع آب و هوایی، خاک و پوشش گیاهی چشم‌گیری نیست. این استان با مساحت ۱۰۶۱۷۹ کیلومتر مربع با مختصات جغرافیایی ۳۰° ۴۳' تا ۳۴° ۲۷' عرض شمالی و ۴۹° ۳۶' تا ۳۱° ۳۱' طول شرقی است. تغییرات شدید ارتفاع از سطح دریا بین ۷۰۷ تا حدود ۴۰۰۰ متر دارد و ارتفاع متوسط آن حدود ۱۶۰۵ متر است و اغلب ارتفاعات دارای جهت شمال غربی- جنوب شرقی است. دامنه تغییرات بارش بین ۳۳/۳۳- ۹۴۱/۲۳ میلی‌متر و متوسط بارش کل استان در حدود ۱۶۴ میلی‌متر است. دامنه تغییرات متوسط، متوسط حداکثرها و متوسط حداقل‌های سالانه دما به ترتیب بین ۱۰/۲۶-۲۲/۱، ۱۷-۲۶/۵ و ۳/۵- ۱۲/۷۵ درجه سانتی‌گراد و متوسط درجه حرارت سالانه استان تقریباً ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. استان اصفهان به بیوم‌های اکولوژیک شامل مرتع، جنگل، بیابان، تاغزار، کشاورزی و سایر بیوم‌ها (۳) تقسیم شده است (شکل ۱).

فاکتور مهم‌تری برای افزایش NPP چمنزار در فلات کینگای تبت است و افزایش درجه حرارت و بارش می‌تواند سبب افزایش NPP شود. هائو و همکاران (۱۶) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر NPP مناطق خشک و نیمه‌خشک چین پرداختند. به همین منظور از داده‌های NPP سنجنده MODIS و داده‌های اقلیمی از سال ۲۰۱۰-۲۰۰۰ استفاده کردند. نتایج آنها نشان می‌دهد که در ۶۶/۱۱ درصد از منطقه NPP دارای همبستگی مثبت با فاکتور درجه حرارت و ۹۱/۴۷ درصد از منطقه دارای همبستگی مثبت با فاکتور بارش است و بنابراین بارش، فاکتور محدود کننده NPP در این منطقه محسوب می‌شود.

NPP شاخص مهمی در چرخه کربن است که میزان ذخیره کربن را نشان می‌دهد و نسبت به تغییرات محیطی بسیار حساس است (۸). اهمیت بررسی تغییرات NPP در مناطق خشک و نیمه‌خشک همچون استان اصفهان به این دلیل است که اکوسیستم‌های مختلف در این مناطق به تخریب و تغییرات محیطی همچون تغییر اقلیم بسیار حساس هستند. با این حال NPP مناطق خشک و نیمه‌خشک بر پایه داده‌های سنجنش از دوری به ندرت مورد پژوهش قرار گرفته است. هدف از مطالعه حاضر بررسی تغییرات زمانی و مکانی NPP در سطح بیوم‌های استان اصفهان همچون مرتع، جنگل، بیابان، تاغزارها و اراضی

داده‌های مورد استفاده

داده‌های اقلیمی

داده‌های ۳۷ ایستگاه هواشناسی موجود در استان اصفهان و استان‌های مجاور شامل: میانگین درجه حرارت ماهانه و کل بارش ماهانه از ژانویه ۲۰۰۰ تا دسامبر ۲۰۱۴ مورد استفاده قرار گرفت. پس از انجام آنالیزهای اولیه بر داده‌های هواشناسی شامل تعیین توزیع آماری داده‌ها، بررسی کیفی و نرمال بودن داده‌های اقلیمی از روش کلموگروف-اسمیرنوف (Kolmogrov-Smirnov) (۴)، اقدام به تولید نقشه متغیرهای اقلیمی با استفاده از روش‌های مختلف میان‌یابی همچون کریجینگ و معکوس فاصله وزنی در نرم‌افزار ARC-GIS 10.3 شد (۴). به منظور انتخاب بهترین روش میان‌یابی از معیار خطای مجذور میانگین (RMSE: Root Mean Square Error) استفاده شد، هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد روش میان‌یابی بهتر است (۴).

داده‌های سنجش از دور

داده‌های NPP برای ارزیابی شرایط رشد گیاهان و برآورد بیوماس و پایش محیطی استفاده می‌شوند. داده‌های NPP تولیدی سنجنده MODIS در منطقه برای سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴ از پایگاه داده (United States Geological Survey) USGS (۲۰) جمع‌آوری شد، تفکیک مکانی این داده‌ها یک کیلومتر، شماره داده‌ها MOD17A3 و فاصله زمانی آنها یک‌سال است.

نقشه کاربری اراضی

در این مطالعه نقشه کاربری اراضی استان اصفهان با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ (۳) مورد استفاده قرار گرفت. به منظور بررسی داده‌ها، تمامی نقشه‌ها با پیکسل سایز ۱ × ۱ کیلومتر و سیستم تصویر یکسان برای منطقه مورد مطالعه تولید شدند. آماده‌سازی و آنالیز داده‌ها در نرم‌افزار ARC GIS 10.3 و Envi 5.1 انجام گرفت.

آنالیزهای آماری مورد استفاده

بررسی روند تغییرات

روند تغییرات NPP برای هر پیکسل تصویر با استفاده از آنالیز رگرسیون خطی ساده در محیط Arc Gis 10.3 براساس رابطه (۱) شبیه‌سازی شد (۱۶):

$$\theta_{\text{slope}} = \frac{n \times \sum_{j=1}^n j \times \text{NPP}_j - \sum_{j=1}^n j \times \sum_{j=1}^n \text{NPP}_j}{n \times \sum_{j=1}^n j^2 - \left(\sum_{j=1}^n j \right)^2} \quad (1)$$

θ_{slope} شیب تغییرات NPP در منطقه مورد مطالعه، n شمار سال‌های مورد پایش، NPP_j مقدار NPP سالانه برای سال j، $\theta_{\text{slope}} > 0$ و $\theta_{\text{slope}} < 0$ به ترتیب نشان‌دهنده شیب تغییرات مثبت و منفی در میزان NPP هستند.

