

ارزیابی تغییرات مکانی و زمانی تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های مرتعی ایران و ارتباط آن با خشکسالی

زهرا سنایی^۱، رضا مدرس^{۲*} و پوریا محیط اصفهانی^۳

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۰۹)

چکیده

تغییرات مکانی و زمانی تولید خالص اولیه (Net Primary Production, NPP) نسبت به خشکسالی از معیارهای اساسی تعیین کننده وضعیت اکوسیستم‌های مرتعی است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات NPP و ارتباط آن با خشکسالی انجام گرفت. سری زمانی ماهانه داده‌های NPP برای کاربری‌های مرتع کشور از حاصل جمع تولیدات فتوسنتز خالص (PSN) هشت روزه سنجنده مودیس (MOD17A2H) با مقیاس مکانی ۵۰۰ متر طی دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ تهیه شد. همچنین داده‌های بارش ماهانه ۱۶۵ ایستگاه سینوپتیک برای محاسبه شاخص بارش استاندارد و پایش خشکسالی‌ها طی این دوره از سازمان هواشناسی کشور اخذ گردید. نتایج نشان داد که بیشترین مقادیر تولید خالص اولیه با متوسط بیش از $50 \text{ gC.m}^{-2}.\text{month}^{-1}$ ، طی فصل بهار و اوایل تابستان در مناطق مرطوب اتفاق می‌افتد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که NPP در اکوسیستم‌های مرتعی ایران رو به افزایش است و بطور متوسط تولید خالص اولیه کل اکوسیستم‌های مرتعی کشور حدود $13 \pm 112/6 \text{ gC.m}^{-2}.\text{yr}^{-1}$ است. به عبارتی حدود ۷۶ میلیون تن کربن در سال توسط گیاهان موجود در اکوسیستم‌های مرتعی کشور ترسیب می‌شود. روند تغییرات سری ماهانه NPP به دلیل تاثیرپذیری از خاصیت فصلی معنادار نشد ولی تغییرات سالانه NPP در تمام مناطق روند افزایشی معناداری را نشان داد.

واژه‌های کلیدی: تولید خالص اولیه، شاخص بارش استاندارد، آزمون تحلیل روند، بارش ماهانه، سنجنده مودیس

۱. دانشجوی دکتری مهندسی علوم مرتع، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۲. دانشیار دانشکده منابع طبیعی، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه مهندسی مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: modarres2005@gmail.com

مقدمه

مراعات تقریباً ۴۰٪ از قاره‌های زمین را تشکیل می‌دهند و حدود ۳۴٪ از کل کربن اکوسیستم زمینی را جدا می‌کند (۱ و ۱۲). با این حال، خشکسالی تهدیدی جدی برای ترسیب کربن اکوسیستم است که طی چند سال انباشته می‌شود (۵ و ۲۷). علاوه بر این در اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، مراعات به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های اصلی برای تعادل چرخه مواد و ترسیب کربن در مقیاس محلی و منطقه‌ای شناخته می‌شوند (۱۸). اندازه‌گیری تولید خالص اولیه (NPP: Net Primary Production) اکوسیستم‌های مرتعی یکی از راهکارهایی است که می‌توان توسط آن از چگونگی فرآیندهای چرخه مواد و ترسیب کربن در این اکوسیستم‌ها مطلع شد. تولید خالص اولیه (NPP) یکی از اجزای اصلی چرخه کربن بوده و عبارت است از انرژی تولید شده توسط گیاهان منهای انرژی مصرف شده از طریق تنفس (۱۶). تغییرات در فنولوژی گیاهان بر ساختار و عملکردهای اکوسیستم در آینده تأثیر خواهد گذاشت، زیرا این تغییرات، اثر بسزایی بر تبادلات انرژی سطح، چرخه آب و چرخه کربن زمین دارد (۲۱). پایش و پیشبینی تولید خالص اولیه زمینی برای درک چرخه کربن و ارزیابی اثرات تغییرات آب و هوایی سالانه بر تولید مواد غذایی و فیبر مفید است (۲۰). علاوه بر این، تولید خالص اولیه اطلاعات مستقیمی را از وضعیت و سلامتی اکوسیستم‌های مرتعی ارائه می‌کند. از این رو شناخت و درک الگوهای مکانی و زمانی از تغییرات تولید خالص اولیه و همچنین تعاملات آن با انواع متغیرهای انسانی و محیطی یکی از موضوعاتی است که اخیراً مورد توجه بسیاری از محققین و بوم‌شناسان قرار گرفته است (۱۵، ۲۲ و ۲۶). یکی از نتایج مشترک و قابل توجه در اغلب پژوهش‌های مرتبط با تولید خالص اولیه این است که علیرغم تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در چند دهه اخیر تغییرات تولید خالص اولیه در اغلب اکوسیستم‌های جهان روند افزایشی داشته است (۶ و ۲۶). در این ارتباط لی و همکاران (۱۵) نشان دادند که تولید خالص اولیه در حدود ۸۰ درصد از مناطق جهان (عمدتاً در نیم کره

شمالی) روند افزایشی معنی‌دار با شیب بین ۲ تا بیش از ۸ گرم کربن در متر مربع در سال داشته‌اند. ایشان در مطالعه خود نشان دادند که غلظت گاز CO₂ اتمسفر مسئول ۴۵/۳ درصد از تغییرات تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های خشکی است و از آنجاییکه غلظت این گاز گلخانه‌ای در قرن اخیر افزایش چشمگیری داشته است اصلی‌ترین دلیل افزایش تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های خشکی می‌تواند همین امر می‌باشد. همچنین با صرف نظر از اثر غلظت گاز CO₂ مطالعات متعددی نشان داده‌اند که متغیرهایی همچون بارش، دما، تابش خورشیدی، خشکسالی‌ها، فعالیت‌های انسانی و فازهای اقیانوسی اتمسفری نیز تأثیر قابل توجهی روی تغییرات تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های خشکی در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و حتی قاره‌ای دارند (۳، ۹ و ۱۵). برای مثال باستوس و همکاران (۴) در سال ۲۰۱۳ تغییرات NPP جهانی در رابطه با انسو در سال ۲۰۱۱ که الینو نوسان جنوبی مسئول بیشترین تغییرات مشاهده شده در زمین بود و ناهنجاری‌های بالای NPP در این سال را بررسی کردند و دریافتند که انسو مسئول بیش از ۴۰ درصد تغییرات جهانی NPP بر اثر واکنش اکوسیستم‌های نیمکره جنوبی به ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری بوده است. در این مطالعه عوامل اصلی واکنش منطقه‌ای NPP به انسو شامل در دسترس بودن آب، کنترل به وسیله دما و ناهنجاری‌های بارش بودند. هادیان و همکاران (۸) نیز نشان دادند که تغییرات شرایط خشکسالی می‌تواند تأثیر بسزایی روی تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی داشته باشد منتها شدت تأثیرگذاری آن ارتباط مستقیمی با نوع پوشش مراتع دارد؛ بطوریکه در مراتع با گونه‌های گیاهی یکساله نقش خشکسالی‌ها روی تولید خالص اولیه بسیار زیاده‌تر از مراتع با گونه‌های گیاهی درختچه‌ای و بوته‌ای است. ژائو و رانینگ (۲۷) گزارش کردند که مقدار NPP جهانی طی دوره خشک ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ به میزان ۰/۵۵ پتاگرم کربن کاهش یافته است و همچنین خشکسالی‌های بلندمدت باعث کاهش مقدار NPP در نیمکره جنوبی گردیده درحالی که

در نیمکره شمالی افزایش یافته است.

یکی از روش‌های معتبر برای اندازه‌گیری و پایش گسترده تولید خالص اولیه اکوسیستم‌ها با دقت مکانی و زمانی زیاد، استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور (RS) و اندازه‌گیری طیفی از خصوصیات پوشش گیاهی است (۹). داده‌های سنجش از دور فرصتی مناسب به‌منظور برآورد تولید خالص اولیه در مقیاس چشم‌انداز و منطقه‌ای با هزینه مناسب و روش دقیق فراهم می‌نمایند.

صیدزاده و همکاران (۲۳) با هدف بررسی و مدل‌سازی تغییرات تولید خالص اولیه در طول زمان در برخی از مناطق رویشی کشور شامل مناطق خزری، بلوچی، نیمه بیابانی، استپی معتدل، نیمه استپی گرم و جنگل‌های خشک و مقایسه رفتار تصادفی این مناطق با یکدیگر پژوهشی انجام دادند. جهت بررسی تغییرات تولید خالص اولیه از تولیدات تصاویر سنجنده مودیس استفاده کردند. نتایج نشان داد سری‌های زمانی مقادیر ماهیانه تولید خالص اولیه در مناطق رویشی مورد مطالعه ایستا بوده و دارای ویژگی فصلی با دوره ۱۲ ماهه می‌باشد و همه این مناطق رویشی را می‌توان با استفاده از مدل فصلی (ARIMA) مدل‌سازی کرد. عراقی و همکاران (۲) رابطه تولید خالص اولیه با نوسانات اقیانوسی اتمسفری به‌صورت ماهانه و فصلی در فاصله سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۶ در دامنه شمالی رشته کوه البرز مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که NPP تحت تأثیر عوامل اقلیمی به‌ویژه بارش بوده و شاخص‌های مربوط به انسو (الینو نوسان جنوبی) از عوامل مؤثر بر بارش و در نتیجه تولید خالص اولیه در منطقه شمال کشور است. طی مطالعه‌ی ساکی و همکاران (۲۲) با هدف بررسی تغییرات مکانی و زمانی تولید خالص اولیه بیوم‌های مختلف استان اصفهان در دوره ۲۰۰۰-۲۰۱۴ و پاسخ آن به به فاکتورهای اقلیمی، به این نتیجه دست یافتند که پراکنش مکانی تولید خالص اولیه در منطقه روند معنی‌دار دارد. همچنین بیشترین و کمترین میزان شیب تغییرات به ترتیب در بیوم‌های جنگل و بیابان دیده می‌شود و مقدار تولید خالص اولیه بیوم‌های مرتع، بیابان و تاغزارها تحت تأثیر فاکتور بارش قرار دارد، در حالیکه درجه حرارت فاکتور کنترل

کننده اصلی در بیوم‌های جنگل و کشاورزی است. جعفری و همکاران (۱۰) طی پژوهشی با هدف پهنه‌بندی و پایش تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی استان کهگیلویه و بویراحمد با استفاده از داده‌های مودیس و میدانی در بازه زمانی ۲۰۰۹-۲۰۱۸ به این نتیجه رسیدند که در شرایط خشکسالی، تیپ پوشش گیاهی و وضعیت مرتع در برآورد تولیدات واقعی و تولید خالص اولیه دارای اهمیت بالایی بوده و اختلاف این دو نوع تولید می‌تواند به عنوان شاخصی جهت تعیین و پایش وضعیت اکوسیستم‌های مرتعی مورد استفاده قرار گیرد.

