

بررسی تأثیر شاخص‌های پیوند از دور بر تولید خالص اولیه (NPP) در دامنه شمالی البرز

سید مرتضی عراقی شهری^۱، سعید سلطانی^{۱*}، مصطفی ترکش^۱ و سعید پورمنافی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۲)

چکیده

یکی از موضوعات اصلی تحقیقات علمی در زمینه اثر تغییر اقلیم جهانی، بررسی تغییرات چرخه کربن در مراتع است و تولید خالص اولیه (NPP) مؤلفه‌ای مهم در این چرخه از نظر ذخیره کربن و شاخصی کلیدی برای ارزیابی کارکرد اکوسیستم است. در این تحقیق رابطه تولید خالص اولیه با نوسانات اقیانوسی اتمسفری به صورت ماهانه و فصلی در فاصله سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰ در دامنه شمالی رشته کوه البرز مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور برای مدل‌سازی رابطه تولید ناخالص اولیه با شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری، میزان NPP با استفاده از محصولات سنجنده مودیس استخراج شد. برای بررسی روابط هم‌زمان و غیرهم‌زمان در سری‌های مختلف زمانی از رگرسیون چندمتغیره و برای بررسی روند تغییرات تولید خالص اولیه در فصل‌های مختلف در طول دوره آماری مورد مطالعه از آزمون من‌کندال استفاده شد. نتایج نشان داد که میانگین بیشترین میزان تولید خالص اولیه در فصول بهار و تابستان به ترتیب به میزان ۲/۰۶ و ۱/۳۰ و کمترین مقدار در فصول پاییز و زمستان به ترتیب برابر با ۰/۶۸ و ۰/۵۵ گرم کربن در متر مربع در روز بود. روند معنی‌دار تغییرات NPP در فصول پاییز و زمستان مشاهده شد. به طور کلی نتایج نشان داد که NPP تحت تأثیر عوامل اقلیمی به‌ویژه بارش بوده و شاخص‌های مربوط به انسو (النیو نوسان جنوبی) از عوامل مؤثر بر بارش و در نتیجه تولید خالص اولیه در منطقه شمال کشور است.

واژه‌های کلیدی: نوسانات اقیانوسی اتمسفری، رگرسیون چندمتغیره، انسو، آنالیز روند، من-کندال، سنجش از دور

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

۲. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان.

*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ssoltani@cc.iut.ac.ir

مقدمه

آگاهی از مقدار کربن جهانی برای توسعه سیاست‌هایی جهت مقابله با تغییرات اقلیم جهانی ضروری است (۳۵). تولید خالص اولیه (NPP=Net Primary Production) یکی از اجزای اصلی چرخه کربن بوده و نشان‌دهنده افزایش زیست‌توده پوشش گیاهی در بالا و زیر سطح زمین پس از کسر مقدار انرژی صرف‌شده برای تنفس گیاهی است. 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 (۴۲). NPP نشانگر انباشت CO₂ در اکوسیستم‌های زمینی بوده و نقش مهمی در تغییرات جهانی دارد (۲۴ و ۴۴) و تعیین‌کننده اصلی مقدار ذخیره کربن زمین و یکی از عوامل اصلی تنظیم‌کننده فرایندهای بوم‌شناختی است (۳۶). در دهه‌های اخیر، این شاخص و عوامل مؤثر بر آن به‌طور خاص در مقیاس‌های مختلف مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است (۱۳ و ۲۶). بنابراین درک الگوهای تغییرات زمانی و مکانی NPP و تعامل آن با عوامل مختلف اقلیمی و انسانی در طی چند دهه گذشته مورد توجه مطالعات مربوط به حوضه تغییرات جهانی بوده است. توجه به این موضوع که چگونه این تغییرات فنولوژیک بر عملکرد تولید خالص اولیه به عنوان یک شاخص تأثیرگذار بر پتانسیل اکوسیستم برای ذخیره مواد مغذی مؤثر است، رو به افزایش است (۱۴ و ۴۲). بنابراین توانایی ما برای توصیف دقیق عملکرد NPP به تغییرات فنولوژیک و همچنین به درک ما از واکنش اکوسیستم‌های زمینی به نوسانات اقلیمی جهانی بستگی دارد. مطالعات گذشته تلاش کرده‌اند تا مقدار NPP اکوسیستم‌های زمینی را تخمین بزنند و همچنین پاسخ آن را به تغییر اقلیم جهانی مورد بررسی قرار دهند (۱۷ و ۳۵). مقدار NPP در اکوسیستم‌های مختلف به شرایط بوم‌شناختی آن اکوسیستم و عوامل محیطی مانند دما، بارش و رطوبت نسبی بستگی دارد (۲۹). محدودیت‌های اقلیمی که تولید گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهند شامل عواملی مانند درجه حرارت،

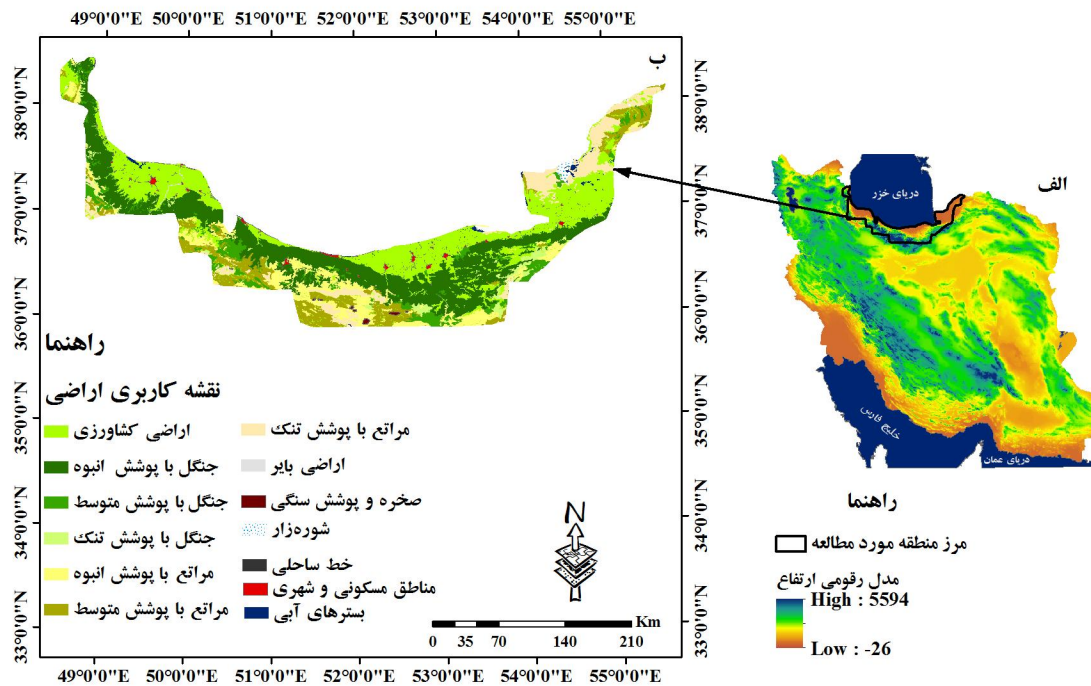
رطوبت و تابش فعال فتوسنتزی است که این عوامل همواره توزیع جغرافیایی و رشد گیاهان را در سطح زمین کنترل می‌کنند (۳۲). یکی از عوامل اصلی مؤثر بر نوسانات اقلیمی سالانه کره زمین، نوسانات اقیانوسی اتمسفری در گستره جهانی و ناحیه‌ای است که تحت عنوان شاخص‌های پیوند از دور (Teleconnection Indices) شناخته می‌شوند و از مهم‌ترین انواع آن می‌توان به پدیده النینو نوسان جنوبی (SOI=Southern Oscillation Index)، نوسان اطلس شمالی (NAO=North Atlantic Oscillation)، نوسان قطبی (AO=Arctic Oscillation) و نوسان مدیترانه‌ای (MO=Mediterranean Oscillation) اشاره کرد. هر کدام از این پدیده‌ها اقلیم بخشی از کره زمین را تحت کنترل دارند. مطالعات اخیر نشان داده که قدرت کنونی پدیده‌های اقیانوسی اتمسفری نسبت به گذشته شدیدتر شده است (۱۲ و ۲۷). با این وجود در مورد اثرات دقیق این پدیده‌ها بر روی متغیرهای اقلیمی اختلاف نظر وجود دارد (۴۵). مطالعات اخیر نشان داده که در آینده احتمالاً دامنه و شدت این پدیده‌ها مخصوصاً ENSO (El Niño Southern Oscillation) افزایش می‌یابد (۱۱) و یکی از موضوعاتی که در دهه‌های اخیر برای تبیین رفتار اقلیم مورد توجه اقلیم‌شناسان قرار گرفته، توجیه رفتار اقلیم بر اساس سازوکارهای پیوند از راه دور است. پیوند از دور در واقع همبستگی‌های هم‌زمان معنی‌دار بین نوسانات زمانی پارامترهای هواشناسی است که در نقاط وسیع و جدا از هم در سطح کره زمین اتفاق می‌افتد. تلاش اغلب پژوهشگران در این زمینه این بوده که با بررسی موضوع پیوند از دور بتوانند در درازمدت پیش‌بینی‌های مفیدی انجام دهند. الگوهای پیوند از دور بر امواج جوی، موقعیت رودبادهای (Jet stream)، بارش و مسیر طوفان‌ها در سطح وسیعی اثر می‌گذارند و بنابراین باعث ایجاد الگوهای هوایی غیرمعمولی می‌شوند که به‌طور هم‌زمان در مناطق دورتری اتفاق می‌افتد. با توجه به پیچیدگی و تنوع سازوکارهای حاکم بر اقلیم در مقیاس نجومی، جهانی و منطقه‌ای، به‌ویژه سازگاری‌های حاکم بر تغییرات سال به سال و