بررسی دقت نقشه‌های اقلیمی

برای ارزیابی نتایج میان‌یابی نقشه‌های اقلیمی از معیار خطای RMSE استفاده شده است که هرچه این مقدار کمتر باشد روش میان‌یابی دقت بیشتری در تولید نقشه‌های اقلیمی دارد:

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}} \quad (2)$$

که در رابطه (۲) x_i داده واقعی و y_i داده شبیه‌سازی شده یا داده‌های پیش‌بینی شده و n تعداد نمونه‌ها است.

آنالیز همبستگی

به منظور بررسی ارتباط بین NPP و متغیرهای اقلیمی همچون درجه حرارت و بارش از آنالیز همبستگی رابطه (۳) استفاده شد. در مطالعه حاضر برای محاسبه ضرایب همبستگی بین دو تصویر رستری از دستور corLocal در نرم‌افزار R (۱۸) استفاده شد. این دستور همبستگی مکانی بین دو تصویر را براساس نقطه مرکزی و ایجاد بافر محاسبه می‌کند:

پس از بیوم مرتع، بیشترین میزان NPP سالانه استان یعنی در حدود ۲۳/۲۶ درصد را دارد (جدول ۱). در بیوم کشاورزی بیشترین و کمترین ارزش NPP به ترتیب در سال ۲۰۱۰ (۶۴/۷) گرم کربن بر مترمربع در سال) و ۲۰۰۰ (۳۶/۳) گرم کربن بر مترمربع در سال) مشاهده شده است (شکل ۳).

در قسمت‌های شرقی و شمال شرق استان بیوم بیابان دیده می‌شود. این بیوم دارای بارش اندک سالانه و دارای پوشش گیاهی پراکنده است. دامنه تغییرات NPP برای این بیوم بین ۱-۱۴۱/۷۸ گرم کربن بر مترمربع در سال است. این بیوم ۱/۴۶ درصد از NPP استان را به خود اختصاص داده است (جدول ۱). در بیوم بیابان کمترین ارزش NPP در سال ۲۰۰۰ (۱/۶) گرم کربن بر مترمربع در سال) و بیشترین ارزش در سال ۲۰۰۴ (۱/۹) گرم کربن بر مترمربع در سال) مشاهده شده است (شکل ۳). در جنگل‌های تاغ دامنه تغییرات NPP بین ۱-۱۴۳/۶ گرم کربن بر مترمربع در سال است. این بیوم در حدود ۱/۱۸ درصد از NPP استان را در برمی‌گیرد (جدول ۱). در بیوم جنگل تاغ بیشترین ارزش NPP در سال ۲۰۰۱ (۵/۸) گرم کربن بر مترمربع در سال) و کمترین ارزش آن (۴/۴) گرم کربن بر مترمربع در سال) در سال ۲۰۰۸ است (شکل ۳). در مجموع این پنج بیوم سطحی برابر با ۸۳/۱ درصد از استان را در بر گرفته‌اند. مناطق مسکونی (شهری و روستایی)، رودخانه زاینده‌رود و جاده‌ها از جمله کاربری‌هایی هستند که در ۱۶/۹ درصد از سطح باقی‌مانده استان قرار می‌گیرند.

پراکنش مکانی و زمانی بارش و درجه حرارت

پراکنش مکانی بارش و درجه حرارت منطقه (شکل ۴) نشان می‌دهد که دامنه تغییرات بارش و درجه حرارت به ترتیب بین ۳۳/۳-۹۴۱/۲ میلی‌متر و ۱۰/۲۶-۲۲/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارش در حدود ۱۶۴ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالانه تقریباً ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. میانگین بارش در بیوم‌های مرتع، جنگل، بیابان، تاغزار و کشاورزی به ترتیب ۱۷۴/۳۲، ۷۱۸، ۹۵/۳۳، ۱۳۲/۵ و ۲۳۶/۳۹ میلی‌متر و میانگین

$$R_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

ضریب همبستگی ساده بین متغیر x و y است، x_i مقدار NPP سال یا ماه i ؛ y_i متغیرهای مستقل مثل بارش و درجه حرارت سال یا ماه i و n شمار سال‌ها یا ماه‌ها است.

نتایج

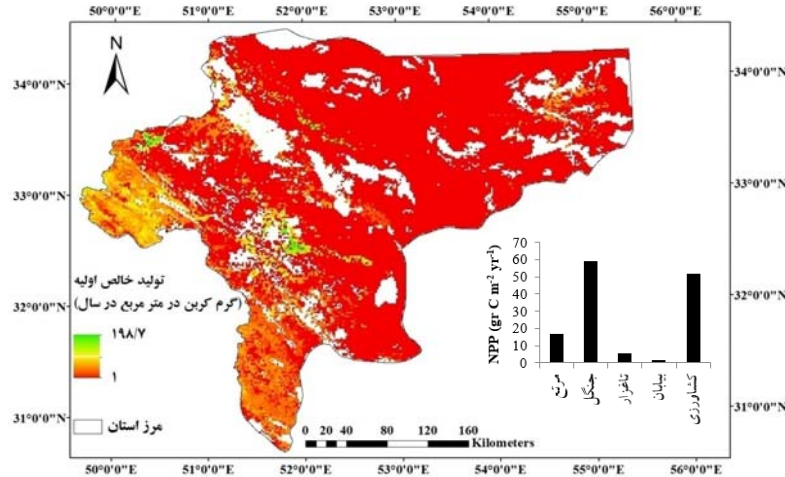
تغییرات مکانی و زمانی NPP

پراکنش مکانی NPP سالانه منطقه مورد مطالعه طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰ در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل استنباط می‌شود، یک روند معنی‌دار کاهش در میزان NPP از غرب به شرق استان دیده می‌شود. برای کل منطقه مورد مطالعه، میانگین سالانه NPP برابر با ۱۶/۹ گرم کربن بر مترمربع در سال است.