همانطور که ذکر گردید تاکنون مطالعات متعددی روی تغییرات تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی و تعاملات آن با متغیرهای محیطی انجام شده است. پژوهش حاضر با هدف بررسی تغییرات تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی ایران و ارتباط آن با خشکسالی انجام شده است. با توجه به مرور منابع انجام شده، تا کنون مطالعه‌ای که تغییرات تولید خالص اولیه و ارتباط آن با خشکسالی را در سطح ملی بررسی کند، انجام نگرفته است.

بنابراین، پژوهش حاضر با دو هدف اصلی انجام گرفت. اولین هدف پژوهش حاضر ارائه اطلاعاتی از کمیت تولید خالص اولیه مراتع کل کشور و روند تغییرات آن طی دو دهه گذشته است. در هدف دوم به کمک تکنیک‌های مدل‌سازی ارتباط بین خشکسالی‌ها/ترسالی‌ها با تغییرات تولید خالص اولیه سالانه در مراتع مختلف کشور مورد بررسی قرار گرفت. از آنجایی که خشکسالی بر پوشش گیاهی تأثیر شایانی می‌گذارد، آگاهی از واکنش عملکرد اکوسیستم‌های مختلف کشور به خشکسالی می‌تواند در مدیریت صحیح این مناطق هنگام وقوع خشکسالی مفید واقع شود و از تخریب و آسیب پوشش گیاهی جلوگیری شود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

کشور ایران با جمعیت تقریباً ۸۴ میلیون نفر و مساحت حدود

کوهستانی و مرتفع بوده و لذا دارای اقلیم مرطوب خیلی سرد و نسبتاً برفی می‌باشند. بارش سالانه این مناطق حدود ۶۰۰ میلیمتر بوده و گونه‌های گیاهی غالب آنها عمدتاً به شکل کروی هستند.

منطقه رویشی شماره ۶: این منطقه در شمال ایران محصور بین رشته کوه‌های البرز و دریای خزر می‌باشد. اقلیم این منطقه معتدل و بسیار مرطوب است. متوسط بارندگی این منطقه از غرب به شرق از ۴۵۰ میلیمتر تا ۱۱۰۰ میلیمتر متغیر می‌باشد.

منطقه رویشی شماره ۷: این منطقه دارای اقلیم نیمه خشک و سرد می‌باشد و درارای متوسط بارش سالانه ۲۰۰ میلیمتر است.

منطقه رویشی شماره ۸: این منطقه دارای اقلیم نیمه مرطوب سرد با متوسط بارش سالانه ۳۱۴ میلیمتر می‌باشد.

از نظر داده‌های مورد استفاده در پژوهش حاضر ابتدا به منظور پایش تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های مرتعی نقشه موقعیت کاربری‌های مراتع کل کشور نیز از طریق مؤسسه جنگل‌ها و مراتع کشور (Research Institute of Forest and

Rangelands R.I.F.R., 2022; www.rifir-ac.ir) تهیه شد. بر

اساس این نقشه وسعت اراضی مرتعی کشور ۶۷۴,۵۸۱ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۲ برآورد شده است. همچنین از سوی دیگر برای مدلسازی ارتباط بین خشکسالی‌ها/ترسالی‌ها با تغییرات تولید خالص اولیه سالانه داده‌های بارش ماهانه ۱۶۵ ایستگاه سینوپتیک با پراکنش یکنواخت در سراسر کشور برای محاسبه شاخص بارش استاندارد (Standardized Precipitation Index , SPI) (۱۷) و

پایش خشکسالی‌ها طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ از سازمان هواشناسی کل کشور (Islamic Republic of Iran

Meteorological Organization IRIMO, 2022; www.irimo.ir) اخذ گردید. در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی

کشور ایران و همسایگان آن، مناطق زیست اقلیمی، کاربری‌های مرتع و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه نمایش داده شده است.

به منظور پایش و مدلسازی تغییرات تولید خالص اولیه مراتع ایران در ارتباط با خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها (هدف اول)،

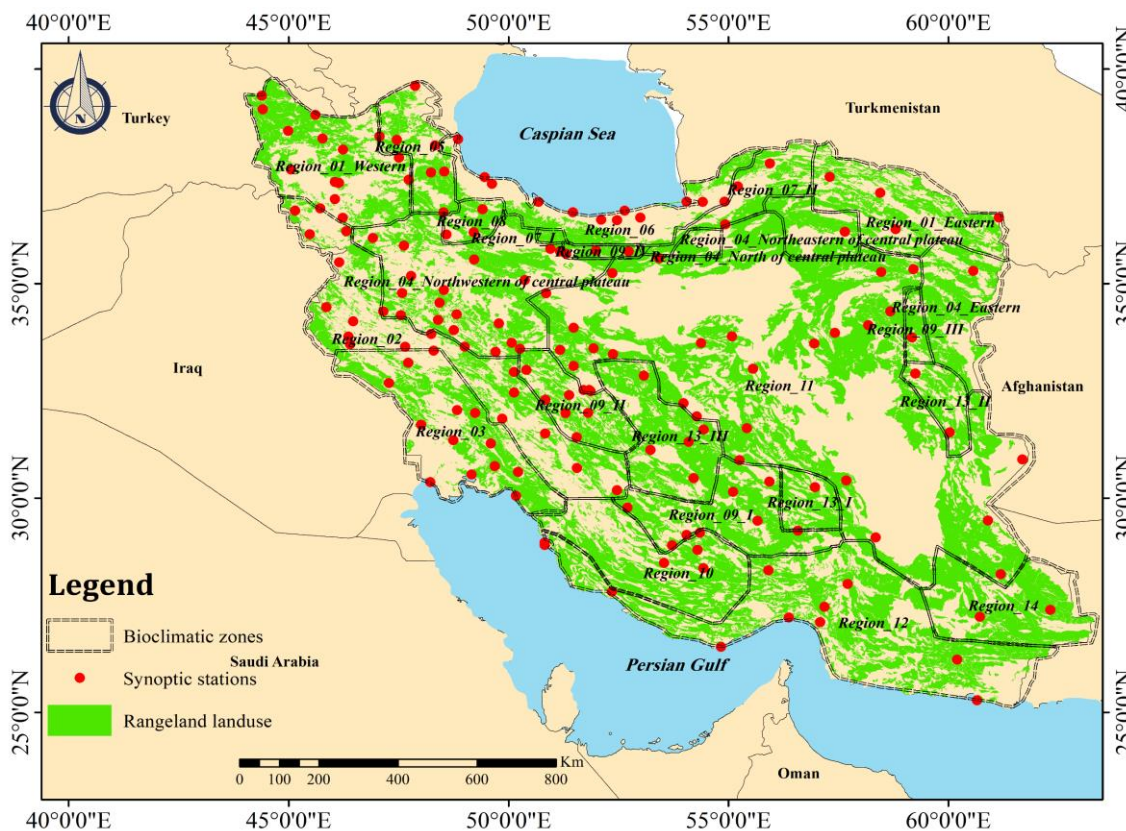
۱,۶۴۸,۱۹۵ کیلومتر مربع در جنوب شرقی آسیا واقع شده است به دلیل عرض جغرافیایی وسیع و تنوع توپوگرافی تغییرات بارش در این کشور بسیار متنوع است. در قسمت‌های شمالی این کشور بارندگی در حدود ۲۰۰۰ میلی‌متر مشاهده می‌شود، در حالی که در قسمت‌های مرکزی و شرقی بارندگی سالانه کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر رخ می‌دهد. به طور کلی متوسط بارندگی سالانه ایران حدود ۲۴۰ میلی‌متر می‌باشد (۱۱ و ۱۹).

همچنین بر اساس مطالعات خطی و صابری (۱۳) کشور ایران از نظر پهنه‌های رویشی بر اساس تکنیک‌های آماری چند متغیره و ۱۹۷ متغیر اقلیمی به چهارده منطقه زیست اقلیمی (Bio-climates) همگن تقسیم‌بندی شده است. شایان ذکر است که برخی از مناطق زیست اقلیمی از نظر مکانی در موقعیت‌های جغرافیایی متفاوتی قرار دارند و دارای چند پلی‌گون در بخش‌های مختلف کشور هستند که در پژوهش حاضر برای ارتقا دقت نتایج مدلسازی و تفسیر بهتر نتایج پلی‌گون‌های این مناطق با نام‌های متفاوت از یک دیگر تفکیک داده شدند و در مجموع کل مناطق زیست اقلیمی به ۲۴ زیرمنطقه (پلی‌گون)، تقسیم‌بندی شدند (شکل ۱). جزئیات شرایط اقلیمی و گونه‌های غالب در هر یک از مناطق زیست اقلیمی در مطالعه‌ی خطی و صابری (۱۲) صورت کامل ارائه گردیده است. بطور خلاصه مناطق رویشی شماره ۹، ۱۱ و ۱۳ که در فلات مرکزی ایران واقع شده‌اند، عمدتاً دارای اقلیم بسیار بیابانی گرم و بادی همراه با گرد و غبار هستند. بارش سالانه این مناطق عمدتاً کمتر از ۱۳۰ میلیمتر می‌باشد.

مناطق رویشی شماره ۱۰، ۱۲ و ۱۴: این مناطق که در نزدیکی خلیج فارس و دریای عمان قرار دارند عمدتاً مناطق بسیار گرم و مرطوب بیابانی را تشکیل می‌دهند. بارش سالانه این مناطق عمدتاً کمتر از ۲۲۰ میلیمتر می‌باشد.

منطقه رویشی شماره ۳: این منطقه با اقلیم نیمه مرطوب بسیار گرم و نسبتاً همراه با گرد و غبار در غرب ایران می‌باشد. بارش سالانه این منطقه حدود ۳۳۸ میلیمتر می‌باشد.

مناطق رویشی شماره ۱، ۲، ۴ و ۵: این مناطق عمدتاً



شکل ۱. موقعیت کشور ایران و بیست و چهار زیرمنطقه زیست-اقلیمی بکار گرفته شده در این مطالعه

پارامترهای بالا می‌توانند به وب آدرس اینترنتی MODIS (umt.edu) (MOD17) GPP/NPP Project مراجعه کنند. در نهایت سری‌های تولید خالص اولیه ماهانه و سالانه مراتع برای هر زیرمنطقه زیست-اقلیمی از میانگین ارزش سلول‌های واقع در محدوده کاربری‌های مرتعی هر زیرمنطقه تهیه شد. همچنین سری‌های تولید خالص اولیه ماهانه و سالانه برای بررسی وضعیت کل مراتع کشور از طریق میانگین‌گیری وزنی تولید خالص اولیه مراتع هر زیرمنطقه با وزندهی توسط وسعت مراتع هر زیرمنطقه تعیین شد و سری‌های زمانی ماهانه و سالانه تولید خالص اولیه از این طریق برای کل کشور تعیین شد.