با ENSO رابطه وجود دارد (۳۶ و ۳۷). همچنین بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در ایالات متحده، ارتباط فنولوژی با ENSO در طول زمان معنی‌دار بوده است، اما این واقعیت که این پدیده‌ها در سطح وسیعی از جهان اتفاق می‌افتد این ارتباط را نامشخص کرده است (۳۰). عبدی و همکاران (۱) در سال ۲۰۱۶ به بررسی تأثیر چرخه النینو و لائینا و روند آن بر میزان NPP در مراتع خشک آفریقا پرداختند. نتایج نشان داد که در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ نوسانات NPP در ارتباط با انسو در سراسر خشکی‌های منطقه جنوب صحرای آفریقا تأثیر زیادی داشته و NINO3.4 بیشترین حساسیت را در منطقه خشک آفریقای جنوبی داشته است. ژانگ و همکاران (۵۲) در سال ۲۰۰۷ به بررسی تأثیر نوسانات اقلیمی قطب شمال (AO) و نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام (=Pacific Decadal Oscillation =PDO) بر روی NPP حاصل از داده‌های سنجنش از دور در منطقه Pan-Arctic پرداختند و نشان دادند که الگوهای فصلی شامل محدودیت‌های رطوبت و فتوسنتز بر میزان NPP تأثیر دارد. الگوی نوسان قطب شمال (AO) در اوایل بهار (فوریه تا آوریل) متناسب با شروع فصل است در حالی که الگوهای فصل رشد در نوسان دهه‌ای اقیانوس آرام (PDO) متناسب با محدودیت‌های رطوبت در دسترس برای تولید NPP هستند. تأثیر شاخص‌های AO و PDO بر عملکرد گیاهان به ترتیب کاهش و افزایش یافته و نشان داده شد که تحت شرایط گرمایش اقلیمی، میزان NPP به‌طور فزاینده‌ای به‌وسیله آب در دسترس محدود می‌شود. هاشیموتو و همکاران (۲۳) در سال ۲۰۰۴ واکنش چرخه کربن زمینی به تغییرات اقلیمی ناشی از نوسانات النینو جنوبی (ENSO) را مطالعه نموده و تولید خالص اولیه را از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۹ با استفاده از مدل LUE (Light Use Efficiency) براساس پارامترهای تاج پوشش حاصل از ماهواره نوا AVHRR NOAA و داده‌های اقلیمی بررسی کردند. تغییرات درون‌سالی NPP به‌طور قابل توجهی با انسو مرتبط بوده و به‌ویژه در عرض‌های پایین به‌طور ضعیفی با دمای جهانی ارتباط داشت. تنفس هتروتروپی و جریان سوخت

دهه به دهه آن، لزوم تحقیق در مورد فرآیندهای اثرگذار بر این تغییرات امری اجتناب‌ناپذیر است، چرا که آب و هوای یک منطقه نه تنها تحت تأثیر فرآیندهای جوی قرار دارد بلکه متأثر از روابط بین هواکره، آب‌کره، زیست‌کره، و سنگ‌کره است، به‌طوری‌که تغییر در یکی سبب تغییر در سایر موارد می‌شود (۱۰). اگرچه عدم قطعیت‌هایی در برآورد NPP در مقیاس‌های بزرگ وجود دارد، با توجه به گستردگی سطح مراتع کشور ایران و محدود بودن امکانات و زمان ارزیابی، برآورد مستقیم NPP در تمام عرصه‌های مرتعی کشور در هر سال مقدور نیست و به‌کارگیری روش‌های غیرمستقیم در این مورد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از روش‌های غیرمستقیم به‌منظور برآورد NPP استفاده از داده‌های سنجنش از دور است. داده‌های ماهواره‌ای همواره در تأمین اطلاعات لازم در مورد جنبه‌های مختلف جوامع گیاهی به‌منظور گسترش و مدیریت منابع مرتعی دارای اهمیت بوده‌اند (۳۸). پیشرفت سنجنده‌ها در سنجنش از دور (RS = Remote Sensing)، توانایی مطالعه دقیق و درک اکوسیستم را افزایش داده است. مدل‌سازی NPP براساس داده‌های سنجنش از دور به بررسی تولید گیاهان در مناطق وسیع کمک نموده و همچنین اطلاعات ارزشمندی در مورد الگوهای مکانی و زمانی NPP فراهم می‌کند (۴۸). سنجنده MODIS به علت پوشش ممتد و وسیع طیفی و مکانی، مطالعه و ارزیابی تغییرات کوتاه‌مدت و بلندمدت پدیده‌های مختلف در دریا، خشکی و اتمسفر را امکان‌پذیر می‌سازد. بررسی ارتباط بین پدیده‌های اقیانوسی اتمسفری و عملکرد پوشش گیاهی در پیش‌بینی تولیدات گیاهی و مدیریت منابع طبیعی بسیار مفید خواهد بود. مطالعات گذشته به تأثیر چرخه ENSO (النینو نوسان جنوبی) بر شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی (NDVI = Normalized Difference Vegetation Index) (۳ و ۱۰)، تولید خالص اولیه (۷) و فنولوژی (۹ و ۴۶) پرداخته‌اند. مطالعات انجام شده در آمریکای شمالی نشان می‌دهد که مقدار کربن ذخیره‌شده رابطه معنی‌داری با ENSO ندارد، اما در مناطق همگن بین NPP حاصل از داده‌های ماهواره

به تغییر اقلیم را در فلات تبت در طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و داده‌های هواشناسی بررسی و پاسخ NPP به تغییرات دما و بارندگی را ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که به دلیل اثرات ترکیبی تغییرات بارندگی و دما، تغییرات فصلی و درون‌سالی قابل توجهی در مقدار NPP وجود دارد، به گونه‌ای که افزایش دمای متوسط سالانه تأثیر مثبت زیادی بر روی NPP داشته و تغییرات بارندگی سالانه تأثیر منفی بر روی آن گذاشته است. یانگ و همکاران (۵۱) در سال ۲۰۰۵ به بررسی توزیع مکانی و زمانی تولید خالص اولیه در امتداد ترانسکت شمال شرقی چین و واکنش آن به تغییر اقلیم در طی دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۰ پرداختند. نتایج نشان داد توزیع مکانی NPP در امتداد ترانسکت کاملاً مشابه بارش است، تغییرات درون‌سالی NPP در هر سال تحت تأثیر تغییرات آب و هوای محلی منطقه قرار می‌گیرد، NPP اغلب در ماه‌های می و سپتامبر تجمع یافته، فصل تابستان ۶۵/۹ درصد از کل NPP سالانه و فصل زمستان کمترین میزان NPP را در بر می‌گیرد، و در فاصله دهه ۱۹۸۰ تا ۱۹۹۰ مقدار NPP به میزان ۱۴/۳ درصد افزایش یافته است. پنگ و همکاران (۳۴) در سال ۲۰۱۰ خصوصیات مکانی و فصلی تولید خالص اولیه و متغیرهای اقلیمی را در جنوب شرقی چین با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس بررسی کردند. نتایج حاکی از نقش تأخیری و مداوم تغییرات اقلیمی در تغییرات فصلی NPP بود. این مطالعه با بررسی ویژگی‌های فصلی NPP و متغیرهای اقلیمی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در سطح پیکسل توسعه داده شد. نتایج نشان داد که دمای هوا، بارش و درصد تابش آفتاب به‌طور معنی‌داری بر تغییرات فصلی NPP اثر گذاشته است. به‌علت توپوگرافی پیچیده و توزیع پوشش گیاهی در بخش جنوبی منطقه مورد مطالعه، الگوهای مکانی رابطه پوشش گیاهی با اقلیم پیچیده و متنوع بود. در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه، NPP واکنش تقریباً مشابهی به تغییرات فصلی دمای هوا داشت. اثرات تغییرات فصلی بارش و تابش خورشید بر روی محصول غلات نسبت به سایر تولیدات معرف NPP،