بیوم جنگل در غربی‌ترین قسمت استان با مساحت ۳۸۴ کیلومتر مربع قرار گرفته است (جدول ۱). دامنه تغییرات NPP این بیوم بین ۱ تا ۱۱۰/۵۴ گرم کربن بر مترمربع در سال بوده است. بیشترین و کمترین میانگین سالانه NPP در این بیوم به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۰۰ که برابر با ۷۴/۹ و ۴۴/۸ گرم کربن بر مترمربع در سال است (شکل ۳).

بیوم مرتع وسیع‌ترین بیوم در استان اصفهان محسوب شده (جدول ۱) که از غرب به شرق استان امتداد دارد. مقادیر بالای NPP در مراتع غرب و مقادیر پایین NPP در مراتع شرق استان و دامنه تغییرات آنها از ۱ تا ۱۶۷/۵۸ گرم کربن بر مترمربع در سال است. بیشترین ارزش میانگین سالانه NPP در سال ۲۰۱۰ برابر با ۲۰/۹ گرم کربن بر مترمربع در سال و کمترین ارزش در سال ۲۰۰۰ برابر با ۱۲ گرم کربن بر مترمربع در سال است (شکل ۳).

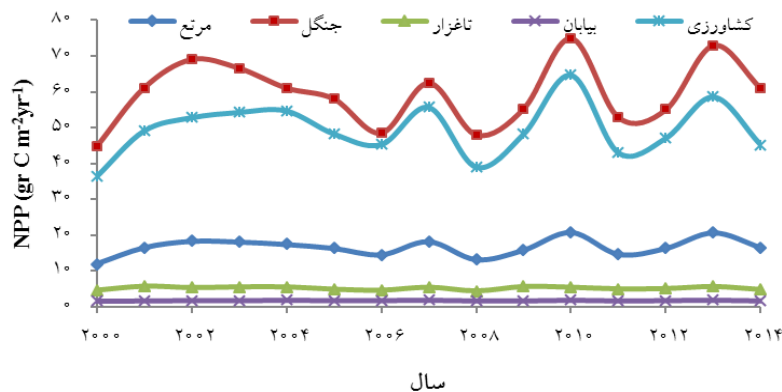
اراضی کشاورزی استان اصفهان عموماً در امتداد رودخانه زاینده‌رود قرار گرفته‌اند. دامنه تغییرات NPP در این اراضی بین ۱-۱۹۸/۷ گرم کربن بر مترمربع در سال است. اراضی کشاورزی



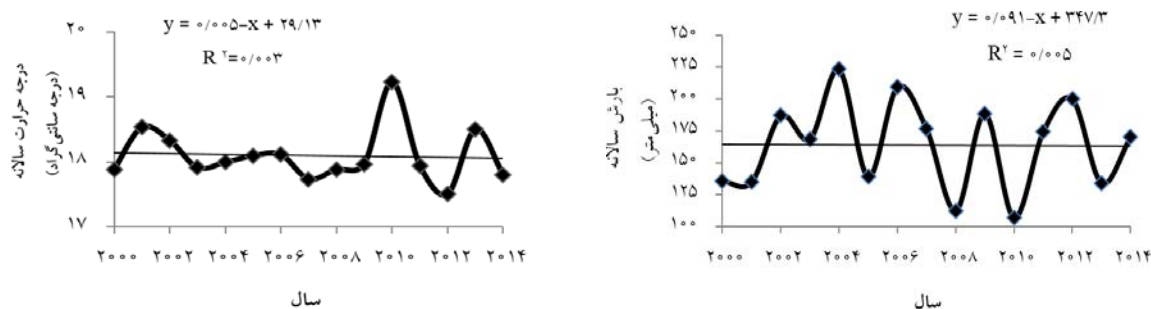
شکل ۲. پراکنش مکانی میانگین سالانه NPP از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴ در استان اصفهان

جدول ۱. میانگین و مجموع میانگین NPP سالانه بیوم‌های مختلف در استان اصفهان طی سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۴

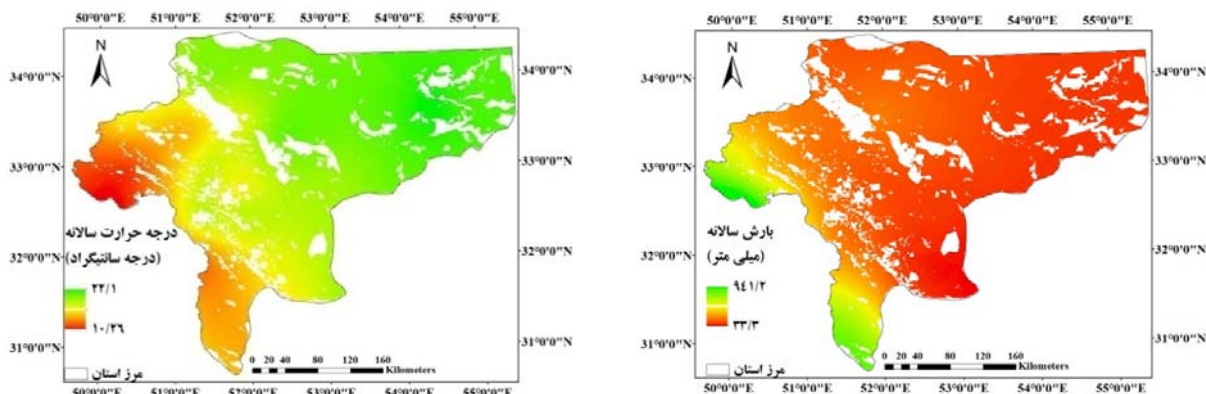
نام بیوم	مساحت کاربری (Km ²)	میانگین NPP (gr C m ⁻² yr ⁻¹)	مجموع میانگین NPP سالانه (۱۰ ^۶ gr C yr ⁻¹)	درصد NPP	درصد مساحت
مرتع	۶۵۰۸۴	۱۶/۷	۱۰۸۶۹۰۲/۸	۷۲/۶۷	۷۳/۷
کشاورزی	۶۷۶۶	۵۱/۴۳	۳۴۷۹۷۵/۳۸	۲۳/۲۶	۷/۶۵
بیابان	۱۳۲۲۶	۱/۶۶	۲۱۹۵۵/۱۶	۱/۴۶	۱۴/۹
تاغزار	۲۸۲۴	۵/۷۶	۱۶۲۶۶/۲۴	۱/۱۸	۳/۱
جنگل	۳۸۴	۵۸/۷۷	۲۲۵۶۷/۶۸	۱/۵	۰/۴۵
مجموع	۸۸۲۸۴	۱۶/۹۴	۱۴۹۵۵۳۰/۹۶	۱۰۰	۱۰۰