تحلیل و مدلسازی تولید خالص اولیه

به منظور بررسی تغییرات زمانی و مکانی تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی ایران و ارتباط آن با تغییرات شرایط خشکسالی و ترسالی، برخی از خصوصیات آماری تولید خالص

داده‌های تولید خالص اولیه برای کل ایران به صورت فایل‌های رستری با مقیاس مکانی ۵۰۰ متر و مقیاس زمانی ماهیانه طی یک دوره‌ی زمانی ۲۳ ساله از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ تهیه شد. برای این کار ابتدا محصولات ۸ روزه فتوسنتز خالص (Net Photosynthesis, PSN) سنجنده مودیس (MOD17A2H) از وب سایت <https://lpdaac.usgs.gov> اخذ گردید. مقدار تولید خالص اولیه ماهانه و سالانه نیز از حاصل جمع داده‌های فتوسنتز خالص ۸ روزه برای هر ماه و هر سال محاسبه گردید. بطور ساده تولید خالص اولیه از مجموع فتوسنتز خالص بدست می‌آید و فتوسنتز خالص از حاصل تفاضل تنفس نگهداری (Maintenance Respiration, MR) از تولید ناخالص اولیه (Gross Primary Productivity, GPP) بدست می‌آید. در این مطالعه تمامی محاسبات صورت گرفته به منظور تخمین میزان تولید خالص اولیه ماهیانه در سامانه‌ی گوگل ارث انجام گرفت. خوانندگان برای کسب اطلاعات بیشتر از کدها و نحوه محاسبات

(۷). بطور کلی ضابطه عمومی یک مدل GAM به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$Y_i \sim EF(\mu_i, \varphi); g(\mu_i) = \alpha + \sum_{j=1}^{J_k} h_{jk}(X_{jk}) \quad (1)$$

که در آن μ_i مقدار مورد انتظار یا امید ریاضی شرطی متغیر وابسته (در پژوهش حاضر امید ریاضی NPP به شرط مقادیر مختلف شاخص SPI؛ $(E(NPP/SPI))$ ، $EF(\mu_i, \varphi)$ یکی از توزیع‌های خانواده نمایی با پارامترهای میانگین (μ) و مقیاس (φ) که در پژوهش حاضر تابع توزیع احتمال گاما برای آن در نظر گرفته شد، $g(\mu_i)$ تابع پیوند برای امید ریاضی متغیر وابسته (Y_i) است که در پژوهش حاضر به صورت پیش‌فرض برای تابع گاما از تابع پیوند معکوس ($g(\mu_i)^{-1} = \mu_i$) استفاده شد. همچنین $h_{jk}(X_{jk})$ مجموعه‌ای از توابع هموارساز (عمدتاً هموارسازهای اسپیلاین) ناشناخته‌ای هستند که منجر به تغییر شکل متغیرهای مستقل X_{ik} می‌شوند تا بتوان به کمک آنها روابط غیرخطی را کمی کرد. α نیز مقدار عرض از مبدأ یا همان ثابت مدل رگرسیونی است که بیانگر میانگین متغیر وابسته در حالت استقلال کامل نسبت به متغیرهای مستقل است. برای کسب اطلاعات بیشتر در مورد مدل‌های جمعی تعمیم یافته به مطالعه‌ی وود (۲۵) رجوع شود.

کمی‌سازی شرایط رطوبتی برای مدلسازی تولید خالص اولیه سالانه

در پژوهش حاضر از شاخص مشهور بارش استاندارد (SPI) (۱۷) برای کمی‌سازی شرایط ترسالی/خشکسالی استفاده شد. از آنجاییکه شاخص SPI از روی سری بارش ماهانه برای یک نقطه (ایستگاه) محاسبه می‌شود، برای محاسبه شاخص SPI برای یک محدوده (زیرمناطق زیست-اقليمی) ابتدا برای هر زیرمنطقه زیست-اقليمی سری وزنی بارش ماهانه با توجه به اطلاعات بارش ایستگاه‌های هواشناسی موجود در هر زیرمنطقه و وزن‌دهی بر اساس مساحت پلی‌گون‌های تیسن ایستگاه‌ها محاسبه شد و سپس این سری برای محاسبه شاخص SPI هر

اولیه مانند هم‌زمانی تغییرات تولید خالص اولیه و بارش، میانگین‌های بلند مدت از تغییرات ماهانه و سالانه و همچنین روند تغییرات تولید خالص اولیه برای هر یک از مناطق زیست اقلیمی تعیین و مورد تفسیر قرار گرفت. برای تحلیل روند نیز از شیب سن (۲۴) روی سری‌های ماهانه و سالانه تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی استفاده شد. فرض صفر برای آزمون روند من-کندال عدم وجود روند معنی‌دار برای متغیر مورد نظر است و چنانچه میزان قدر مطلق آماره آزمون Z_{mk} از مقدار $1/96$ بیشتر باشد فرض صفر در سطح اطمینان ۹۵ درصد رد خواهد شد و به معنی وجود روند معنی‌دار برای متغیر مورد نظر است. همچنین علامت آماره Z_{mk} بیانگر نوع روند است؛ بطوریکه علامت مثبت بیانگر روند افزایشی و علامت منفی بیانگر روند کاهشی می‌باشد.

علاوه بر این با استفاده از روش‌های رگرسیونی جمعی تعمیم یافته (Generalized Additive Models, GAMs)، ارتباطات خطی و غیر خطی بین خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها و تغییرات سالانه تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی برای هر یک از مناطق زیست اقلیمی ایران تعیین شد. مدل‌های GAM، مدل‌های شبه‌پارامتریکی هستند که بر خلاف مدل‌های رگرسیونی ساده از روش حداکثر درستنمایی به جای روش حداقل مربعات خطا برای برآورد ضرایب مدل رگرسیونی استفاده می‌کنند. بنابراین در مدل‌های GAM متغیر وابسته می‌تواند دارای هر توزیعی از خانواده توزیع‌های نمایی باشد و الزامی نیست که متغیر وابسته و باقی‌مانده‌های مدل حتماً دارای توزیع نرمال باشند (۲۵). در پژوهش حاضر، تابع توزیع احتمال گاما، برای مدل‌های رگرسیونی، در نظر گرفته شد. این تابع مناسب برای متغیرهای وابسته‌ای می‌باشد که دارای مقادیر پیوسته بزرگ‌تر از صفر (مانند تولید خالص اولیه) هستند. از سوی دیگر مدل‌های GAM این قابلیت را دارند که روابط غیر خطی بین متغیرهای مستقل و وابسته را از طریق یک تابع پیوند $g(\mu_i)$ برای میانگین شرطی متغیر وابسته در مدلسازی لحاظ کنند

محدوده زیست-اقليمی با مقیاس‌های زمانی ۱، ۳، ۶، ۹، ۱۲ و ۱۸ ماهه مورد استفاده قرار گرفت.

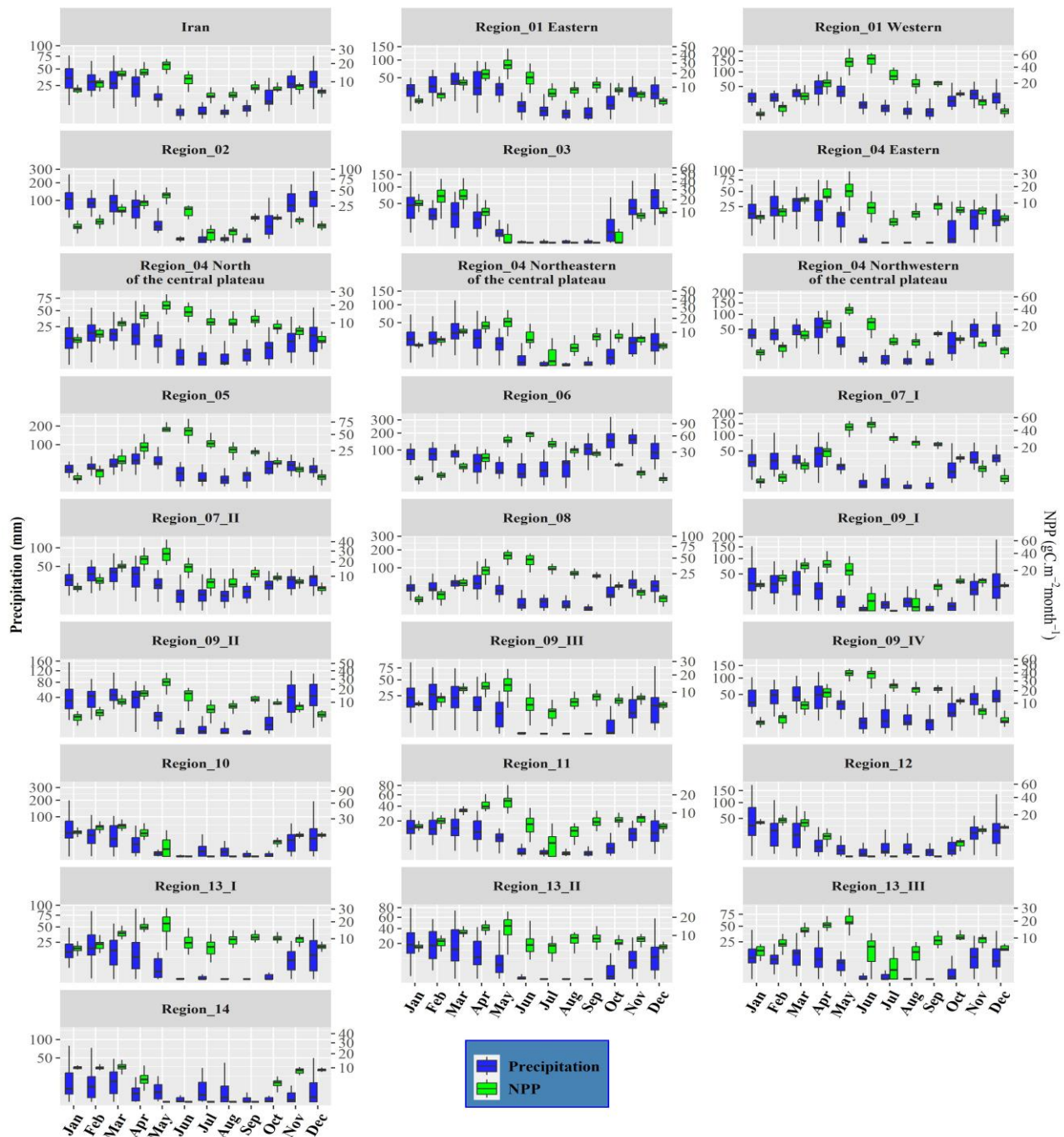
شایان ذکر است که شاخص SPI دارای مقیاس ماهانه است و یا به عبارت دیگر برای یک مقیاس زمانی خاص از شاخص SPI برای هر سال دوازده عدد وجود دارد. درحالیکه در پژوهش حاضر، هدف مدلسازی تولید خالص اولیه سالانه مناطق زیست اقلیمی در ارتباط با تغییرات خشکسالی است و برای هر سال تنها یک عدد برای تولید خالص اولیه وجود دارد. بنابراین برای اینکه بتوان به صورت متناظر با عدد تولید خالص اولیه هر سال یک عدد برای شرایط خشکسالی داشت، شاخص SPI در به زیر مؤلفه‌های سالانه بر اساس مقیاس زمانی و ماه تفکیک شد. برای مثال در هر زیرمنطقه شاخص SPI با مقیاس زمانی دوازده ماهه به دوازده زیر سری سالانه برای هر یک از ماه‌های سال تفکیک شد. برای سایر مقیاس‌های زمانی شاخص SPI نیز به همین ترتیب عمل شد. از سوی دیگر تولید خالص اولیه سالانه هر زیرمنطقه زیست-اقليمی حاصل برآیند تغییرات تولید خالص اولیه در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت‌تر مانند یک یا چند ماه خاص از سال است. از این حیث تفکیک شاخص SPI به مؤلفه‌های مختلف خشکسالی کمک خواهد کرد که برای هر منطقه مؤثرترین مؤلفه خشکسالی بر تغییرات تولید خالص اولیه تعیین شود. برای مثال، وقتی در منطقه‌ای تولید خالص اولیه سالانه عمدتاً وابسته به تغییرات تولید در فصل‌هایی مثل بهار و پاییز است می‌توان از اثر بسیاری از مؤلفه‌های خشکسالی در فصل‌های تابستان و زمستان صرف‌نظر کرد. اما برای تعیین اینکه تولید خالص اولیه سالانه هر زیرمنطقه تحت تأثیر کدامیک از مؤلفه‌های خشکسالی است و یا اینکه کدامیک از مؤلفه‌ها نقشی در تغییرات تولید خالص اولیه ندارند، تمامی مؤلفه‌های خشکسالی در هر زیرمنطقه (۷۲ مؤلفه، شش مقیاس زمانی برای شاخص SPI و برای هر یک از ماه‌های سال) در معادله (۱) مورد آزمون قرار گرفتند و در نهایت مؤلفه‌ای که مدل