کربنی به‌شدت با دمای جهانی ارتباط داشت و وابستگی تنفس هتروتروفی و جریان سوخت کربنی به تغییرپذیری دمای سالانه تأیید شد و نشان داده شد که تغییرات NPP تحت تأثیر انسو بر سرعت رشد CO₂ در جو تأثیر می‌گذارد. باستوس و همکاران (۷) در سال ۲۰۱۳ تغییرات NPP جهانی در رابطه با انسو در سال ۲۰۱۱ که النینو 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 به‌ویژه در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری بوده است. در این مطالعه عوامل اصلی واکنش منطقه‌ای NPP به انسو شامل در دسترس بودن آب، کنترل به‌وسیله دما و ناهنجاری‌های بارش بودند. بالا و همکاران (۵) در سال ۲۰۱۳ روند و تغییرپذیری NPP حاصل از داده‌های سنجنده AVHRR در هند را در طی دوره زمانی ۱۹۸۲ تا ۲۰۰۶ بررسی کردند. در طی این دوره یک روند افزایش ۳/۹ درصدی در NPP مشاهده شد. رگرسون خطی چندمتغیره بین NPP با دما، بارش، غلظت دی‌اکسیدکربن اتمسفری، آب موجود در خاک و تابش خورشیدی نشان داد که این روند افزایشی تا حدی ناشی از افزایش غلظت دی‌اکسیدکربن و به دنبال آن حاصلخیزی اکوسیستم ناشی از تثبیت CO₂ بوده است. ملاحظات انسانی نقش مهمی در افزایش NPP داشت به‌طوری‌که رشد NPP غیرجنگلی عمدتاً به دلیل توسعه مناطق آبیاری شده و کاربرد کود بود، در حالی که NPP جنگلی متأثر از برنامه کشت و زرع و برنامه‌های حفاظت از جنگل بود. رگرسون چندمتغیره درون‌سالی NPP با دما، بارش، آب موجود در خاک، تابش خورشید و ناهنجاری‌های CO₂ نشان داد که تغییرپذیری درون‌سالی NPP در درجه اول ناشی از تغییرپذیری بارش و دما است. میانگین فعلی NPP پس از وقوع جریان مونسون بیشترین مقدار و پیش از مونسون کمترین مقدار را داشت که نشان‌دهنده اهمیت رطوبت موجود در خاک برای رشد و افزایش پوشش گیاهی بود. گائو و همکاران (۱۸) در سال ۲۰۱۳ واکنش NPP



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (رنگی در نسخه الکترونیکی)

مدیریتی، حفاظت و احیا هستند. از این‌رو هدف از این تحقیق بررسی ارتباط مقادیر NPP و شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری در این منطقه مهم در شمال ایران است که در صورت وجود رابطه مناسب با توجه به آمار درازمدت و تنوع شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری می‌تواند در پایش و بررسی تغییرات مقادیر NPP مورد استفاده قرار گیرد. در این تحقیق همچنین روند تغییرپذیری NPP در پهنه حاشیه جنوبی دریای خزر با استفاده از شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری بررسی شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

شمال ایران دارای اقلیم مدیترانه‌ای با آب و هوای معتدل و مرطوب است. میزان بارش سالانه به‌طور متوسط ۱۰۰۰ میلی‌متر است که بیشترین آن در قسمت‌های غربی و کمترین آن در نواحی شرقی است. درجه حرارت متوسط سالانه بین ۱۵ تا ۱۸ درجه سانتی‌گراد است. منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم معتدل با رطوبت نسبی بسیار زیاد است (شکل ۱). مساحت منطقه

متفاوت بود. وانگ و همکاران (۴۷) در سال ۲۰۱۹ در مطالعه رابطه بین گیاهان و اتمسفر و زو و همکاران (۴۹) در سال ۲۰۱۹ در مطالعه تأثیر مستقیم دسترسی به آب بر تولید خالص اولیه در چین بیان کردند که عوامل اقلیمی و تغییرات اقلیمی، تأثیر بسیار زیادی بر تغییر تولیدات اکوسیستم‌های زمینی و مدیریت آنها دارند. لی و همکاران (۲۸) در سال ۲۰۲۰ و بانو و همکاران (۶) در همین سال در مطالعه فاکتورهای مؤثر بر تولیدات گیاهی بیان داشتند که برای بررسی عملکرد فیزیولوژیک گیاهان و تولیدات گیاهی، تخمین تأثیر عوامل اقلیمی بر گیاهان اهمیت دارد.

جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران با توجه به اهمیت خاص آن از نظر محیط زیستی و همچنین قدمت پیدایش، تنوع ژنتیکی و وجود گونه‌های درختی، بوته‌ای، علفی و جانوری و کارکردهای بوم‌شناختی و بوم‌گردی به عنوان یکی از قدیمی‌ترین و ارزشمندترین جنگل‌های دنیا محسوب می‌شوند (۴۱). میانگین سهم سرانه جنگل در دنیا ۰/۸ و در ایران ۰/۲ هکتار است که این رقم کشور را در زمره ۵۶ کشور کم‌جنگل دنیا قرار داده است (۳۳). بنابراین جنگل‌های هیرکانی نیازمند برنامه‌ریزی جامع

آرام (NINO1.2، NINO3.4، NINO3 و NINO4) است. شاخص نوسان قطب شمال (AO) بر اساس ناهنجاری‌های فشار نقطه‌ای در قطب شمال و ناهنجاری‌های فشار عرض‌های ۳۷ تا ۴۵ درجه شمالی تعیین می‌شود و با پدیده‌های قابل پیش‌بینی الگوهای هوای مناطق دورتر مثل اروپا و آمریکای شمالی مرتبط است. قاسمی و خلیلی (۲۰) در بررسی تأثیر نوسان قطبی بر دمای زمستانه در فاصله سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۵۱ بیان کردند که در بیشتر مناطق ایران دمای هوای زمستانه با شاخص AO همبستگی منفی داشته است. شاخص نوسان قطب جنوب (AAO) یکی از مهم‌ترین نوسان‌های اقیانوس-جو در عرض‌های بالای نیمکره جنوبی است که بسیاری از الگوهای هواشناسی را در عرض‌های میانی و بالایی این نیمکره به شدت کنترل می‌کند. شاخص نوسان چنددهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) یک پدیده اقیانوسی با مقیاس زمانی طولانی با تداوم بالا است. این شاخص بر روی بارش و دمای نیمکره شمالی به‌ویژه اروپا و آمریکای شمالی بسیار مؤثر بوده و ارتباط مستقیمی با شدت و فراوانی خشکسالی در این مناطق دارد به طوری که این شاخص با گرم‌شدن کره زمین روند صعودی داشته است. شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO) یک نوسان بزرگ مقیاس در توده هوا است که بیانگر حالت مهمی از تغییرات اقلیمی از آمریکای شمالی تا اروپا و آسیای شمالی به‌ویژه در فصل زمستان است. این پدیده یک وضعیت تکرارپذیر و بزرگ مقیاس است که در بین ناحیه محدود به مرکز پرفشار استوایی و کم‌فشار قطبی رخ می‌دهد و علت وقوع آن به وجود آمدن اختلافات فشار نسبی بین نواحی پرفشار استوایی و نواحی قطبی در اقیانوس اطلس شمالی است. در واقع میانگین دمای چند نقطه در محدوده مشخص محاسبه و سپس نرمال شده و به صورت استاندارد تبدیل می‌شود. دزفولی و همکاران (۱۵) در بررسی ارتباط خشکسالی جنوب ایران با شاخص‌های SOI و NAO بیان کردند که بارندگی پاییز با این دو شاخص همبستگی منفی و معنی‌دار دارد. شاخص نوسان مدیترانه غربی (WMO) یک