شکل ۳. روند تغییرات میانگین سالانه NPP بیوم‌های مختلف در استان اصفهان از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴



شکل ۴. روند تغییرات سالانه فاکتورهای اقلیمی بارش و درجه حرارت در استان اصفهان از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴



شکل ۵. پراکنش مکانی بارش و میانگین درجه حرارت سالانه از ۲۰۰۰-۲۰۱۴ در استان اصفهان

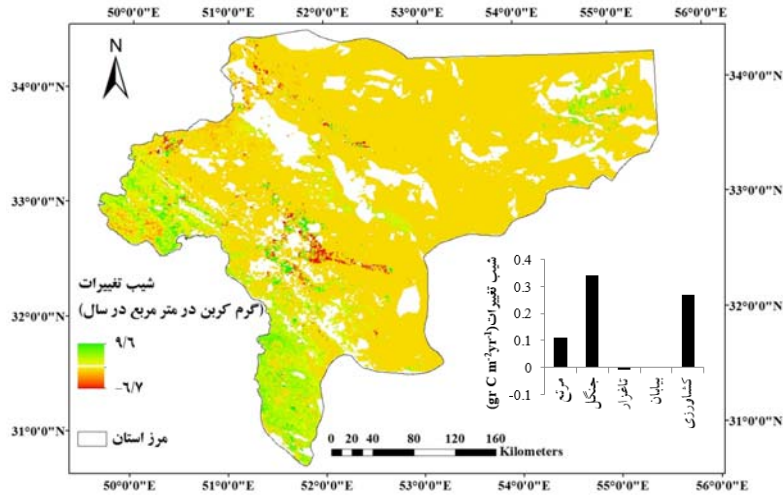
جنوب غرب و به سمت شرق و شمال شرق مقادیر منفی شیب NPP مشاهده می‌شود. در بیوم‌های مختلف درصد مساحت مقادیر شیب منفی و مثبت تغییرات NPP از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴ متفاوت بوده که نتایج آن در شکل ۷ نشان داده شده است. بیش از ۹۸ درصد از بیوم بیابان دارای شیب منفی در میزان NPP بوده است و پس از آن بیوم تاغزار با ۹۷/۵ درصد و مرتع با ۸۱/۵ درصد دارای بیشترین میزان شیب منفی در مساحت خود هستند. درحالی که بیوم جنگل در ۶۸/۶ درصد از مساحت خود دارای یک شیب مثبت در میزان NPP است و پس از آن بیوم کشاورزی دارای بیشترین سطح شیب مثبت با ۴۵/۶ درصد است. بر این اساس سطحی از منطقه که دارای شیب تغییرات منفی ($\theta_{Slope} < 0$) است بسیار زیاد است. به طوری که در ۸۲/۱۴ درصد از منطقه نرخ تغییرات کمتر از صفر ($\theta_{Slope} < 0$) و در ۱۷/۸۶ درصد از منطقه نرخ تغییرات بیشتر از صفر ($\theta_{Slope} > 0$) بوده است.

درجه حرارت سالانه به ترتیب ۱۷/۸، ۱۱/۹، ۲۰/۸، ۱۹/۶۵ و ۱۵/۸۷ درجه سانتی‌گراد است. تغییرات زمانی میانگین بارش سالانه و درجه حرارت سالانه در شکل ۵ نشان داده شده است.

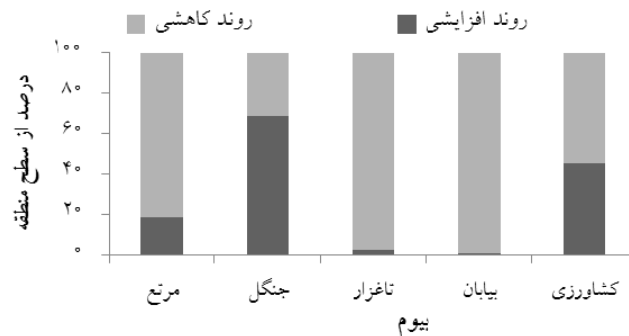
بیشترین و کمترین میانگین درجه حرارت سالانه به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۰ (۱۹/۲۳ درجه سانتی‌گراد) و ۲۰۱۲ (۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد) رخ داده است و کمترین و بیشترین میزان بارش سالانه در سال‌های ۲۰۱۰ (۱۰۶/۵ میلی‌متر) و ۲۰۰۴ (۲۲۳/۲۳ میلی‌متر) بوده است.

شیب تغییرات NPP

دامنه شیب تغییرات NPP منطقه از سال ۲۰۱۴-۲۰۰۰ بین ۶/۷- تا ۹/۶ گرم بر مترمربع در سال است. همان‌طور که از شکل ۶ استنباط می‌شود مقادیر مثبت شیب NPP در مناطق غرب و



شکل ۶. شیب تغییرات NPP استان اصفهان طی سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۰۰



شکل ۷. پراکنش مکانی شیب تغییرات در بیوم‌های مختلف از سال ۲۰۱۴-۲۰۰۰

جدول ۲. مقیاس طبقه‌بندی تولید اکوسیستم توسط ادوم (۱۹)

طبقات تولید	اول	دوم	سوم	چهارم
مقدار تولید خالص اولیه ($\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$)	$82 \geq$	۴۹۳-۸۲	۱۶۴۳-۴۹۳	۳۲۸۵-۱۶۴۳