رگرسیون آن دارای بیشترین ضریب تبیین اصلاح شده (R^2_{adj}) و کمترین آماره اطلاعات آکائیک (AIC) بود به عنوان مؤثرترین مؤلفه خشکسالی بر تولید خالص اولیه هر زیرمنطقه زیست-اقليمی انتخاب شد و نحوه اثرگذاری آن بر تولید خالص اولیه مورد تفسیر قرار گرفت. البته از آنجایی که اغلب متغیرهای SPI به علت اطلاعات نسبتاً یکسان مخصوصاً برای مقیاس‌های زمانی بلند مدت دارای خاصیت هم‌خطی شدید هستند در هر مدل تنها یک مؤلفه برای کمی‌سازی اثرات خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها استفاده شد.

نتایج

تغییرات زمانی آماره‌های تولید خالص اولیه

در شکل ۲ نمودارهای جعبه‌ای مربوط به بارش و تولید خالص اولیه هر یک از مناطق زیست اقلیمی ایران نمایش داده شده است. با توجه به شکل ۲ نتایج نشان می‌دهد که بطور خلاصه بیشترین مقادیر تولید خالص اولیه به ترتیب در مناطق زیست اقلیمی شماره ۶ و ۵ (حاشیه دریای خزر)، منطقه ۸ (زنجان و قزوین) و منطقه ۷-یک (شمال تهران) با متوسط بیش از ۵۰ گرم کربن بر مترمربع در ماه، طی ماه‌های می و ژوئن اتفاق می‌افتد. این در حالی است که در اغلب مناطق خشک و نیمه‌خشک حاشیه خلیج فارس و دریای عمان شامل مناطق زیست اقلیمی ۱۰، ۱۲ و ۱۴ و همچنین منطقه‌ی غربی شماره ۳ و برخی مناطق فلات مرکزی شامل مناطق زیست اقلیمی ۹-سه، نه تنها متوسط خالص اولیه کمتر از سایر مناطق است ($NPP < 25 \text{ gC.m}^{-2}.\text{month}^{-1}$) بلکه در برخی از ماه‌های تابستان (جولای تا سپتامبر) تولید خالص اولیه صفر می‌شود. علاوه بر این نتایج حاکی از این است که در برخی از مناطق مانند منطقه ۱ شرقی (بخشی از خراسان شمالی و رضوی)، منطقه ۳ (خوزستان)، منطقه ۱۰، ۱۲ و ۱۴ (حاشیه خلیج فارس و دریای عمان) و مناطق ۹-یک (کرمان)، ۹-سه (خراسان جنوبی)،



شکل ۲. نمودار جعبه‌ای تولید خالص اولیه مراتع و بارش ماهانه برای کل ایران و برای هریک از زیرمناطق زیست اقلیمی ایران (هر جعبه حاصل ۲۳ عدد دیتا سالانه از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۳)

شکل ۲) هستند و الگویی شبیه به هم دارند. این در حالی است که در برخی از مناطق زیست اقلیمی کشور با اقلیم مرطوب و نیمه مرطوب مانند منطقه یک-غربی (آذربایجان غربی و

۱۱ (اصفهان، یزد، سمنان) و ۱۳ در مناطق خشک فلات مرکزی تغییرات فصلی تولید خالص اولیه (جعبه‌های سبز رنگ شکل ۲) دقیقاً منطبق با تغییرات فصل بارش (جعبه‌های آبی رنگ

شرقی)، منطقه ۴ (سمنان)، مناطق ۵ و ۶ (حاشیه دریای خزر)، منطقه ۷-یک (شمال تهران) و منطقه ۸ (زنجان و قزوین) به علت پاسخ تأخیری پوشش گیاهی به بارندگی فصل بهار، الگوهای تغییرات فصل بارش و تولید نه تنها با هم مطابقت ندارند بلکه برعکس یکدیگر هستند، بطوریکه اوج تولید در تابستان اتفاق می‌افتد ولی بارش در این فصل به حداقل خود می‌رسد (شکل ۲).

همچنین در شکل ۳ میانگین سالانه تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی هر یک از مناطق زیست اقلیمی کشور نمایش داده شده است. بطور خلاصه نتایج نشان داد که تولید خالص اولیه در اکوسیستم‌های مرتعی مناطق زیست اقلیمی شماره ۶، شماره ۵، شماره ۸، منطقه یک-غربی و منطقه ۷-یک بیش از ۲۰۰ گرم کربن در متر مربع در سال است. این در حالی است که در مراتع مناطق شماره ۱۴، ۱۲، زیرمناطق شماره ۴ در شمال شرقی و شرق فلات مرکزی، ۱۱، ۱۰، ۹-سه که همگی در فلات مرکزی ایران قرار دارند و همچنین منطقه شماره ۳ در جنوب غربی ایران تولید خالص اولیه کمتر از ۱۰۰ گرم کربن در متر مربع در سال است (شکل ۳-الف). همچنین متوسط تولید خالص اولیه مراتع کل کشور از طریق میانگین وزنی با وزن‌دهی توسط مساحت کاربرهای مرتع هر زیرمنطقه زیست-اقلیمی حدود $112/6 \pm 13$ گرم کربن در متر مربع در سال برآورد شد که به احتساب کل مساحت اراضی مرتعی کشور (۶۷۴،۵۸۱ کیلومتر مربع) این امر به معنی ترسیب حدود ۷۶ میلیون تن کربن در سال توسط گیاهان موجود در اکوسیستم‌های مرتعی کشور است. همچنین نرخ تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. از این رو سهم مشارکت تولید خالص اولیه هر ماه سال نسبت به تولید خالص اولیه سالانه برای مراتع هر یک از مناطق زیست اقلیمی و مراتع کل کشور تعیین شد و نتایج آن در شکل ۳-ب نمایش داده شده است.

با توجه به محاسبات انجام شده مشخص شد که بخش عمده تولید خالص اولیه سالانه (بیش از ۵۰ درصد)

اکوسیستم‌های مرتعی در اغلب مناطق زیست اقلیمی ایران طی ماه‌های مارس تا ژوئن (بهار و تابستان) اتفاق می‌افتد. البته نتایج نشان داد که در برخی از مناطق زیست اقلیمی واقعی در عرض‌های جغرافیایی پایین شامل مناطق شماره ۳، ۹-یک، ۱۰، ۱۲ و ۱۴ عمده تولید خالص اولیه سالانه (حدود ۷۰ درصد) متعلق به ماه‌های دسامبر تا مارس (اواسط زمستان تا اوایل بهار) است. همچنین مشخص شد که بطور متوسط حدود ۶۰/۲ درصد از تولید خالص اولیه سالانه کل اکوسیستم‌های مرتعی کشور مربوط به ماه‌های فوریه تا ژوئن (اوایل بهار تا اواسط تابستان) است (شکل ۳-ب).

تحلیل روند تولید خالص اولیه

از نظر روند تغییرات سری‌های ماهانه تولید خالص اولیه، آزمون روند به دلیل وجود خاصیت فصلی شدید نتوانست روند معنی‌داری را نشان دهند. لذا برای رفع اثر خاصیت فصلی و نمایان شدن روند تغییرات تولید خالص اولیه، آزمون روند من-کندال روی سری‌های سالانه هر ماه سال به صورت مجزا انجام شد و نتایج آن در جدول ۱ ارائه گردید. بطور کلی نتایج نشان داد که تغییرات تولید خالص اولیه در اغلب ماه‌های سال و اغلب مناطق زیست اقلیمی ایران فاقد روند معنی‌دار است. بر اساس نتایج اکثر تغییرات افزایشی معنی‌دار تولید خالص اولیه در ماه‌های دسامبر تا مارس (اواسط زمستان تا اواسط بهار) در اغلب مناطق زیست اقلیمی ایران اتفاق می‌افتد. از نظر تغییرات سالانه تولید اکوسیستم‌های مرتعی هرچند در برخی موارد غیر معنی‌دار ولی آماره‌های روند مربوط به تولید خالص اولیه سالانه در تمام مناطق زیست اقلیمی دارای علامت مثبت (روند افزایشی) بود (جدول ۱). بطور خلاصه نتایج نشان داد که تولیدات خالص اولیه سالانه در مناطق زیست اقلیمی ۱-غربی، ۲، زیرمنطقه ۴-شمال غربی فلات مرکزی، ۶، زیرمناطق ۷-یک، ۹-دو، ۹-چهار و ۱۳-یک دارای روند افزایشی معنی‌دار هستند. بر اساس نتایج شدیدترین روند افزایشی معنی‌دار برای تولید خالص اولیه سالانه در مناطق زیست اقلیمی شماره ۶،