۴۷۲۱۱۸۷ هکتار بوده و در سواحل شمالی ایران، مناطق وسیعی از استان مازندران به اضافه تمام مناطق استان گیلان (به جز محدوده‌ای کوچک در جنوب این استان)، بخش‌های زیادی از استان گلستان (به‌ویژه مناطق شمالی، شمال شرقی، شمال غربی و بخش‌هایی از جنوب غربی این استان) و بخش کوچکی در شمال شرق استان قزوین را در برمی‌گیرد. میانگین ارتفاع این پهنه رویشی ۱۰۲۳ متر از سطح دریا است (۲۵). بر اساس شکل ۱-ب حدود ۶۰ درصد منطقه مورد مطالعه را اراضی با پوشش طبیعی شامل جنگل و مرتع در بر گرفته که بیش از ۴۰ درصد آن شامل جنگل‌ها و مراتع با پوشش انبوه است. حدود ۳۰ درصد از سطح منطقه را نیز اراضی کشاورزی پوشانده است.

داده‌های مورد استفاده

داده‌های سنجش از دور

برای برآورد تولید خالص اولیه در این مطالعه از محصولات سنجنده مودیس استفاده شد. محصولات این سنجنده مجموعه‌ای از اطلاعات در مورد پوشش گیاهی را با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب در اختیار کاربران قرار می‌دهد. به این منظور، داده‌های NPP ماهانه تولیدی سنجنده مودیس مربوط به منطقه مورد مطالعه در فاصله سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰ از تارنمای <https://neo.sci.gsfc.nasa.gov> دانلود شد.

داده‌های شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری

داده‌های شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری منطقه مورد مطالعه به صورت ماهانه در فاصله سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰ از سایت هواشناسی استرالیا (<http://www.bom.gov.au>) دریافت شد. شاخص‌های مورد مطالعه در این تحقیق شامل شاخص نوسان قطب شمال (AO)، شاخص نوسان قطب جنوب (AAO=Antarctic Oscillation)، شاخص نوسان چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO=Atlantic Multi-decadal Oscillation)، شاخص نوسان اطلس شمالی (NAO)، شاخص نوسان مدیترانه غربی (Western Mediterranean Oscillation=WMO) و شاخص‌های نوسانات دمایی اقیانوس

اینکه مقادیر منفی نشان‌دهنده تجزیه و تنفس گیاهی است، این مقادیر جهت برآورد واقعی میزان کربن تولیدی، حذف شد و در نتیجه، حداقل و حداکثر مقدار تولید خالص اولیه، صفر و ۶/۵ گرم کربن در متر مربع در روز است. در نهایت میانگین تولید خالص اولیه محدوده مورد مطالعه برای مدل‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. با دریافت داده‌های مربوط به شاخص‌های نوسانات اقیانوسی اتمسفری، آزمون همبستگی هم‌زمان بین شاخص‌های مذکور در نرم افزار آماری MINITAB19 انجام شد. در این مطالعه از آزمون اسپیرمن برای بررسی همبستگی استفاده شد و ضریب همبستگی معیار برای وجود رابطه معنی‌دار ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. این ضریب میزان همبستگی میان دو متغیر ترتیبی را نشان می‌دهد و به عبارت دیگر متناظر ناپارامتریک ضریب همبستگی پیرسون است. در این ضریب همبستگی به جای استفاده از مقادیر متغیرها از رتبه‌های آنها استفاده می‌شود. گام بعدی، بررسی رابطه غیرهم‌زمان و دارای تأخیر بین شاخص‌ها در نرم‌افزار SPSS بود. در نهایت ارتباط این شاخص‌ها با تولید خالص اولیه مدل‌سازی شد تا بتوان پایش و پیش‌بینی تولید خالص اولیه را سریع‌تر و راحت‌تر انجام داد. برای انجام مدل‌سازی، از آزمون رگرسیون چندمتغیره در نرم‌افزار SPSS25 با حالت‌های هم‌زمان و تأخیردار ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ماهه به روش backward استفاده شد. در این روش ابتدا تمام متغیرهای مستقل در معادله رگرسیون وارد می‌شوند و سپس در صورتی که معیارهای لازم برای باقی‌ماندن در مدل را نداشته باشند، تک‌تک حذف می‌شوند (متغیرهایی که ضریب همبستگی پایین‌تری با متغیر وابسته دارند اولین گزینه حذف از معادله هستند). در نهایت مدل رگرسیون با استفاده از متغیرهایی که در مرحله قبل معنی‌دار شدند تخمین زده می‌شود و معیارهایی مانند R^2 به عنوان شاخص کیفیت مدل در تحلیل و ارزیابی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین برای بررسی وجود یا عدم وجود روند در مقادیر میانگین فصلی NPP در طول دوره (۲۰۱۶-۲۰۰۰) از آزمون من کندال استفاده شد.

الگوی جدید ارتباط از دور منطقه‌ای است. این نوسان تنها در مقیاس سینوپتیک از حوزه مدیترانه غربی و مجاورت آن تعریف شده که از اختلاف فشار هوای غرب مدیترانه در منطقه آلپ و مرکز اروپا به دست می‌آید و باعث ایجاد مراکز کم‌فشار و پرفشار در این منطقه می‌شود. فاز مثبت این شاخص با فاز گرم انسو تقویت و با فاز سرد انسو تضعیف می‌شود. قاسمی و خلیلی (۲۱) در مطالعه‌ای به ارتباط بین الگوهای چرخشی اتمسفری در مقیاس‌های مختلف با الگوهای بارش زمستانه در ایران پرداختند که نتایج آنها نشان داد مؤلفه اول بارش زمستانه ایران تحت تأثیر WMO است. الگوی دمایی اقیانوس آرام یا نوسانات دمایی اقیانوس آرام شامل NINO1.2، NINO3.4، NINO3 و NINO4 است که از مجموعه شاخص‌های ENSO هستند و هر یک با استفاده از دمای متوسط ماهانه سطح آب دریا در یک محدوده مشخص محاسبه می‌شوند. قاسمی (۱۹) در مطالعه تأثیر پدیده ENSO بر خشکسالی هواشناسی ایران بیان کرد که اقلیم ایران در فصل‌های گرم و سرد با شدت‌های متفاوت تحت تأثیر این پدیده قرار دارد.

روش انجام پژوهش

در این مطالعه، رابطه بین تولید خالص اولیه و شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری در حاشیه جنوبی دریای خزر بررسی شد. هدف از این مطالعه بررسی ارتباط بین تولید خالص اولیه با شاخص‌های پیوند از دور اقیانوسی اتمسفری است تا در صورت وجود رابطه مناسب، مدل برآورد تولید خالص اولیه تهیه شود. با توجه به اینکه طول دوره داده‌های اقیانوسی اتمسفری مناسب بوده و به صورت رایگان در تمام دنیا قابل دسترس است در صورت یافتن معادلات مناسب، امکان پیش‌بینی و برآورد مقادیر تولید خالص اولیه به‌عنوان یکی از شاخص‌های مهم در ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی وجود خواهد داشت. تصاویر تولید خالص اولیه مورد استفاده در این تحقیق به صورت ماهانه بوده و واحد NPP در این تصاویر گرم کربن در متر مربع در روز است. در این تصاویر مقدار کربن بین ۱- تا ۶/۵ گرم در متر مربع در روز متغیر است که با توجه به

نتایج

تحلیل رگرسیون

نتایج نشان داد که در منطقه مورد مطالعه در ماه ژانویه، WMO و NINO1.2 رابطه مثبت و معنی‌داری با تولید خالص اولیه دارد. NINO4 در ماه فوریه رابطه مثبت و معنی‌داری با تولید خالص اولیه نشان داد. در ماه مارس شاخص‌های AAO و NINO1.2 رابطه مثبت و معنی‌دار و شاخص‌های AMO و NAO رابطه منفی و معنی‌دار نشان دادند. NINO3.4 و NINO4 به ترتیب رابطه مثبت و منفی معنی‌دار در ماه آوریل از خود نشان دادند. در ماه جولای شاخص‌های NINO3.4 و NINO4 به ترتیب رابطه منفی و مثبت معنی‌دار داشتند. SOI و NINO4 در ماه آگوست رابطه مثبت و معنی‌داری با تولید خالص اولیه در پهنه شمال کشور داشتند در حالی که در همین ماه WMO و NINO3 رابطه منفی و معنی‌داری را نشان دادند. شاخص نوسان جنوبی (SOI) در ماه اکتبر رابطه منفی و معنی‌داری با تولید خالص اولیه نشان داد. در ماه نوامبر AMO و NINO3 رابطه مثبت و معنی‌دار و NINO1.2 و NINO3.4 رابطه منفی و معنی‌دار با تولید خالص اولیه نشان دادند (جدول ۱).