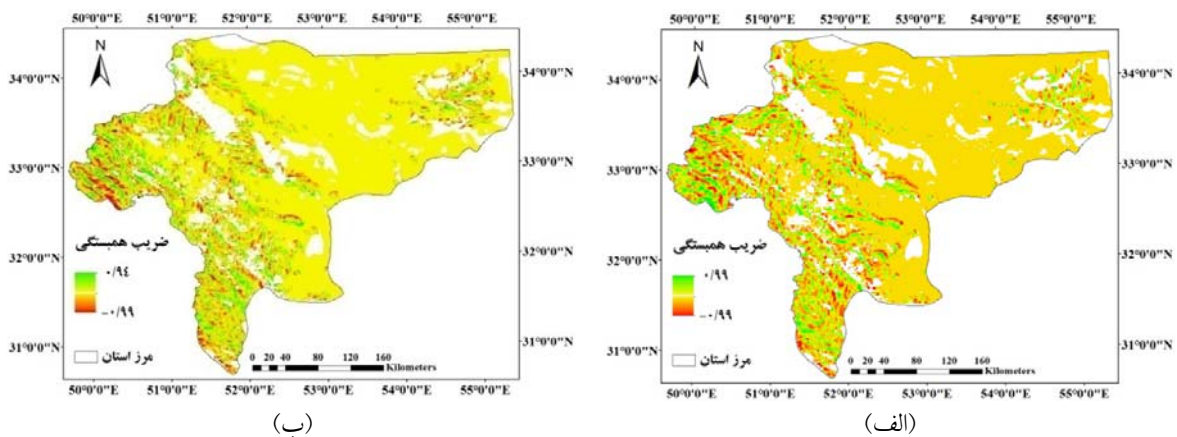
تغییرات بین سالی NPP برای کمک به درک تغییرات جهانی ضروریست (۱۹). به طوری که درک ارتباط پیچیده بین اثرات فاکتورهای محیطی بر NPP و بیوماس قابل تجدید، برای اجتناب از برداشت بیش از حد (منجر شدن به بیابان‌زایی) در مناطق خشک و نیمه‌خشک دارای اهمیت است (۱۱ و ۱۷). در مطالعه حاضر اثرات تغییرات اقلیمی بر NPP بیوم‌های اکولوژیک استان اصفهان شامل مرتع، جنگل، بیابان، تاغزارها و اراضی کشاورزی بررسی شد.

بحث

میانگین سالانه NPP برای بیوم‌های مرتع، جنگل، بیابان، تاغزار و اراضی کشاورزی به ترتیب برابر با ۱۶/۷، ۵۸/۷۷، ۵۱/۴۳، ۵/۷۶ و ۱/۶۶ $\text{g C m}^{-2} \text{ yr}^{-1}$ مقیاس طبقه‌بندی تولید اکوسیستم ادوم (۱۹) بیوم‌های استان اصفهان در پایین‌ترین سطح تولید قرار می‌گیرند (جدول ۲). تغییر در میزان NPP می‌تواند شاخص خوبی برای تغییرات اقلیمی منطقه باشد، بنابراین مطالعه هم‌زمان فاکتورهای اقلیمی و



شکل ۸. درصد مساحت همبستگی مثبت NPP با فاکتورهای بارش و درجه حرارت در بیوم‌های استان اصفهان



شکل ۹. ضرایب همبستگی مکانی بین NPP و فاکتورهای اقلیمی از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴ در استان اصفهان: الف) میانگین NPP و

درجه حرارت سالانه و ب) میانگین NPP و بارش سالانه

چورکینا و همکاران (۷) و گرتن و همکاران (۱۵) و هائو و همکاران (۱۶) نیز اشاره شده است. در واقع فاکتور بارش یک نقش اساسی در رشد و تولید گیاهان در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایفا می‌کند. افزایش بارش، رطوبت خاک را افزایش می‌دهد، که در نتیجه آن فتوسنتز افزایش و تولید گیاهان زیاد می‌شود. از سویی دیگر، درجه حرارت نه تنها بر فتوسنتز و تنفس اثر می‌گذارد، بلکه باعث افزایش تبخیر و تعرق و کاهش رطوبت خاک می‌شود. افزایش خالص درجه حرارت، خشکی را افزایش داده و رشد گیاهان را محدود می‌کند که در نتیجه به کاهش تولید روند NPP می‌انجامد (۲۴). در میان بیوم‌ها پاسخ NPP به بارش سالانه به صورت قابل ملاحظه‌ای متفاوت از پاسخ آن به درجه حرارت سالانه است (شکل ۹). در بیوم جنگل، میانگین ضرایب

همبستگی مکانی NPP و فاکتورهای اقلیمی در مقیاس سالانه ضرایب همبستگی فاکتورهای اقلیمی نظیر بارش و درجه حرارت و NPP در مقیاس زمانی سالانه برای هر پیکسل (۶) محاسبه شد، نتایج نشان داد که میانگین ضرایب همبستگی جزئی بین NPP و بارش سالانه برابر با ۰/۰۶ بوده، درحالی که مقدار این شاخص بین NPP و میانگین درجه حرارت سالانه برابر با ۰/۰۶- است (جدول ۲). مساحتی که NPP سالانه دارای یک ارتباط مثبت با فاکتور بارش است تقریباً برابر با ۷۸/۸۲ درصد از منطقه است (شکل ۸)، درحالی که ۲۰/۸۳ درصد از مساحت منطقه یک ارتباط مثبت بین NPP با فاکتور درجه حرارت را نشان می‌دهد (شکل ۸). بنابراین در کل منطقه همبستگی بین NPP و بارش قوی‌تر از همبستگی بین NPP و درجه حرارت است که به این موضوع در مطالعات

جدول ۳. جزئیات ضرایب همبستگی در مقیاس زمانی سالانه بین NPP و فاکتورهای اقلیمی از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴

بیوم	فاکتورهای اقلیمی	کمینه	بیشینه	میانگین
مرتع	بارش	-۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۰۶
	درجه حرارت	-۰/۹۷	۰/۹۹	-۰/۰۶
جنگل	بارش	-۰/۸۱	۰/۷۲	-۰/۰۰۷
	درجه حرارت	-۰/۸۴	۰/۷۴	۰/۰۹۶
بیابان	بارش	-۰/۸۲	۰/۸۱	۰/۰۹۱
	درجه حرارت	-۰/۹	۰/۸۱	-۰/۰۹۲
تاغزار	بارش	-۰/۷۶	۰/۸۵	۰/۰۷۲
	درجه حرارت	-۰/۸۲	۰/۶۷	-۰/۰۶۵
کشاورزی	بارش	-۰/۹۸	۰/۸۴	-۰/۰۲
	درجه حرارت	-۰/۹۹	۰/۸۹	۰/۰۲
کل منطقه	بارش	-۰/۹۹	۰/۹۴	۰/۰۶
	درجه حرارت	-۰/۹۹	۰/۹۹	-۰/۰۶۲

بارش همبستگی کمتری داشته است.