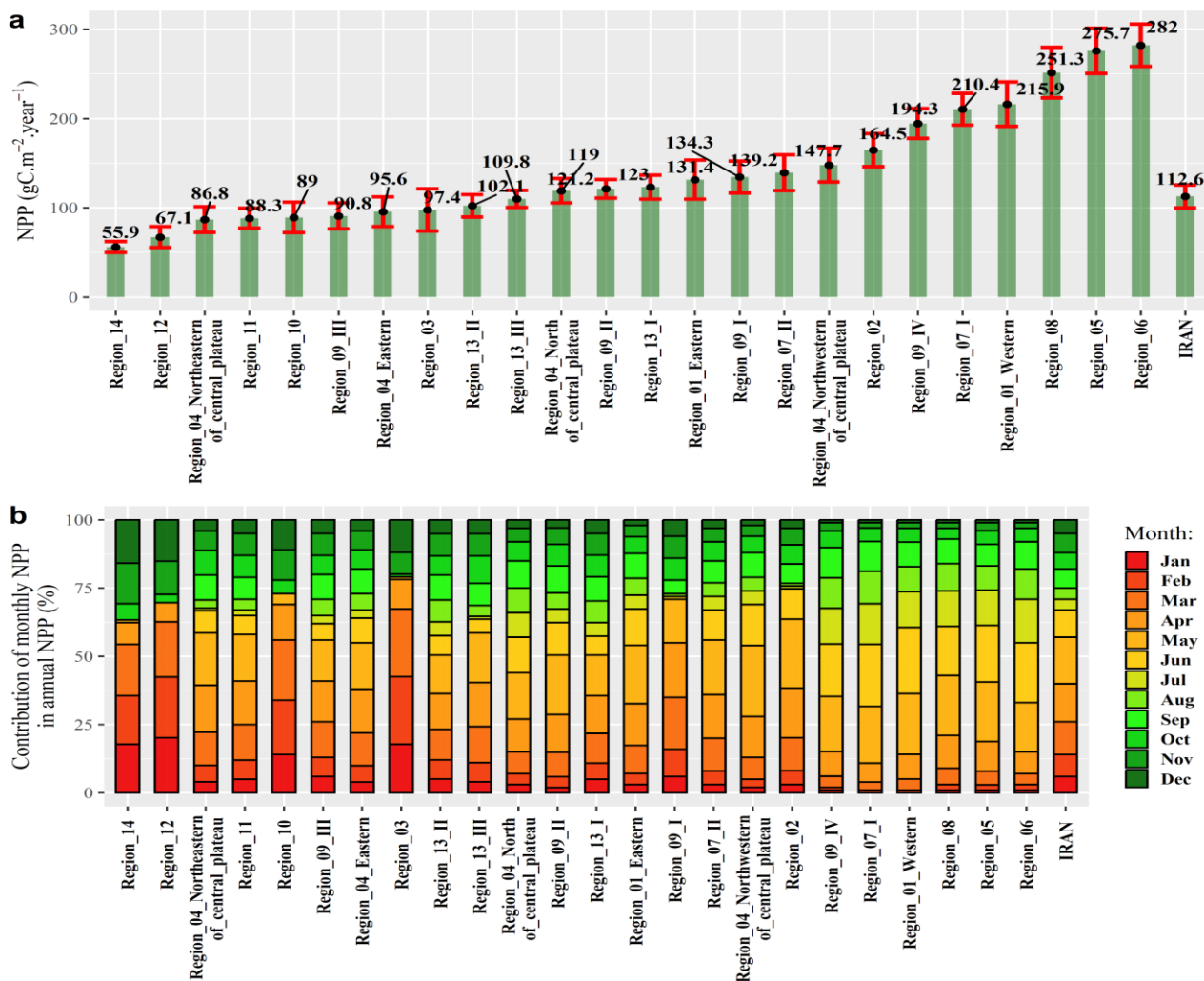
جدول ۱. آماره‌های آزمون‌های روند من-کنندال و شیب سن روی سری‌های زمانی مختلف تولید خالص اولیه در هر یک از مناطق زیست اقلیمی ایران (اعداد برجسته و نمایان شده بیانگر وجود روند معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد)

سالانه	دسامبر	نوامبر	اکتبر	سپتامبر	اوت	ژوئای	ژوئن	می	آوریل	مارچ	فوریه	ژوئیه	آماره	منطقه زیست اقلیمی
۱/۲۱	۱/۲۷	۰/۵۵	-۰/۴۲	۰/۸۵	۲/۷۵	-۰/۴۲	۰/۸۱	۰/۶۳	۱/۰۶	-۰/۸۱	۰/۵۸	۱/۶۴	روند (Zmk)	منطقه یک-شرقی
۹/۸۴	۰/۳۹	۰/۰۴	-۰/۲۷	۰/۷۵	۲/۴۱	-۰/۶۴	۰/۱۹	۱/۵۳	۱/۵۸	-۰/۰۹	۰/۳۷	۰/۵۶	شیب رونده*	منطقه یک-شرقی
۲/۰۱	۱/۶۴	۱/۵۸	۰/۳۲	۱/۲۷	۰/۸۱	-۰/۵۸	۰/۲۶	۲/۸۰	۱/۸۵	۱/۳۲	۱/۷۴	۰/۹۶	روند (Zmk)	منطقه یک-غربی
۱۹/۹۳	۰/۶۰	۰/۷۹	۰/۳۱	۱/۰۲	۰/۰۴	-۱/۴	۰/۹۰	۱/۲۸	۳/۲۸	۱/۳۶	۰/۹۰	۰/۱۸	شیب رونده	منطقه دو
۲/۶۴	۳/۶۴	۲/۰۱	۰/۹۵	-۰/۸۵	-۰/۳۷	-۱/۴۱	-۰/۷۴	۱/۲۱	۱/۸۰	۲/۶۹	۲/۷۵	۲/۳۱	روند (Zmk)	منطقه سه
۱۵/۷۰	۱/۶۳	۱/۱۷	۰/۷۷	-۰/۷۵	-۰/۱۲	-۰/۷۳	-۰/۹۶	۳/۳۸	۳/۲۳	۴/۱۲	۲/۸۸	۱/۵۰	شیب رونده	منطقه سه
۱/۹۵	۲/۹۶	۱/۲۱	۰/۰۶	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۲۸	-۰/۵۳	۱/۰۰	۱/۴۳	۱/۳۰	روند (Zmk)	منطقه چهار-شرقی
۱۶/۳۶	۲/۶۸	۰/۹۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۱/۲۵	۲/۰۴	۴/۹۵	۲/۵۴	شیب رونده	منطقه چهار-شرقی
۱/۱۱	۰/۴۸	-۰/۳۲	۰/۰۰	۰/۸۵	۲/۴۸	-۰/۷۴	-۰/۱۶	۱/۲۱	۱/۴۸	۰/۱۶	۰/۸۵	۱/۳۰	روند (Zmk)	منطقه چهار-شمال فلات مرکزی
۹/۰۷	۰/۲۲	-۰/۱۲	-۰/۰۷	۰/۴۴	۱/۶۴	-۰/۷۱	-۰/۲۵	۳/۱۱	۱/۳۸	۰/۱۳	۰/۵۸	۰/۵۵	شیب رونده	منطقه چهار-شمال فلات مرکزی
۰/۵۸	۰/۹۵	۰/۲۱	۰/۰۰	۰/۳۲	۰/۵۸	-۱/۳۲	-۰/۶۳	۰/۴۸	-۰/۲۶	۱/۱۱	۰/۹۵	۱/۵۲	روند (Zmk)	منطقه چهار-شمال غربی
۲/۲۹	۰/۴۳	۰/۰۴	-۰/۰۱	۰/۲۳	۰/۶۲	-۱/۳۲	-۰/۸۸	۰/۸۷	-۰/۲۳	۰/۴۵	۰/۴۹	۰/۶۴	شیب رونده	منطقه چهار-شمال غربی
۰/۵۳	۰/۹۰	۰/۸۱	-۰/۳۷	۰/۰۰	۱/۸۸	-۰/۷	-۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۸۵	۱/۴۸	۰/۹۰	۲/۲۶	روند (Zmk)	منطقه چهار-شمال غربی
۲/۴۰	۰/۲۹	۰/۰۵	-۰/۱۵	۰/۰۱	۱/۳۷	۰/۰۰	-۰/۴۷	۰/۸۱	۱/۲۷	۰/۷۸	۰/۴۶	۰/۴۶	شیب رونده	منطقه چهار-شمال غربی
۲/۱۱	۱/۶۴	۱/۰۶	۰/۳۷	-۰/۱۱	۰/۲۶	-۱/۳۲	-۰/۱۱	۱/۴۸	۱/۶۹	۱/۸۵	۲/۴۳	۲/۲۰	روند (Zmk)	منطقه پنج
۱۱/۳۹	۰/۶۹	۰/۴۲	۰/۲۱	-۰/۰۱	۰/۲۳	-۱/۳۱	-۰/۲۵	۲/۷۱	۳/۱۵	۲/۳۶	۱/۳۶	۰/۸۷	شیب رونده	منطقه پنج
۱/۳۷	۱/۱۱	۱/۰۶	۰/۵۳	۱/۹۵	۱/۰۶	-۰/۴۲	-۱/۳۲	۱/۳۲	۰/۷۴	۱/۱۱	۱/۴۳	۱/۱۸	روند (Zmk)	منطقه شش
۱۳/۷۴	۰/۵۲	۰/۸۰	۰/۴۱	۲/۰۱	۱/۸۲	-۱/۳۶	-۰/۳۹	۳/۱۲	۲/۹۸	۲/۷۰	۱/۴۶	۰/۴۹	شیب رونده	منطقه شش
۲/۴۳	۱/۲۷	۰/۲۲	۰/۰۰	۱/۷۴	۱/۸۰	۰/۷۴	۰/۶۹	۱/۹۵	۰/۳۲	۱/۳۷	۱/۰۰	۰/۹۶	روند (Zmk)	منطقه هفت-یک
۲۰/۱۳	۰/۵۳	۰/۳۲	۰/۰۳	۱/۹۱	۳/۴۴	۱/۳۰	۱/۳۵	۴/۳۸	۰/۸۶	۰/۹۹	۰/۵۴	۰/۴۸	شیب رونده	منطقه هفت-یک
۳/۳۳	۲/۰۱	۰/۲۱	۰/۱۱	۱/۳۲	۲/۱۷	۰/۲۶	۰/۵۸	۲/۵۴	۰/۴۲	۱/۳۷	۱/۴۸	۱/۹۷	روند (Zmk)	منطقه هفت-دو
۱۸/۷۳	۰/۴۹	۰/۴۹	۰/۱۰	۱/۵۳	۱/۸۶	۰/۰۹	۱/۷۴	۵/۸۱	۱/۴۳	۱/۲۱	۰/۴۰	۰/۳۱	شیب رونده	منطقه هفت-دو
۰/۰۰	۱/۰۶	۰/۲۱	-۰/۶۳	-۰/۲۱	۰/۲۱	-۱/۷۴	-۱/۱۱	۰/۰۵	۰/۸۱	۱/۴۳	۱/۰۶	۱/۴۷	روند (Zmk)	منطقه هشت
۰/۶۸	۰/۴۶	۰/۱۱	-۰/۳۶	-۰/۳۲	۰/۲۳	-۱/۷۵	-۲/۰۶	۰/۴۷	۰/۳۱	۱/۰۳	۱/۲۲	۰/۶۱	شیب رونده	منطقه هشت
۱/۹۰	۱/۴۳	۰/۷۴	۰/۲۶	۱/۶۹	۱/۹۰	۰/۱۱	-۰/۱۶	۱/۱۶	۱/۵۸	۱/۹۰	۱/۵۳	۱/۸۶	روند (Zmk)	منطقه نه-یک
۱۸/۶۸	۰/۸۰	۰/۸۳	۰/۳۱	۱/۷۱	۲/۸۸	۰/۳۰	-۰/۸	۴/۲۳	۴/۸۲	۲/۶۲	۱/۲۴	۰/۷۸	شیب رونده	منطقه نه-یک
۰/۲۶	۲/۸۰	۱/۸۵	-۱/۱۱	-۱/۵۸	۰/۹۸	۰/۲۷	-۰/۸۶	۰/۰۰	-۰/۰۹	-۰/۵۳	۰/۷۹	۱/۵۲	روند (Zmk)	منطقه نه-یک
۲/۲۴	۰/۹۲	۰/۷۸	-۰/۸۶	-۱/۲۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۰۵	-۱/۸۷	-۱/۰۴	۱/۰۳	۱/۰۵	شیب رونده	منطقه نه-یک

ادامه جدول ۱.