تحلیل رگرسیون با روابط غیرهم‌زمان

با توجه به اینکه تولید خالص اولیه در ماه‌های می، ژوئن، سپتامبر و دسامبر، در شرایط هم‌زمان هیچ‌گونه رابطه‌ای با شاخص‌های اقیانوسی اتمسفری نشان نداد، رابطه آنها با استفاده از روابط غیرهم‌زمان و با تأخیرهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ ماهه بررسی شد. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون با روابط غیرهم‌زمان در ماه می نشان داد که شاخص AAO ماه دسامبر رابطه منفی و معنی‌داری با تولید خالص اولیه دارد. تولید خالص اولیه در ماه ژوئن در حالت غیرهم‌زمان با شاخص‌های AO دسامبر و WMO سپتامبر رابطه مثبت و معنی‌دار و با شاخص AAO در ماه اکتبر رابطه منفی و معنی‌دار داشت. نتایج تحلیل رگرسیون در حالت غیرهم‌زمان در ماه سپتامبر نشان داد که تولید خالص اولیه در این ماه رابطه مثبت و

معنی‌داری با شاخص‌های NINO1.2 ژوئن، NINO1.2 مارس و WMO فوریه دارد. در بررسی روابط غیرهم‌زمان در ماه دسامبر هم تولید خالص اولیه با شاخص‌های WMO آگوست و SOI مارس رابطه منفی و معنی‌داری از خود نشان داد (جدول ۲).

نتایج حاصل از روابط هم‌زمان نشان داد که تولید خالص اولیه در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، جولای، آگوست، اکتبر و نوامبر با شاخص‌های پیوند از دور روابط معنی‌داری داشتند. در روابط غیرهم‌زمان، تولید خالص اولیه در ماه‌های می، ژوئن، سپتامبر و دسامبر با شاخص‌های پیوند از دور رابطه معنی‌دار داشتند، به طوری که در روابط غیرهم‌زمان، تولید خالص اولیه در ماه می در تأخیر ۵ ماهه با شاخص AAO، در ماه ژوئن تأخیرهای ۶، ۸ و ۹ ماهه به ترتیب با شاخص‌های AO، AAO و WMO، در سپتامبر تأخیر ۳، ۶ و ۱۲ ماهه به ترتیب با شاخص‌های NINO1.2 و WMO و در دسامبر تأخیر ۴ و ۹ ماهه به ترتیب با شاخص‌های WMO و SOI روابط معنی‌داری داشتند. نتایج به دست آمده بیانگر این فرضیه است که در منطقه مورد مطالعه به دلیل مجاورت با سواحل دریای خزر، الگوهای بارش می‌تواند تحت تأثیر جهانی شاخص‌های پیوند از دور و همچنین انسو باشد. روند تغییرپذیری تولید خالص اولیه در فصل بهار در طول دوره مورد مطالعه نشان داد که کمترین میزان NPP تولیدی متعلق به سال ۲۰۰۷ به میزان ۱/۵۷ گرم کربن بر متر مربع در روز بوده و بیشترین میزان در این فصل متعلق به سال ۲۰۱۶ به میزان ۲/۶۹ می‌باشد. با بررسی روند تغییرات NPP در این فصل و در دوره آماری مورد مطالعه در مجموع مشخص شد که تغییرات تولید خالص اولیه در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ روند کاهشی و از ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۶ روند صعودی داشته است (شکل ۲).

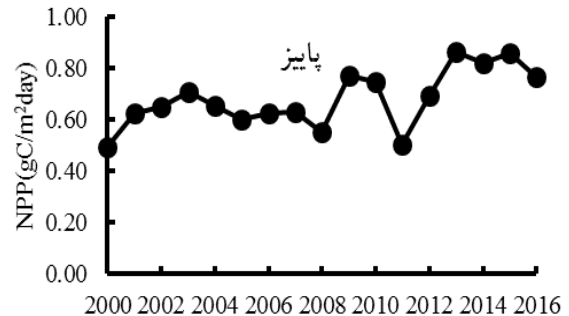
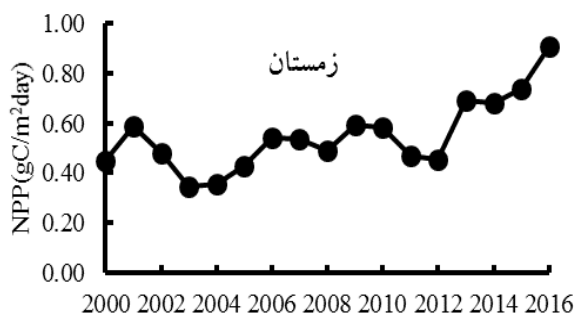
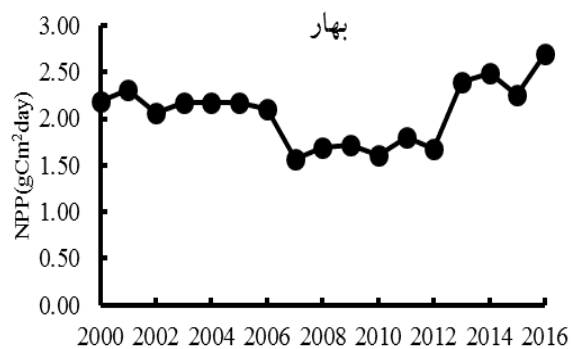
در این فصل شاخص NINO3.4 رابطه معنی‌دار و مثبت با NPP داشته است (جدول ۳ و ۴). همچنین روند تغییرات این شاخص در طول دوره نشان می‌دهد که به‌ویژه از سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۶ همراه با افزایش مقادیر این شاخص، تولید خالص اولیه هم افزایش یافته است. تغییرات میزان تولید خالص اولیه در

جدول ۱. روابط رگرسیونی برای برآورد NPP در ماه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه در روابط هم‌زمان

تولید خالص اولیه	R ²	معادله رگرسیون
NPPjan	75	0.0652 WMO + 0.0912 NINO1.2
NPPfeb	63	0.102 NINO4
NPPmar	78	0.133 AAO - 0.839 AMO - 0.0752 NAO + 0.213 NINO1.2
NPPapr	55	2.68 NINO3.4 - 2.27 NINO4
NPPjul	67	-0.752 NINO3.4 + 1.08 NINO4
NPPaut	84	0.223 SOI - 0.135 WMO - 0.271 NINO3 + 1.10 NINO4
NPPoct	-0.0678 SOI	35
NPPnov	79	0.869 AMO - 0.363 NINO1.2 - 0.551 NINO3.4 + 0.915 NINO3

جدول ۲. روابط رگرسیونی برای برآورد NPP در ماه‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه در روابط غیرهم‌زمان

تولید خالص اولیه	R ²	معادله رگرسیون
NPPmay	83	-0.153 AAOdec
NPPjun	68	0.0928 AOdec - 0.196 AAOoct + 0.262 WMOsep
NPPsep	79	0.117 NINO1.2jun + 0.170 NINO1.2mar + 0.147 WMOsep
NPPdec	54	-0.0429 WMOaug - 0.0309 SOImar



شکل ۲. تغییرات تولید خالص اولیه در فصول مختلف در منطقه مورد مطالعه طی دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۶

افزایشی داشته است. کمترین میزان NPP، به مقدار ۰/۸۲ در سال ۲۰۰۶ و بیشترین میزان آن، ۲/۱۱ در سال ۲۰۱۶ مشاهده شد (شکل ۲). در این فصل شاخص نوسان جنوبی (SOI) و

فصل تابستان در طی دوره آماری مورد مطالعه نشان داد که به-رغم روند نسبتاً ثابت تغییرات تولید خالص اولیه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۵، از سال ۲۰۰۶ تا پایان دوره، میزان NPP روند

جدول ۳. رابطه فصلی تولید خالص اولیه با شاخص‌های پیوند از دور در طول دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۶)