در بیوم مرتع با توجه به اقلیم حاکم بر منطقه نوع پوشش از غرب به شرق متفاوت است. در این بیوم مراتع با وضعیت‌های ضعیف، متوسط و خوب مشاهده می‌شود. به‌طوری که مراتعی با وضعیت خوب در غرب و جنوب غرب استان دیده شده و درجات ضعیف‌تر به سمت شرق دیده می‌شوند. بر همین اساس مقادیر بالای NPP در مراتع غرب و مقادیر پایین NPP در مراتع شرق استان دیده می‌شود. در بیوم مرتع میانگین ضرایب همبستگی NPP و بارش سالانه برابر با ۰/۰۶ و برای فاکتور درجه حرارت برابر با ۰/۰۶- است (جدول ۳). مساحتی که NPP دارای همبستگی مثبت با درجه حرارت و بارش است به‌ترتیب برابر با ۲۰/۳ درصد و ۷۹/۲۷ درصد است (شکل ۸)، که نشان‌دهنده اهمیت بیشتر فاکتور بارش در تولید گیاهان این بیوم است. در قسمت‌های غربی و جنوب غربی استان که مراتع در مناطق کوهستانی قرار گرفته است همبستگی بالاتری با درجه حرارت نشان می‌دهد. در این قسمت با توجه به اقلیم منطقه، درجه حرارت عامل محدود کننده برای رشد گیاهان است و افزایش درجه حرارت باعث افزایش رشد و تولید گیاهان

همبستگی جزئی بین NPP و بارش سالانه برابر با ۰/۰۰۷- بوده است در حالی که این مقدار برای فاکتور درجه حرارت برابر با ۰/۰۹۶ است (جدول ۳). درصد مساحتی از بیوم جنگل که در آن NPP دارای ارتباط مثبت با فاکتور بارش است برابر با ۵۲ درصد است، و مساحتی که NPP در این بیوم در ارتباط مثبت با درجه حرارت است برابر با ۶۰/۸ درصد است (شکل ۸). این نتایج نشان می‌دهد درجه حرارت فاکتور مهم‌تری برای رشد و تولید گیاهان در این بیوم است، لیو و همکاران (۱۶) نیز در مطالعه خود به این موضوع اشاره کرده‌اند. این نتیجه ممکن است ناشی از این مطلب باشد که بیوم جنگل در امتداد جنگل‌های زاگرس با گونه غالب بلوط در قسمت‌های غرب و بخش ناچیزی در جنوب غرب استان با اقلیم سرد و کوهستانی قرار گرفته است. با توجه به میزان بارش این ناحیه (حدود ۷۱۸ میلی‌متر در سال) عامل محدود کننده، درجه حرارت است. افزایش درجه حرارت در این مناطق به‌خصوص در آغاز فصل رویش گیاهان در بهار، باعث افزایش رشد و روند افزایشی NPP می‌شود، از طرفی به دلیل ریشه‌های عمیق درختان و استفاده آنها از رطوبت عمقی خاک، این بیوم با تغییر مکانی

جدول ۴. آمار شیب تغییرات NPP در کل منطقه مورد مطالعه از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴

روند تغییرات	نام طبقه	مساحت (km ^۲)	درصد مساحت
$\theta_{slope} > 3$	کاهش ضعیف	۶۳	۰/۰۷۸
$-3 < \theta_{slope} < 3$	تقریباً بدون تغییر	۸۸۹۱۹	۹۹/۷۶
$\theta_{slope} < 3$	افزایش ضعیف	۱۴۸	۰/۱۷

بارش و درجه حرارت است به ترتیب برابر با ۷۶/۹ و ۲۳/۹ درصد است (شکل ۸)، که نشان‌دهنده غالب بودن اهمیت فاکتور بارش در این بیوم است.

شیب تغییرات سالانه NPP

شیب تغییرات (θ_{slope}) محاسبه شده با توجه به دامنه آن در سه طبقه شامل: کاهشی ضعیف، بدون تغییر و افزایشی ضعیف تعریف شد (۶) که نتایج آن در جدول ۴ آمده است. بر این اساس ۰/۰۷۸ درصد از منطقه دارای روند کاهشی ضعیف در میزان NPP، ۹۹/۷۶ درصد از منطقه تقریباً بدون تغییر در میزان NPP سالانه و ۰/۱۷ درصد از منطقه دارای افزایش ضعیف در میزان NPP است. با توجه به این نتایج کل منطقه تقریباً از روند معنی‌داری در میزان تغییرات NPP سالانه برخوردار نیست.

پراکنش شیب تغییرات سالانه NPP در بیوم‌های مرتع، جنگل، تاغزارها، اراضی کشاورزی و بیابان در طی ۲۰۰۰-۲۰۱۴ در شکل ۶ نشان داده شده است. میانگین روند تغییرات در بیوم‌های مختلف به این صورت است که در جنگل ۰/۳۴، مرتع ۰/۱۱، تاغزار ۰/۰۰۸-، کشاورزی ۰/۲۷ و بیابان ۰/۰۰۲ گرم کربن بر مترمربع در سال است. که این نتایج بیانگر اینست که بیوم کشاورزی و جنگل در مقایسه با بیوم‌های مرتع، بیابان و تاغزارها، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در میزان NPP از سال ۲۰۰۰-۲۰۱۴ داشته‌اند، شکل ۳ نیز مؤید این مطلب است. لیو و همکاران (۱۶) نیز تغییرات NPP بیوم‌های مختلف در استان گانسو چین را بررسی کردند و نشان دادند که بیوم جنگل و کشاورزی بیشترین تغییرات را در میزان NPP داشته است.