منطقه زیست اقلیمی	آماره	ژوئیه	فوریه	مارچ	آوریل	می	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	سالانه
منطقه نه-دو	روند (Z _{mk})	۲/۳۷	۲/۶۹	۱/۸۰	۱/۳۲	۱/۰۶	-۰/۰۹	-۰/۷۴	۱/۱۱	-۰/۵۸	۰/۵۳	۰/۸۵	۲/۴۳	۲/۰۶
	شیب روند (Z _{mk})	۱/۱۷	۱/۴۹	۱/۲۹	۱/۶۴	۲/۰۷	-۱/۲۷	-۱	۰/۸۴	-۰/۴۶	۰/۰۸	۰/۵۰	۰/۸۶	۷/۸۴
منطقه نه-سه	روند (Z _{mk})	۰/۹۰	۱/۱۶	۰/۰۰	۰/۸۵	۱/۴۸	-۰/۱۶	-۱/۷۲	۲/۴۸	۰/۶۳	۰/۰۰	-۰/۳۲	۰/۴۲	۵/۷۸
	شیب روند (Z _{mk})	۰/۲۷	۰/۶۶	-۰/۰۴	۰/۸۶	۳/۲۹	-۰/۲۲	-۱/۰۲	۱/۶۰	۰/۳۷	۰/۰۱	-۰/۰۵	۰/۱۷	۵/۸۸
منطقه نه-چهار	روند (Z _{mk})	۲/۲۶	۱/۶۹	۱/۶۹	۰/۶۲	۲/۱۷	۰/۸۴	۰/۲۶	۱/۹۵	۱/۳۷	۰/۲۶	۰/۳۷	۱/۵۳	۳/۰۱
	شیب روند (Z _{mk})	۰/۵۵	۰/۹۰	۱/۷۷	۱/۳۳	۴/۴۰	۲/۰۹	۰/۲۸	۲/۲۵	۱/۱۹	۰/۱۶	۰/۳۱	-۰/۵۷	۱۵/۴۷
منطقه ده	روند (Z _{mk})	۱/۷۵	۱/۰۶	-۰/۲۶	-۰/۴۸	۰/۰۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۲۶	۱/۵۸	۳/۰۶	۰/۵۸
	شیب روند (Z _{mk})	۱/۶۳	۱/۴۷	-۰/۳۸	-۰/۶۱	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	-۰/۱۷	۰/۸۳	۱/۴۲	۲/۲۳
منطقه یازده	روند (Z _{mk})	۲/۰۹	۱/۶۹	۱/۹۰	۰/۹۵	۱/۱۱	-۰/۶۳	-۰/۹۲	۱/۹۵	-۰/۴۲	۰/۳۷	۰/۵۳	۱/۴۳	۱/۳۷
	شیب روند (Z _{mk})	۰/۶۵	۰/۸۴	۰/۷۰	۰/۹۱	۱/۸۲	-۰/۷۴	-۰/۳۵	۱/۰۷	-۰/۱۱	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۵۱	۵/۴۴
منطقه دوازده	روند (Z _{mk})	۱/۴۱	۱/۲۱	۰/۱۱	۰/۳۷	۰/۲۲	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۶۳	۰/۵۳	۲/۱۱	۱/۰۰
	شیب روند (Z _{mk})	۰/۶۶	۱/۶۶	۰/۰۴	۰/۱۸	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۲۲	۰/۲۰	۰/۵۹	۳/۴۵
منطقه سیزده-یک	روند (Z _{mk})	۱/۸۰	۱/۴۳	۰/۵۳	۱/۹۵	۲/۱۷	۰/۵۳	-۰/۳۲	۱/۳۷	۰/۳۲	۰/۴۲	۱/۸۰	۱/۶۹	۳/۳۳
	شیب روند (Z _{mk})	۱/۰۰	۰/۷۱	۰/۵۶	۱/۷۱	۴/۹۳	۰/۵۸	-۰/۴۶	۱/۳۳	۰/۳۹	۰/۲۲	۰/۶۲	۰/۶۳	۱۳/۴۱
منطقه سیزده-دو	روند (Z _{mk})	۱/۱۳	۱/۴۳	۰/۵۸	۰/۷۹	۱/۶۴	-۰/۴۸	-۱/۴۳	۲/۴۸	۰/۳۲	-۰/۲۶	۰/۰۰	۰/۹۵	۱/۳۷
	شیب روند (Z _{mk})	۰/۵۰	۰/۷۹	۰/۲۰	۰/۹۱	۳/۴۳	-۰/۰۸	-۱/۲۷	۱/۸۵	۰/۲۳	-۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۳۷	۵/۸۸
منطقه سیزده-سه	روند (Z _{mk})	۲/۱۴	۱/۸۵	۱/۱۶	۰/۱۶	۰/۴۲	-۱/۶۴	-۰/۷۶	۰/۸۷	-۱/۱۶	-۰/۳۲	۱/۱۱	۲/۲۷	۱/۲۱
	شیب روند (Z _{mk})	۱/۵۳	۱/۶۳	۰/۸۷	۰/۰۶	۱/۱۰	-۱/۹۵	-۰/۰۱	۰/۵۷	-۰/۸۴	-۰/۱۸	۰/۶۲	۰/۷۱	۴/۷۵
منطقه چهارده	روند (Z _{mk})	۱/۵۸	۱/۵۸	۰/۸۵	۰/۹۰	۰/۳۶	۰/۰۰	۰/۳۳	۱/۵۸	-۰/۵۳	۰/۶۹	۱/۲۷	-۰/۴۲	۱/۹۵
	شیب روند (Z _{mk})	۰/۵۴	۰/۷۱	۰/۶۱	۰/۹۹	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۳۰	۰/۳۷	۰/۰۸	۳/۸۷
کل ایران	روند (Z _{mk})	۲/۳۲	۲/۱۱	۲/۰۱	۰/۷۹	۰/۷۴	-۰/۳۲	-۱/۱۶	۱/۹۰	-۰/۱۶	۰/۲۶	۱/۲۷	۲/۸۰	۱/۵۳
	شیب روند (Z _{mk})	۰/۸۳	۱/۲۵	۰/۸۲	۰/۵۵	۰/۹۹	-۰/۳	-۰/۴۴	۰/۹۰	-۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۴۰	۰/۷۱	۶/۴۲

* آماره شیب بر اساس تغییرات در هر دهه می‌باشد (gC.m⁻².decade⁻¹)



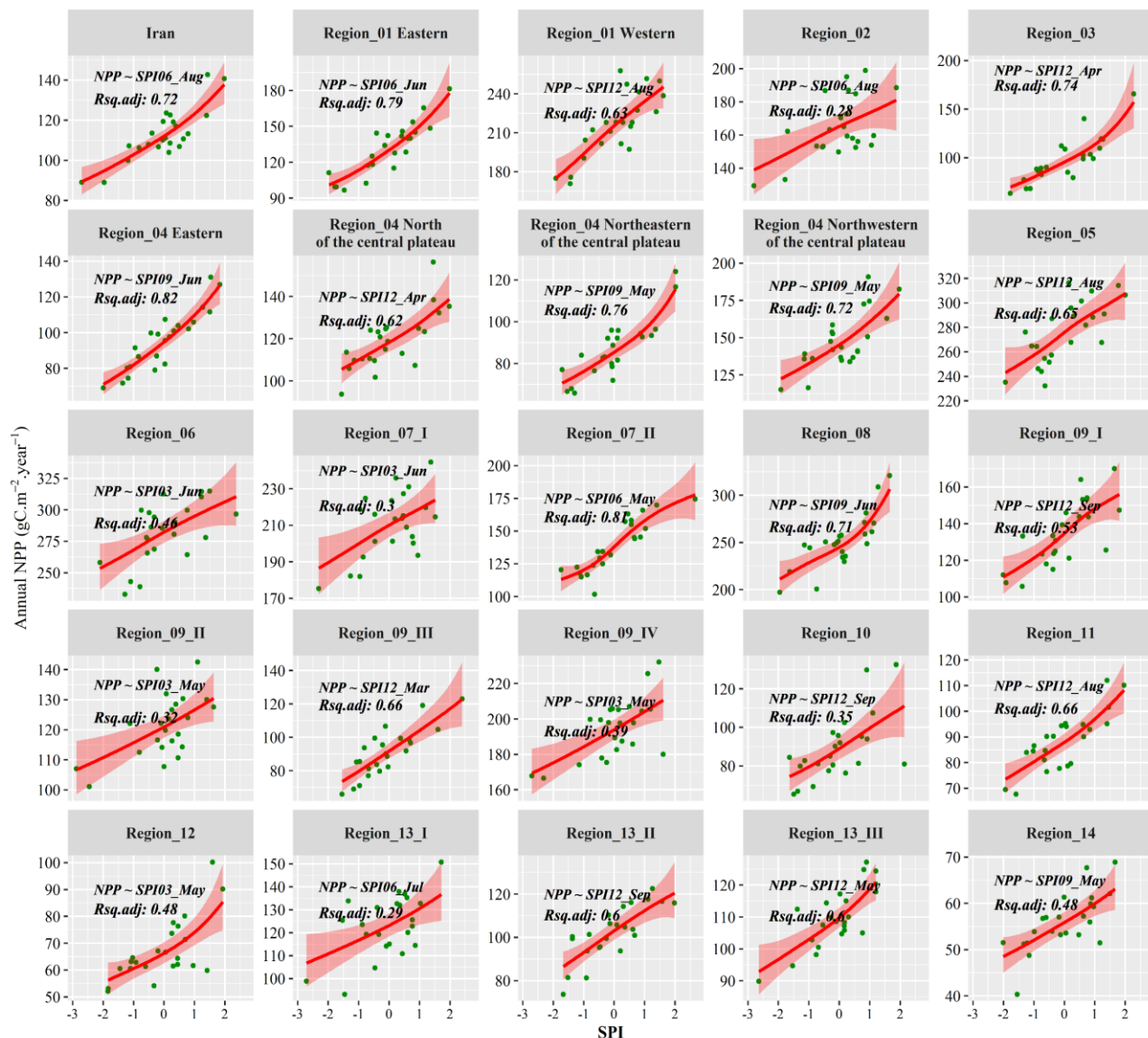
شکل ۳. میانگین تولید خالص اولیه سالانه مراتع هر یک از مناطق زیست اقلیمی و کل ایران (الف) و همچنین درصد سهم هر ماه سال از تولید خالص اولیه سالانه (ب).