تولید خالص اولیه	R ²	معادله رگرسیون
NPP زمستان	92	-0.0662 AO + 0.110 AAO - 0.559 AMO + 0.0864 SOI + 0.164 WMO + 0.368 NINO1.2 + 0.768 NINO3.4 - 0.882 NINO3
NPP بهار	45	0.3 NINO3.4
NPP تابستان	58	0.266 SOI + 0.775 NINO 4
NPP پاییز	71	0.784 AMO - 0.237 NINO1.2 + 0.398 NINO3 - 0.237 NINO4

جدول ۴. شاخص‌های پیوند از دور مرتبط با تولید خالص اولیه در طول دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۶)

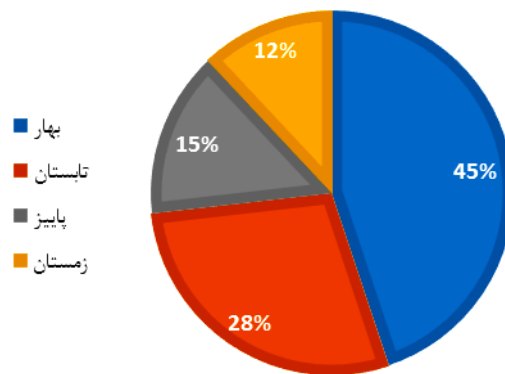
فصل	شاخص‌های دارای ارتباط معنی‌دار با تولید خالص اولیه
زمستان	AO, AAO, AMO, SOI, WMO, NINO1.2, NINO3.4, NINO3
بهار	NINO3.4
تابستان	SOI, NINO4
پاییز	AMO, NINO1.2, NINO3, NINO4

جنوبی (SOI)، شاخص نوسان مدیترانه غربی (WMO) و شاخص‌های NINO1.2 و NINO3.4 رابطه مثبت و معنی‌داری داشتند (جداول ۳ و ۴). به‌طور کلی در مجموع چهار فصل، میانگین بیشترین میزان تولید خالص اولیه در پهنه مورد مطالعه در فصل بهار به میزان ۲/۰۶ و کمترین آن در زمستان به میزان ۰/۵۵ گرم کربن در متر مربع در روز به‌دست آمد. میانگین NPP تولیدی در فصول تابستان و پاییز در پهنه مورد مطالعه هم به-ترتیب به مقدار ۱/۳۰ و ۰/۶۸ در طول دوره آماری به‌دست آمد (شکل ۳).

تغییرات تولید خالص اولیه در کل سال و در طول دوره آماری مورد مطالعه در پهنه مورد نظر، پس از یک روند نسبتاً ثابت طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲، در فاصله سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ یک روند محسوس افزایشی را نشان داد. میانگین سالانه تولید خالص اولیه در طول دوره آماری مورد مطالعه در پهنه مورد نظر به میزان ۱/۱۵ به‌دست آمد. بر این اساس کمترین میزان تولید خالص اولیه در سال ۲۰۰۸ به میزان ۰/۹۴ و بیشترین مقدار آن در سال ۲۰۱۶ به میزان ۱/۶۲ گرم کربن بر متر مربع در روز مشاهده شد. شاخص NINO3 تنها شاخص دارای ارتباط معنی‌دار با تولید خالص اولیه در این دوره بود و

شاخص NINO4 رابطه مثبت و معنی‌داری با تولید خالص اولیه داشتند (جداول ۳ و ۴). تغییرات تولید خالص اولیه در فصل پاییز طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ روندی تقریباً ثابت داشت و سپس با یک کاهش محسوس در سال ۲۰۱۱، در مجموع در طی دوره مورد مطالعه روند افزایشی نشان داد. کمترین میزان NPP مربوط به سال ۲۰۰۰ و بیشترین میزان آن متعلق به سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۵ به مقدار ۰/۸۶ به‌دست آمد (شکل ۲). در این فصل شاخص‌های AMO و NINO3 رابطه معنی‌دار افزایشی و شاخص‌های NINO1.2 و NINO4 رابطه معنی‌دار منفی با تولید خالص اولیه نشان دادند (جداول ۳ و ۴).

در فصل زمستان کمترین میزان NPP مربوط به سال ۲۰۰۳ با مقدار ۰/۳۴ گرم کربن در متر مربع در روز و بالاترین میزان NPP متعلق به سال ۲۰۱۶ با مقدار ۰/۹۱ بوده است. در مجموع، تغییرات NPP در طول دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۶) یک روند افزایشی را نشان می‌دهد (شکل ۲). در این فصل NPP با شاخص‌های نوسان قطب شمال (AO)، شاخص دمای نيمروزی چند دهه‌ای اقیانوس اطلس (AMO) و شاخص NINO3 رابطه منفی و معنی‌داری داشتند و با شاخص‌های نوسان قطب جنوب (AAO)، شاخص نوسان



شکل ۳. نمودار تغییرات فصلی تولید خالص اولیه در دوره زمانی مورد بررسی (۲۰۱۶-۲۰۰۰) در منطقه مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۵. روند تغییرات NPP در فصول مختلف در فاصله سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰ با استفاده از آزمون من کندال

فصل	زمستان	بهار	تابستان	پاییز
Z	۲/۷۶**	۰/۳۳	۱/۷۳	۲/۳۵*

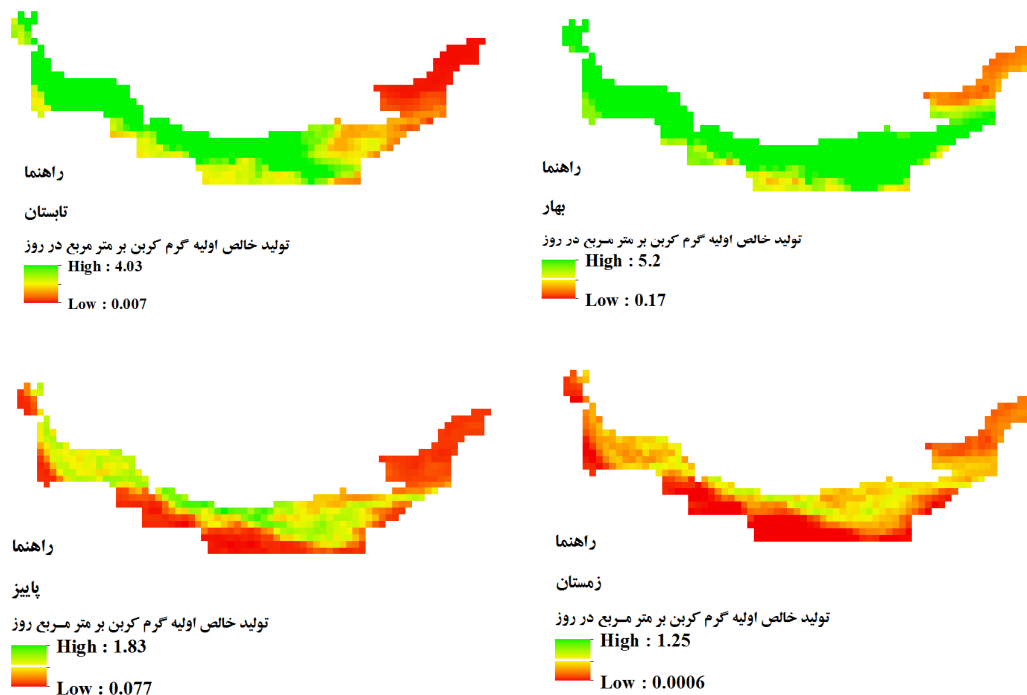
** و * به ترتیب معنی‌دار در سطح یک و پنج درصد

روند تغییرات زمانی و مکانی تولید خالص اولیه و رابطه آن با نوسانات اقیانوسی اتمسفری در فاصله سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰ در منطقه شمال ایران پرداخته شد. نتایج نشان داد که در سال‌های اولیه بازه زمانی مورد مطالعه روند تولیدات نسبت به سال‌های انتهایی دوره کمتر بوده است. علیجانی و بابایی (۲) و دوستان (۱۶) در مطالعاتی که به منظور تحلیل خشکسالی ایران انجام دادند، به ترتیب بیان کردند که در فاصله سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۷۶ و ۲۰۱۰-۱۹۶۱ قسمت‌های شمالی ایران خشکسالی‌های متفاوتی را تجربه کرده است. از طرف دیگر بازگیر و همکاران (۸) در تحلیل داده‌های دما و بارش در ایران بیان کردند که در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۶۰ روند بارشی در ایستگاه‌های شمالی ایران افزایشی بوده است. روند تغییرات نشان داد که NPP در فصول پاییز و زمستان در سال‌های مورد مطالعه افزایشی و معنی‌دار بوده و در فصول بهار و تابستان روند معنی‌داری نداشته است. این مسئله ممکن است به افزایش سطح زیر کشت گیاهانی مانند مرکبات مربوط باشد که در زمستان حالت سبز دارند و با توجه به خزان‌کردن سایر درختان

رابطه افزایشی با میزان NPP نشان داد. با توجه به مقادیر آزمون من کندال (جدول ۵) مشخص شد تغییرات میانگین فصلی NPP در فصول زمستان و پاییز دارای روند افزایشی و معنی‌دار بوده ولی در فصول بهار و تابستان روند معنی‌داری از خود نشان نمی‌دهد. همچنین در شکل ۴ نقشه‌های میانگین تولید خالص اولیه در طول دوره آماری مورد مطالعه نمایش داده شده که نشان‌دهنده تغییرات مقدار NPP در فصول مختلف است.