می‌شود. ولی به سمت شرق استان فاکتور بارش یک عامل محدود کننده محسوب شده و گیاهان در این مناطق همبستگی بالاتری با فاکتور بارش دارند. در بیوم کشاورزی، میانگین ضرایب همبستگی NPP با بارش سالانه و درجه حرارت به ترتیب برابر با ۰/۰۲- و ۰/۰۲ است (جدول ۳). درصدی از مساحت منطقه که در ارتباط مثبت با فاکتور بارش و درجه حرارت است به ترتیب برابر با ۴۶/۸ و ۵۱/۴ است (شکل ۸). این موضوع نشان می‌دهد که تا حدودی درجه حرارت فاکتور مؤثرتری برای رشد گیاهان در بیوم کشاورزی است زیرا زمین‌های کشاورزی در بخش‌هایی از منطقه معمولاً به منبع آبی غیربارش، همچون آب‌های زیرزمینی وابسته هستند بنابراین همبستگی بالایی با میزان بارش نخواهند داشت.

در بیوم بیابان، میانگین ضرایب همبستگی بین NPP و بارش سالانه و متوسط درجه حرارت سالانه به ترتیب ۰/۰۹۱ و ۰/۰۹۲- است (جدول ۲). مناطق بیابانی عموماً با شرایط خشک، درجه حرارت بالا و بارش کم شناخته شده‌اند. همبستگی منفی بین NPP و درجه حرارت در مناطقی که بارش اندک وجود دارد در مطالعات مختلف اثبات شده است (۱۱ و ۱۶). درصد مساحتی از منطقه که دارای همبستگی مثبت با بارش و درجه حرارت است به ترتیب ۹۴ و ۳/۴ درصد است (شکل ۸). در بیشتر مساحت منطقه گیاهان ارتباط مثبت با بارش را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده اهمیت بیشتر این فاکتور برای رشد گیاهان در این بیوم است (۱۶). در تاغزارها میانگین ضرایب همبستگی بین NPP و فاکتورهای اقلیمی بارش و درجه حرارت به ترتیب برابر با ۰/۰۷۲ و ۰/۰۶۵- است (جدول ۳). درصد مساحتی از این مناطق که دارای همبستگی مثبت با

نتیجه‌گیری

بیشترین نرخ تغییرات NPP در استان اصفهان برای بیوم جنگل و کشاورزی به دلیل تغییرات فاکتور درجه حرارت و عوامل انسانی همچون بحث مدیریت آب زاینده‌رود در اراضی کشاورزی، اراضی رها شده، الگوهای کشت، قطع درختان و آتش‌سوزی است. در میزان NPP محاسبه شده توسط سنجنده MODIS خطاهایی وجود دارد از جمله نبود بخشی از داده‌ها در مناطق خشک اصفهان که به سمت شرق امتداد دارد و باعث ایجاد خطا در آنالیزها می‌شود. در واقع این سنجنده در مناطق خیلی خشک قادر به برآورد دقیق NPP نیست و در مناطق مرطوب (غرب و جنوب غرب استان) نمایش بهتری دارد. بنابراین در هنگام استفاده از این داده‌ها باید احتیاط لازم به عمل آید. همچنین با توجه به اینکه داده‌های NPP سنجنده MODIS در مقیاس سالانه تولید شده‌اند، در مطالعات آتی بررسی تغییرات NPP و فاکتورهای اقلیمی در مقیاس ماهانه توصیه می‌شود.

تغییرات این بیوم‌ها در درجه اول می‌تواند در اثر تغییر متغیرهای اقلیمی از جمله فاکتور درجه حرارت باشد. روند تغییرات NPP این بیوم‌ها همبستگی بالاتری با تغییرات زمانی درجه حرارت نسبت به بارش داشته است (شکل ۳ و ۴) در واقع روندهای مثبت این بیوم‌ها (شکل ۷) در ارتباط با افزایش درجه حرارت دیده می‌شود. از سویی دیگر تأثیر فعالیت‌های انسان بر این بیوم‌ها، می‌تواند دلیل دیگری برای توجیه این تغییرات باشد. به این ترتیب که در بیوم جنگل فعالیت‌هایی همچون آتش‌سوزی، قطع درختان و ... باعث ایجاد روند کاهشی در میزان NPP می‌شود. در بیوم کشاورزی تغییر در الگوهای کشت، استفاده از منابع آب مکمل همچون رودخانه زاینده‌رود، آب زیرزمینی می‌تواند سبب ایجاد روند مثبت NPP شود. با توجه به اینکه اکثر اراضی کشاورزی در حاشیه رودخانه زاینده‌رود واقع شده‌اند و به دلیل مدیریت نامناسب توزیع آب باعث بایر شدن و یا عدم امکان کشت و درنهایت بیابانزایی در این اراضی شده است، بنابراین دلیل اصلی روند منفی در این بیوم مدیریت نامناسب است.