خشکسالی/ترسالی از طریق مدل‌های جمعی تعمیم یافته کمی‌سازی شد. در شکل ۴ نمودارهای پراکنش نقطه‌ای بین تولید خالص اولیه سالانه و مؤثرترین مؤلفه خشکسالی بر آن برای مراتع هر یک از مناطق زیست اقلیمی و برای مراتع کل کشور نمایش داده شده است. با توجه به نتایج مشخص شد که در مناطق زیست اقلیمی مختلف مؤثرترین مؤلفه خشکسالی عمدتاً شامل مؤلفه‌هایی است که بیانگر شرایط خشکسالی/ترسالی در دوره‌های اوج تولید هر منطقه زیست اقلیمی هستند. بطوریکه در اغلب مناطق زیست اقلیمی مؤلفه‌های خشکسالی مؤثر شامل شاخص‌های SPI منتهی به

۱- غربی و ۷- یک به ترتیب با شیب‌های ۲۰/۱۳، ۱۹/۹۳ و ۱۸/۷۳ گرم کربن در متر مربع در هر دهه شناسایی شد. شیب تغییرات برای میانگین تولید خالص اولیه کشور ۶/۴۲ گرم کربن در متر مربع در هر دهه برآورد شد اما آماره روند مربوط به این نرخ تغییرات در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار شناخته نشد ($|Z_{mk}| < 1/96$).

خشکسالی و تولید خالص اولیه

در پژوهش حاضر، واکنش تولید خالص اولیه سالانه اکوسیستم‌های مرتعی نسبت مؤلفه‌های مختلف



شکل ۴. نمودارهای پراکنش نقطه‌ای و مدل GAM بین تولید خالص اولیه سالانه و مؤثرترین مؤلفه خشکسالی در هر منطقه زیست اقلیمی

مقیاس‌های نه و دوازده ماهه تأثیر بیشتری بر تولید مراتع دارند (مانند مناطق شماره یک-غربی، ۳، ۴، ۵، ۸، ۹-یک، ۹-سه، ۱۰، ۱۱، ۱۳-دو و ۱۳-سه در مناطق خشک فلات مرکزی و همچنین منطقه ۱۴ که شامل گونه‌های عمدتاً درختچه‌ای، چندساله و گون هستند). همچنین از نظر شدت واکنش‌پذیری تولید اکوسیستم‌های مرتعی مشخص شد که تقریباً در تمامی مناطق زیست اقلیمی مورد مطالعه یک ارتباط معنی‌دار بین شرایط خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها با تغییرات تولید خالص اولیه

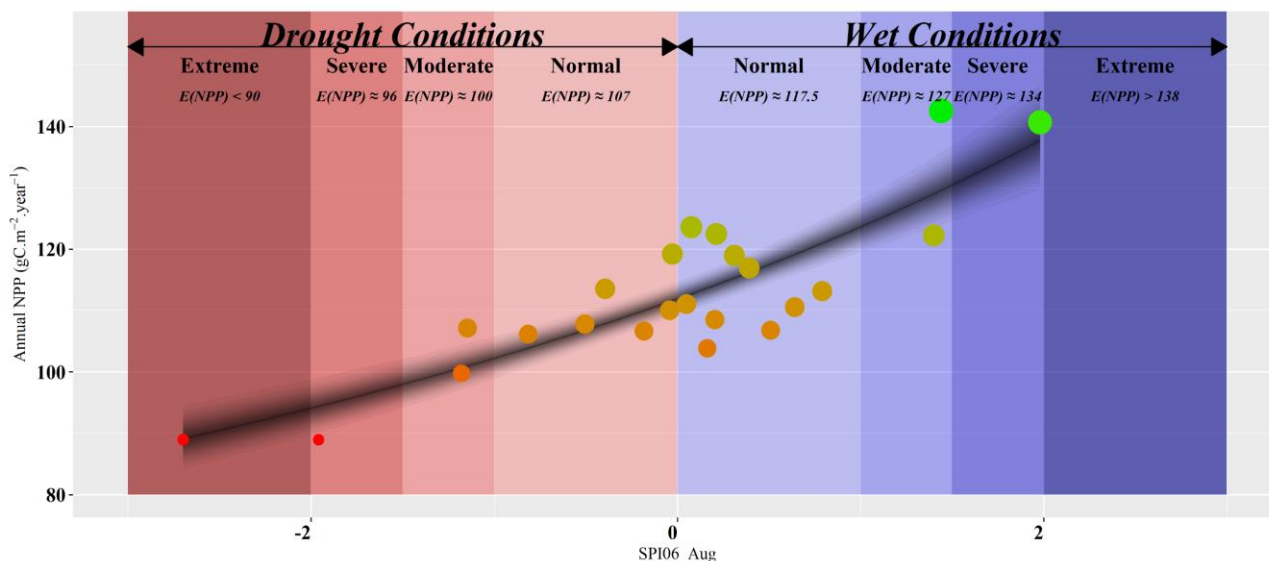
ماه‌های آوریل تا اوت است (شکل ۴). همچنین از نظر مقیاس زمانی خشکسالی مشخص شد که در مناطقی که پوشش گیاهی مراتع عمدتاً شامل گونه‌های علفی و یکساله هستند خشکسالی‌ها/ترسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت مانند سه و شش ماهه تولید اکوسیستم‌های مرتعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. این در حالی است که در مناطقی که گونه‌های غالب عمدتاً شامل گونه‌های چوبی و چند ساله هستند مقیاس‌های بلند مدت‌تر خشکسالی‌ها و ترسالی‌های مانند

بحث و جمع‌بندی

خشکسالی که یکی از مخاطرات طبیعی است، زندگی انسان و اکوسیستم‌های طبیعت را به طور گسترده‌ای تحت تأثیر قرار می‌دهد (۱۴). تغییرات اقلیمی نقش بسیار مهمی در پویایی و تغییرات پوشش گیاهی دارد. بنابراین بررسی روابط این دو و شناسایی نقاط تغییر این روابط برای ارزیابی پتانسیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر اکوسیستم‌ها بنیادی بوده و در برنامه‌ریزی و مدیریت منطقه‌ای اراضی بسیار اهمیت دارد. نوسانات اقلیمی از عوامل مهم و اصلی تأثیرگذار بر تغییرات پوشش گیاهی است که در درازمدت در صورت تداوم این شرایط باعث ایجاد تغییرات زیاد در پوشش گیاهی می‌شود (۲۸). یکی از موارد مهم تأثیر تغییرات اقلیمی بر اکوسیستم‌های مرتعی، میزان تأثیر خشکسالی حاصل از تغییرات بارش روی تولید خالص اولیه پوشش گیاهی این مناطق می‌باشد. در این پژوهش، به تغییرات زمانی و مکانی تولید خالص اولیه در فاصله سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۰۰ در اکوسیستم‌های مرتعی ایران و ارتباط آن با تغییرات شرایط خشکسالی با استفاده از تحلیل روند روی سری‌های ماهانه و سالانه تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی پرداخته شد. همانطور که انتظار می‌رفت بیشترین مقادیر تولید خالص اولیه مربوط به مناطق مرطوب در فصل بهار تا تابستان و کمترین مقادیر تولید خالص اولیه مربوط به مناطق خشک و نیمه‌خشک در فصل تابستان می‌باشد که حتی ممکن است تولید خالص اولیه صفر شود. علیرغم تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در چند دهه اخیر تغییرات تولید خالص اولیه در اغلب اکوسیستم‌های جهان روند افزایشی داشته است (۶ و ۲۷). در مطالعه لی و همکاران (۱۵) هم که در سطح جهانی انجام شده است نیز به این امر اشاره شده که تولید خالص اولیه سالانه در سطح جهان رو به افزایش است. یافته‌های این پژوهش نیز نشان داد که بطور متوسط تولید خالص اولیه کل اکوسیستم‌های مرتعی کشور حدود $112/6 \pm 13$ گرم کربن در متر مربع در سال است که این امر به معنی ترسیب حدود ۷۶ میلیون تن کربن در سال توسط گیاهان موجود در اکوسیستم‌های مرتعی کشور

سالانه وجود دارد. با این وجود توجه‌پذیری (R^2_{adj}) تغییرات تولیدات خالص اولیه در مناطق مختلف متفاوت است. بطوریکه در برخی از مناطق زیست اقلیمی واقع در مناطق خشک و نیمه خشک مانند مناطق ۴-شرقی (بخش‌هایی از خراسان رضوی و جنوبی)، ۷-دو (بخش‌هایی از خراسان شمالی و سمنان) و ۱-شرقی (بخش‌هایی از خراسان شمالی و رضوی) تا حدود ۸۰ درصد از تغییرات تولیدات خالص اولیه توسط مؤلفه‌های مختلف خشکسالی قابل توجه است. این در حالی است که در برخی از مناطق مانند مناطق شماره ۲ (کردستان، کرمانشاه، لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهکلوپه و بویراحمد)، ۶، ۷-یک، ۹-دو (اصفهان)، ۱۰ و ۱۳-یک، شدت اثرگذاری تغییرات شرایط خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها به حداقل خود می‌رسد ($R^2_{adj} < 50\%$). بطور خلاصه نتایج مدل‌سازی نشان داد که شدت تأثیرپذیری تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی از شرایط خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در مناطق زیست اقلیمی با اقلیم‌های خشک و نیمه خشک مانند مناطق ۴-شرقی، ۷-دو و ۱-شرقی نسبت به مناطق زیست اقلیمی با اقلیم‌های خیلی خشک و یا استپی و خیلی مرطوب مانند مناطق شماره ۲، ۶، ۷-یک، ۹-دو، ۱۰ و ۱۳-یک، بیشتر می‌باشد.

همچنین نتایج نشان داد که تغییرات تولیدات خالص اولیه کل اکوسیستم‌های مرتعی کشور تا ۷۲ درصد تحت تأثیر شرایط خشکسالی/ترسالی شش ماهه منتهی به اوت ($SPI06_Aug$) است (شکل ۵). از این حیث بر اساس مدل رگرسیونی انتظار می‌رود که در شرایط کاملاً نرمال خشکسالی/ترسالی ($SPI06_Aug = 0$) امید ریاضی تولید خالص اولیه ($E(NPP)$) سالانه مراتع کشور حدود ۱۱۲/۶ گرم کربن در متر مربع در سال باشد. در حالی که در شرایط ترسالی‌ها و خشکسالی‌های استثنایی (به ترتیب $SPI06_Aug > 2$ و $SPI06_Aug < -2$) امید ریاضی تولید خالص اولیه سالانه کل اکوسیستم‌های مرتعی کشور به ترتیب بیش از ۱۳۸ و کمتر از ۹۰ گرم کربن در متر مربع در سال انتظار می‌رود (شکل ۵).