بحث و نتیجه‌گیری

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 (۵۴). در این مطالعه به بررسی



شکل ۴. میانگین تولید خالص اولیه (گرم کربن در متر مربع در روز) در فصول مختلف در طی دوره آماری مورد مطالعه (۲۰۱۶-۲۰۰۰) (رنگی در نسخه الکترونیکی)

داده شده که این شاخص‌ها می‌توانند به صورت تأخیرهای خاص -مثلاً از یک تا چند ماه- بر تولید خالص اولیه اثر داشته باشند. در تحقیق حاضر نیز بعضی روابط به صورت هم‌زمان مؤثر نبود ولی به صورت غیرهم‌زمان معنی‌دار شدند. نتایج تحقیقات گذشته نشان داده که شاخص‌های پیوند از دور باعث تغییر در سیستم الگوی آب‌های اقیانوسی و به طور خاص باعث گرم شدن سیستم اقیانوسی می‌شود (۴). بنابراین در مقیاس جهانی، نوسانات اقیانوسی اتمسفری تأثیر قابل توجهی بر تغییرات اقلیمی دارد که این خود باعث تغییرات شرایط اکوسیستم می‌شود. گونگ و شی (۲۲) بیان کردند که سیستم‌های اقلیمی بزرگ مقیاس مانند ENSO و AO باعث تأثیر قابل توجهی بر شرایط اقلیمی در فصول مختلف می‌شود که این شرایط در تغییرات دمایی بهار به خوبی نمایان است و در نتایج این مطالعه نیز مشاهده شد. بر اساس مطالعه پوودا و همکاران (۳۸)، اثرات فصلی انسو باعث افزایش بارش و رطوبت خاک و تقویت رطوبت خاک‌های ضعیف شده و کلیه این عوامل،

جنگلی در زمستان، حضور این گیاهان می‌تواند باعث افزایش معنی‌دار NPP در زمستان و پاییز شده باشد. بررسی رحیمی و رحیمی داشلی برون (۴۰) در سال ۱۳۹۳ نشان داد که کاربری اراضی جنگلی و مرتعی در شمال ایران بیشتر به کاربری زراعی تبدیل شده و در این فرایند، ۵۸۷۰۰۳ هکتار از جنگل‌ها و مراتع با پوشش انبوه به کاربری زراعی و سایر کاربری‌ها تبدیل شده که این خود باعث افزایش NPP در فصل‌های مختلف شده است. ژانگ و همکاران (۵۳) در سال ۲۰۱۴ بیان کردند که NPP به شدت تحت تأثیر عوامل اقلیمی مانند میزان بارش، دما و انرژی تابشی دریافتی از خورشید است که در شمال رشته‌کوه البرز در فصل بهار و تابستان این شرایط مهیاست به طوری که روزهای تابستان گرم و مرطوب بوده و درجه حرارت و میزان تابش خورشیدی نسبت به فصول دیگر بیشتر است. این در حالی است که بعضی از مطالعات در نقاط مختلف دنیا کاهش (۴۸) و برخی دیگر افزایش پوشش گیاهی را بیان کرده‌اند (۵۰). همچنین در مطالعات روغنی (۴۳) و محمدرضایی (۳۱) نشان

گرفت که به‌خوبی تأثیرپذیری تولیدات گیاهی را از پارامترهای اقلیمی نشان داد. این اطلاعات در احیای بوم‌شناختی، سیاست‌گذاری و مدیریت پوشش گیاهی بسیار مفید خواهد بود.

شرایط محیط را برای رشد گیاه فراهم می‌کند که این امر باعث افزایش تولید گیاه و پوشش گیاهی می‌شود. در این مطالعه چارچوبی برای بررسی رابطه بین اثرات پدیده‌های اقیانوسی اتمسفری و NPP در شمال رشته کوه البرز مورد استفاده قرار

منابع مورد استفاده

1. Abdi, A., A. Vrieling, G. Yengoh, A. Anyamba, J. Seaquist, C. Ummenhofer and J. Ardö. 2016. The El Niño -La Niña cycle and recent trends in supply and demand of net primary productivity in African drylands. *Climatic Change* 138: 111-125.
2. Alijani, B. and O. Babaei. 2009. Spatial analysis of short-term droughts in Iran. *Geography and regional planning* 109-121. (In Farsi)
3. Anyamba, A. and J. R. Eastman. 1996. Interannual variability of NDVI over Africa and its relation to El Niño/Southern Oscillation. *Remote Sensing* 17(13): 2533-2548.
4. Anyamba, A., C. J. Tucker, J. Compton and R. Mahoney. 2002. From El Niño to La Niña: vegetation response patterns over east and southern Africa during the 1997–2000 period. *Journal of climate* 15(21): 3096-3103.
5. Bala, G., J. Joshi, R. K. Chaturvedi, H. V. Gangamani, H. Hashimoto and R. Nemani. 2013. Trends and variability of AVHRR-derived NPP in India. *Remote Sensing* 5: 810-829.
6. Bao, G., A. Tuya, S. Bayarsaikhan, A. Dorjsuren, U. Mandakh, Y. Bao, C. Li and B. Vanchindorj. 2020. Variations and climate constraints of terrestrial net primary productivity over Mongolia. *Quaternary International* 537: 112-125.
7. 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(3): 1247-1255.
8. Bazgir, S., F. Abbasi, E. Asadi Oskoei, M. Haghghat and P. Rezazadeh. 2019. Homogeneity analysis of temperature and precipitation with a climatic approach in Iran. *Journal of Spatial Analysis Environmental hazards* 1(6): 51-70. (In Farsi)
9. Brown, M. E., K. de Beurs and A. Vrieling. 2010. The response of African land surface phenology to large scale climate oscillations. *Remote Sensing of Environment* 114(10): 2286-2296.
10. Buermann, W., B. Anderson, C. J. Tucker, R. Dickinson, W. Lucht, C. Potter and R. B. Myneni. 2003. Interannual covariability in Northern Hemisphere air temperatures and greenness associated with El Niño-Southern Oscillation and the Arctic Oscillation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 108(D13): 1-16.
11. Cai, W., S. Borlace, M. Lengaigne, P. Van Rensch, M. Collins, G. Vecchi and L. Wu. 2014. Increasing frequency of extreme El Niño events due to greenhouse warming. *Nature climate change* 4(2): 111-116.
12. Cobb, K. M., N. Westphal, H. R. Sayani, J. T. Watson, E. Di Lorenzo, H. Cheng, R. L. Edwards and C. D. Charles. 2013. Highly variable El Niño–Southern Oscillation throughout the Holocene. *Science* 339(6115): 67-70.
13. Cramer, W., D. W. Kicklighter, A. Bondeau, B. Moore Iii, G. Churkina, B. Nemry and A. L. Schloss. 1999. Comparing global models of terrestrial net primary productivity (NPP): overview and key results. *Global change biology* 5(S1): 1-15.
14. Day, F. P. and C. D. Monk. 1977. Net primary production and phenology on a southern Appalachian watershed. *American Journal of Botany* 64(9): 1117-1125.
15. Dezfuli, A. K., M. Karamouz and S. H. Araghinejad. 2010. On the relationship of regional meteorological drought with SOI and NAO over southwest Iran. *Theoretical and Applied Climatology* 100: 57-66.
16. Doustan, R. 2015. Analysis of the Iran droughts in the past half century. *Journal of Climate Research* 6(23-24): 106-107. (In Farsi)
17. Eisfelder, C., I. Klein, M. Niklaus and C. Kuenzer. 2014. Net primary productivity in Kazakhstan, its spatio-temporal patterns and relation to meteorological variables. *Journal of Arid Environments* 103: 17-30.
18. Gao, Y., X. Zhou, Q. Wang, C. Wang, Z. Zhan, L. Chen, J. Yan and R. Qu. 2013. Vegetation net primary productivity and its response to climate change during 2001–2008 in the Tibetan Plateau. *Science of the Total Environment* 444: 356-362.
19. Ghasemi, A. R. 2003. Meteorological drought in Iran and its association with the El Niño Southern Oscillation and Caspian Sea surface temperature. MSc Thesis, Shiraz University, Shiraz.
20. Ghasemi, A. R. and D. Khalili. 2006. The influence of the Arctic oscillation on winter temperature in Iran.