منابع مورد استفاده

۱. جعفری، م. ۱۳۹۳. تغییرات و آسیب‌پذیری تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های جنگلی، مرتعی و بیابانی ایران متأثر از تغییرات اقلیمی. فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران ۲۱(۱): ۱۵۳-۱۳۹.
۲. خواجه‌الدین، س. ج. و س. پورمنافی. ۱۳۸۶. تعیین سطح شالیزارهای حاشیه زاینده‌رود در منطقه اصفهان با داده‌های ماهواره IRS. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱(۱): ۵۲۷-۵۱۳.
۳. طرح آمایش سرزمین. ۱۳۹۰. نقشه کاربری اراضی استان اصفهان. سازمان جنگل‌ها و مراتع، ۱۵۶ ص.
۴. محمدی، ج. ۱۳۸۵. پدومتری (آمار مکانی). انتشارات پلک، ۴۵۳ ص.
5. An, R., M. Zhe, W. Hui-Lin and W. Hong. 2014. Monitoring rangeland degradation on the three river headwaters region in 1990-2004, Qinghai, China. Geoscience and Remote Sensing Symposium, 13-18 July 2014, Quebec City, Canada.
6. Biana, J., A. Lia and D. Wei. 2010. Estimation and analysis of net primary productivity of ruergai wetland in China for the recent 10 years based on remote sensing. *Procedia Environmental Sciences* 2: 288-301.
7. Churkina, G., S. Running and A. Schloss. 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): the importance of water availability. *Global Change Biodiversity*. 5(S1): 46-55.
8. Crabtree, R., C. Potter, R. Mullen, J. Sheldon, S. Huang, J. Harmsen, A. Rodman and C. Jean. 2009. A modeling and spatio-temporal analysis framework for monitoring environmental change using NPP as an ecosystem indicator. *Remote Sensing and Environment* 113(7): 1486-1496.
9. Eisfelder, Ch., I. Klein, N. Markus and C. Keizer. 2014. Net primary productivity in Kazakhstan, its spatio-temporal patterns and relation to meteorological variables. *Arid Environments* 103: 17-30.

10. Eissfelder, C., I. Klein, M. Niklaus and C. Kuenzer. 2014. Net primary productivity in Kazakhstan, its spatio-temporal patterns and relation to meteorological variables. *Arid Environments* 103:17-30.
11. Eskandari, H., M. Borji, H. Khosravi and T. Mesbahzadeh. 2016. Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth* 7(3): 905-915.
12. Fang, H., Z. Qing, B. Alexander, N. Jian and L. Peng. 2015. Effects of climate change on phenology and primary productivity in the desert steppe of inner Mongolia. *Arid Land* 7(2): 251-263.
13. Feng, W., X. Deng, Y. Fang and Y. Yongwei. 2013. Projected changes of grassland productivity along the representative concentration pathways during 2010-2050 in China. *Advances in Meteorology* 2013:1-9.
14. Gang, C., W. Zhou, J. Li, Y. Chen and S. Mu. 2013. Assessing the spatio temporal variation in distribution, extent and NPP of terrestrial ecosystems in response to climate change from 1911 to 2000. *PLoS ONE* 8(11): 83-94.
15. Gerten, D., Y. Luo, G. Le, W. J. Maire, C. Parton, E. Keough, C. Weng, P. Beier, W. Ciais and J. S. Dukes. 2008. Modelled effects of precipitation on ecosystem carbon and water dynamics in different climatic zones. *Global Change Biodiversity* 14(10): 2365-2379.
16. Liu, Ch., D. Xiaofeng and L. 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.
17. Gao, Q., Y. Li, Y. Wan, X. Qin, W. Jiangcun and Y. Liu. 2009. Dynamics of alpine grassland NPP and its response to climate change in Northern Tibet. *Climatic Change* 97: 515-528.
18. Hijmans, R. J. 2016. Raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 2.5-8. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
19. Wang, H., L. Guohua, L. Zongshan, Y. Xin, W. Meng and G. Li. 2015. Impacts of Climate Change on Net Primary Productivity in Arid and Semiarid Regions of China, Chin. *Geographical Science* 26(1): 35-47.
20. www.earthexplorer.usgs.gov
21. Zhao, C., Q. Shao and J. Y. Liu. 2012. Analysis of net primary productivity of terrestrial vegetation on the qinghai-tibet plateau based on Modis remote sensing data. *Science China Earth* 55: 1306-1312.
22. Zhao, D., S. Wu, and Y. Yin. 2013. Responses of terrestrial ecosystems net primary productivity to future regional climate change in China. *PLoS ONE* 8(4): 253-268.
23. Zhao, F. and X. Bin. 2014. Remote sensing estimates of grassland aboveground biomass based on MODIS net primary productivity (NPP): A case study in the xilingol grassland of northern china. *Remote Sensing* 6: 5368-5386.
24. Zhengchao, R., Z. Huazhong, Sh. Hua and L. Xiaonil. 2011. Spatio-temporal distribution pattern of vegetation net primary productivity and its response to climate change in buryatiya republic, Russia. *Resources and Ecology* 2(3): 257-265.
25. Zho, W., P. Quan and Z. Yao. 2006. Spatio -temporal distribution of net primary productivity along the northeast china transect and its response to climatic change. *Forestry research* 17(2): 93-98.

Spatial and Temporal Changes of Net Primary Production (NPP) and Their Relationship with Climatic Factors from 2000 to 2014 in Isfahan Province

M. Saki^{1*}, S. Soltani Koupaei², M. Taekesh Esfahani² and R. Jafari²

(Received: Aug. 6-2017; Accepted: June 17-2018)

Abstract

The aim of the present study was to evaluate the spatial and temporal changes of NPP in different biomes of Isfahan province from 2000 to 2014 and their response to climatic factors. For this purpose, the NPP data of the MODIS satellite were collected and the map of climatic variables was produced using various interpolation methods. The investigation of the spatial and temporal variations of NPP was carried out by combining these data. The results indicated that the spatial distribution of annual NPP changed significantly, with higher NPP in the west and southwest and the lower NPP in the east of the province. The mean annual NPP values for rangeland, forest, desert, Haloxylon forest and agricultural lands were 16.7, 58.77, 1.66, 5.76 and 51.43 $\text{grCm}^{-2}\text{yr}^{-1}$, respectively. The temporal changes of the NPP annual average during 2000-2014 had no significant trend. In 82.14% of the total area, the slope of changes was less than zero and in 17.86%, the value of this index was more than zero. The highest and lowest changes in the slope were observed in the biomes of forest and desert, respectively. The amounts of NPP of biomes in rangeland, desert and Haloxylon forest were influenced by precipitation, while the temperature was the main controlling factor in the forest and agriculture biomes.

Keywords: MODIS satellite, Trend of NPP changes, Spatial distribution of annual NPP, Interpolation methods, Biomes of Isfahan province.

1. Dept. of Natur. Resour., Faculty of Isf. Univ. of Technol., Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: marjan.saki@yahoo.com