شکل ۵. تغییرات تولید خالص اولیه سالانه کل اکوسیستم‌های مرتعی در شرایط مختلف خشکسالی‌های شش ماهه منتهی به ماه اوت

اقلیم‌های خیلی خشک و یا استپی و خیلی مرطوب است. از جمله کاربردهای پژوهش حاضر می‌توان به ارائه اطلاعاتی از کمیت تولید خالص اولیه مراتع کل کشور و روند تغییرات آن طی دو دهه گذشته اشاره کرد. همچنین دیگر کاربرد این پژوهش این است که می‌توان به کمک تکنیک‌های مدل‌سازی ارتباط بین خشکسالی‌ها/ترسالی‌ها را نیز با تغییرات تولید خالص اولیه سالانه در مراتع مختلف کشور مورد بررسی قرار داد و از آنجایی که خشکسالی می‌تواند بر پوشش گیاهی تاثیرگذار باشد، در راستای مدیریت صحیح این مناطق هنگام وقوع خشکسالی و جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی از واکنش عملکرد اکوسیستم‌های مختلف کشور به خشکسالی آگاهی داشته باشیم. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از مدل‌هایی استفاده شود که مانند رگرسیون خطی تک بعدی عمل نکند و مانند این مدل نسبت به تمامی شرایط واکنش نشان دهد تا نتایج به واقعیت نزدیک‌تر باشد.

سپاسگزاری

موضوع پژوهش حاضر مستخرج شده از تز دکتری است و بدین وسیله از حمایت‌های دانشگاه صنعتی اصفهان و سازمان هواشناسی کشور نهایت تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

می‌باشد. از دلایل احتمالی این امر می‌توان به غلظت CO_2 اتمسفر و انتشار گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. از آنجاییکه تغییرات سری‌های ماهانه تولید خالص اولیه نتوانست روند معنی‌داری را نشان دهند، بنابراین از تغییرات سالانه NPP برای آزمون تحلیل روند استفاده شد و شدیدترین روند افزایشی معنی‌دار برای تولید خالص اولیه سالانه در مناطق زیست اقلیمی مرطوب در هر دهه شناسایی شد. لی و همکاران (۱۴) نیز عنوان کردند که خشکسالی محرک اصلی تغییرات سالانه NPP بوده است. سپس واکنش تولید خالص اولیه سالانه اکوسیستم‌های مرتعی نسبت مؤلفه‌های مختلف خشکسالی/ترسالی از طریق مدل‌های جمعی تعمیم یافته کمی‌سازی شد و نتایج نشان داد که در مناطقی که پوشش گیاهی مراتع عمدتاً شامل گونه‌های علفی و یکساله هستند، خشکسالی‌ها/ترسالی‌ها در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت مانند سه و شش ماهه و در مناطقی که گونه‌های غالب عمدتاً شامل گونه‌های چوبی و چندساله هستند، مقیاس‌های بلند مدت‌تر تولید اکوسیستم‌های مرتعی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. بطور خلاصه نتایج مدل‌سازی نشان داد که شدت تأثیرپذیری تولید خالص اولیه اکوسیستم‌های مرتعی از شرایط خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها در مناطق زیست اقلیمی با اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک بیش از مناطق زیست اقلیمی با

منابع مورد استفاده

1. Acharya, B. S., Rasmussen and J. Eriksen. 2012. Grassland carbon sequestration and emissions following cultivation in a mixed crop rotation. *Agriculture, ecosystems and environment* 153 (24): 33-39.
2. Araghi-Shahri, S. M., S. Soltani, M. Tarkesh and S. Pourmanafi. 2020. Investigating the effects of teleconnection indices on net primary production in the north of Iran's Alborz Mountains. *Journal of applied ecology* 9(3): 1-16. (In Persian).
3. Bazame, H. C., D. Althoff, R. Filgueiras, M. L. Calijuri and J. C. D. Oliveira. 2019. Modeling the net primary productivity: A study case in the Brazilian territory. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* 47: 1727-1735.
4. Bastos, A., S.W. Running, C. Gouveia and R. M. Trigo. 2013. The global NPP dependence on ENSO: La Niña and the extraordinary year of 2011. *Journal of geophysical research: Biogeosciences* 118: 1247-1255.
5. Ciais, P., M. Reichstein, N. Viovy, A. Granier, J. Ogée and V. Allard. 2005. Europe-wide reduction in primary productivity caused by the heat and drought in 2003. *Nature (London)* 437(7058): 529-533.
6. Fernández-Martínez, M., J. Sardans, F. Chevallier, P. Ciais, M. Obersteiner, S. Vicca, J. G. Canadell, A. Bastos, P. Friedlingstein, S. Sitch and S.L. Piao. 2019. Global trends in carbon sinks and their relationships with CO₂ and temperature. *Nature climate change* 9(1): 73-79.
7. Guisan, A., J. R. T. C. Edwards and T. Hastie. 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene. *Ecological modelling* 157(2-3): 89-100.
8. Hadian, F., R. Jafari, H. Bashari, M. Tarkesh 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 Semrom County, Iran. *Journal of arid land* 11(4): 477-494.
9. Huang, Q., F. Zhang, Q. Zhang, H. Ou and Y. Jin. 2020. Quantitative assessment of the impact of human activities on terrestrial net primary productivity in the Yangtze River delta. *Sustainability* 12(4): 1697.
10. Jafari, F., R. Jafari and H. Bashari. 2023. Comparing actual and potential productions of rangeland ecosystems of Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad Province in different rangeland conditions. *Journal of applied ecology* 11(4): 1-14. (In Persian).
11. Karandish, F. and S. S. Mousavi. 2018. Climate change uncertainty and risk assessment in Iran during twenty-first century: evapotranspiration and green water deficit analysis. *Theoretical and applied climatology* 131(1): 777-791.
12. Kemp, D.R., H. Guodong, H. Xiangyang, D.L. Michalk, H. Fujiang, W. Jianping and Z. Yingjun. 2013. Innovative grassland management systems for environmental and livelihood benefits. *Proceedings of the national academy of sciences* 110(21): 8369-8374.
13. Khatibi, R. and M. Saberi. 2020. Bio-climatic classification of Iran by multivariate statistical methods. *SN Applied Sciences* 2(10): 1-30.
14. Lei, T., J. Feng, J. Lv, J. Wang, H. Song, W. Song and X. Gao. 2020. Net primary productivity loss under different drought levels in different grassland ecosystems. *Journal of environmental management* 274: 111144.
15. Li, P., C. Peng, M. Wang, W. Li, P. Zhao, K. Wang, Y. Yang, and Q. Zhu. 2017. Quantification of the response of global terrestrial net primary production to multifactor global change. *Ecological indicators* 76: 245-255.
16. Lu, Q., Z. Gao, J. Ning, X. Bi and Q. Wang. 2015. Impact of progressive urbanization and changing cropping systems on soil erosion and net primary production. *Ecological engineering* 75: 187-194.
17. McKee T. B., N. J. Doesken, J. Kleist. 1995. Drought monitoring with multiple time scales. In: Proceedings of 9th conference on Applied Climatology. Boston, Massachusetts, 15-20 January, pp. 233-236.
18. Mgalula, M. E., O. V. Wasonga, C. Hülsebusch, U. Richter and O. Hensel. 2021. Greenhouse gas emissions and carbon sink potential in Eastern Africa rangeland ecosystems: A review. *Pastoralism* 11(1): 1-17.
19. Modarres, R. and V. D. P. R. da Silva. 2007. Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of arid environments* 70(2): 344-355.
20. Patel, N. R., V. K. Dadhwal, S. K. Saha, A. Garg and N. Sharma. 2010. Evaluation of MODIS data potential to infer water stress for wheat NPP estimation. *Tropical Ecology* 51(1): 93-105.
21. Richardson, A. D., T. Andy Black, P. Ciais, N. Delbart, M. A. Friedl, N. Gobron, D.Y. Hollinger, W.L. Kutsch, B. Longdoz, S. Luyssaert and M. Migliavacca. 2010. Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 365(1555): 3227-3246.
22. Saki, M., S. Soltani Koupaei, M. Taekesh Esfahani and R. Jafari. 2018. Spatial and temporal changes of net primary production (NPP) and their relationship with climatic factors from 2000 to 2014 in Isfahan Province. *Journal of applied ecology* 7(1): 27-40. (In Persian).

23. Saydzade, F., S. Soltani and R. Modarres. 2022. Prediction of net primary production changes in different phytogeographical regions of Iran from 2000 to 2016, using time series models. *Journal of applied ecology*. 11(2): 19-35. (In Persian).
24. Sen, P. K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's Tau. *Journal of the American statistical association* 63(324): 1379-1389.
25. Wood, S. 2006. *Generalized Additive Models: An Introduction with R*. CRC Press, University of Bristol, UK.
26. Yu, T., R. Sun, Z. Xiao, Q. Zhang, G. Liu, T. Cui and J. Wang. 2018. Estimation of global vegetation productivity from global land surface satellite data. *Remote sensing* 10(2): 327-347.
27. Zhao, M. and S. W. Running. 2010. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. *Science* 329(5994): 940-943.
28. Zhao, J., S. Huang, Q. Huang, H. Wang and G. Leng. 2018. Detecting the dominant cause of streamflow decline in the Loess Plateau of China based on the latest Budyko Equation. *Water* 10(9): 1-19.

Evaluation of Spatial and Temporal Changes in Net Primary Production in Iran's Rangeland Ecosystems in Relation to Drought

Z. Sanaei^{1*}, R. Modarres² and P. Mohit Esfahani³

(Received: August 26-2023; Accepted: January 29-2024)

Abstract

The present study was conducted to investigate NPP changes and its relationship with drought. The monthly time series of NPP for the country's rangelands was prepared from the sum of net photosynthesis production (PSN) of the eight-day MODIS sensor (MOD17A2H) with a spatial scale of 500 m for 2000 to 2022. The monthly rainfall data of 165 synoptic stations were obtained from the National Meteorological Organization to calculate the Standard Precipitation Index (SPI) and monitor droughts in this period. Box plots of precipitation and NPP were prepared and showed that the highest values of NPP with an average of more than $50 \text{ gC.m}^{-2}\text{month}^{-1}$ occur during spring and early summer in humid areas. Results showed that NPP is increasing in Iran's rangeland ecosystems, and on average, the NPP of all rangeland ecosystems in the country is about $112.6 \pm 13 \text{ gC.m}^{-2}\text{.year}^{-1}$, in other words, about 76 million tons of carbon per year. It is absorbed by the plants in the rangeland ecosystems of the country. The trend of changes in the monthly series of NPP was not significant due to the influence of seasonal characteristics, but the annual changes of NPP showed a significant trend of increase in all regions.

Keywords: NPP, SPI, trend analysis test, monthly precipitation, MODIS sensor

-
1. PhD student, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 2. Asoc. Prof., Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 3. M.Sc. Graduate of Watershed Management, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: modarres2005@gmail.com