- Theoretical and Applied Climatology* 85: 149-164.
21. Ghasemi, A. R. and D. Khalili. 2008. The association between regional and global atmospheric pattern and winter precipitation in Iran, *Atmospheric Research* 88: 116-133.
 22. Gong, D. Y. and P. J. Shi. 2003. Northern hemispheric NDVI variations associated with large-scale climate indices in spring. *International Journal of Remote Sensing* 24(12): 2559-2566.
 23. Hashimoto, H., R. R. Nemani, M. A. White, W. M. Jolly, S. C. Piper, C. D. Keeling, R. B. Myneni and S. W. Running. 2004. El Niño-Southern Oscillation-induced variability in terrestrial carbon cycling. *Journal of Geophysical Research* 109(D23110): 1-8.
 24. Keeling, C. D., J. F. S. Chin and T. P. Whorf. 1996. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO₂ measurements. *Nature* 382(6587): 146-149.
 25. Khatibi, R. 2016. Bioclimatic classification of Iran by multivariate statistical methods, PhD thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi)
 26. Lehuger, S., B. Gabrielle, P. Cellier, B. Loubet, R. Roche, P. Béziat, E. Ceschiad and M. Wattenbach. 2010. Predicting the net carbon exchanges of crop rotations in Europe with an agro-ecosystem model. *Agriculture, ecosystems & environment* 139(3): 384-395.
 27. Li, J., S-P. Xie, E. R. Cook, M. S. Morales, D. Christie, N. Johnson, F. Chen, R. D. Arrigo, A. Flower, X. Gou and K. Fang. 2013. El Niño modulations over the past seven centuries. *Nature Climate Change* 3(9): 822-826.
 28. Li, J., Y. Shi Yong and L. Liu. 2020. Determining the dominant factors determining the variability of terrestrial ecosystem productivity in China during the last two decades. *Land Degradation & Development* 31(15): 2131-2145.
 29. Lin, H., Q. Feng, T. Liang and J. Ren. 2013. Modelling global-scale potential grassland changes in spatio-temporal patterns to global climate change. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 20(1): 83-96.
 30. McCabe, G. J., T. R. Ault, B. I. Cook, J. L. Betancourt and M. D. Schwartz. 2012. Influences of the El Niño Southern Oscillation and the Pacific Decadal Oscillation on the timing of the North American spring. *International Journal of Climatology* 32(15): 2301-2310.
 31. Mohammadrezaei, M. 2017. Impact assessment of ocean-atmospheric indicators on drought in Iran, MSc Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
 32. Nemani, R. R., C. D. Keeling, H. Hashimoto, W. M. Jolly, S. C. Piper, C. J. Tucker, R. B. Myneni and S. W. Running. 2003. Climate-driven increases in global terrestrial net primary production from 1982 to 1999. *Science* 300(5625): 1560-1563.
 33. Osareh, M. J. and S. J. Seyed Akhlaghi. 2009. Strategic plan of research development in natural resources of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. (In Farsi)
 34. Peng, D., J. Huang, A. R. Huete, T. Yang, P. Gao, Y. Chen, H. Chen, J. Li and Z. Liu. 2010. Spatial and seasonal characterization of net primary productivity and climate variables in southeastern China using MODIS data. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B* 11(4):275-285.
 35. Piao, S., J. Fang and J. He. 2006. Variations in vegetation net primary production in the Qinghai-Xizang Plateau, China, from 1982 to 1999. *Climatic Change* 74(1): 253-267.
 36. Potter, C., S. Klooster, R. Myneni, V. Genovese, P. N. Tan and V. Kumar. 2003a. Continental-scale comparisons of terrestrial carbon sinks estimated from satellite data and ecosystem modeling 1982–1998. *Global and Planetary Change* 39(3): 201-213.
 37. Potter, C., S. Klooster, R. Myneni, V. Genovese, P. N. Tan and V. Kumar. 2003b. Continental-scale comparisons of terrestrial carbon sinks estimated from satellite data and ecosystem modeling 1982–1998. *Global and Planetary Change* 39(3-4): 201-213.
 38. Poveda, G., A. Jaramillo, M. María Gil, N. Quiceno and R. Mantilla. 2001. Seasonally in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water Resources Research* 37: 2169–2178.
 39. Power, S., F. Delage, C. Chung, G. Kociuba and K. Keay. 2013. Robust twenty-first-century projections of El Niño and related precipitation variability. *Nature* 502(7472): 541-545.
 40. Rahimi, D. and Y. Rahimi Dashliborun. 2016. Investigation of the effect of climate change and land use on floods in North of Iran. *Geography and Environmental Planning* 61(1): 89-101. (In Farsi).
 41. Rezaei, S. R. 2009. Landscape of natural resources and watersheds of Iran. Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran. (In Farsi).
 42. Richardson, A. D., T. A., Black, P. Ciais, N. Delbart, M. A. Friedl, N. Gobron and S. Luysaert. 2010. Influence of spring and autumn phenological transitions on forest ecosystem productivity. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B, Biological Sciences* 365(1555): 3227-3246.
 43. Roghani, R. 2011. Investigating Iran's rainfall variations using ocean-atmospheric indices, MSc Thesis. Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran. (In Farsi)
 44. Roxburgh, S. H., S. L. Berry, T. N. Buckley, B. Barnes and M. L. Roderick. 2005. What is NPP? Inconsistent

- accounting of respiratory fluxes in the definition of net primary production. *Functional Ecology* 19(3): 378-382.
45. Vecchi, G. A., A. Clement and B. J. Soden. 2008. Examining the tropical Pacific's response to global warming. *Eos* 89(9): 81-83.
46. Vicente-Serrano, S. M., N. Delbart, T. Le Toan and M. Grippa. 2006. El Nino–Southern Oscillation influences on the interannual variability of leaf appearance dates in central Siberia. *Geophysical Research Letters* 33(3): 1-4.
47. Wang, B., H. H. Shugart and M. T. Lerdau. 2019. Complexities between plants and the atmosphere. *Nature Geoscience* 12(9): 693-694.
48. Wang, L., Y. Wei and Z. Niu. 2008. Spatial and temporal variations of vegetation in Qinghai Province based on satellite data. *Journal of Geographical Sciences* 18(1): 73-84.
49. Xu, K., L. He, H. Hu, Z. Wang, M. Lin, S. Liu, Y. Du, Y. Li and G. Wang. 2019. Indirect effects of water availability in driving and predicting productivity in the Gobi desert. *Science of the Total Environment* 697(133952): 1-8.
50. Xu, W., S. Gu, X. Zhao, J. Xiao, Y. Tang, J. Fang and S. Jiang. 2011. High positive correlation between soil temperature and NDVI from 1982 to 2006 in alpine meadow of the Three-River Source Region on the Qinghai-Tibetan Plateau. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 13(4): 528-535.
51. Yang, M., W. Zhu, Y. Pan, D. Yu and Z. Long. 2005. Spatio-temporal distribution of net primary productivity along the Northeast China transect and its response to climatic change from 1982 to 2000. In: Proceedings of IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Seoul, South Korea. Volume 2, pp. 1318-1321.
52. Zhang, K., J. S. Kimball, K. C. McDonald, J. J. Cassano and S. W. Running. 2007. Impacts of large-scale oscillations on pan-Arctic terrestrial net primary production. *Geophysical Research Letters* 34(21): 1-5.
53. Zhang, Y., C. Song, K. Zhang, X. Cheng, L. E. Band and Q. Zhang. 2014. Effects of land use/land cover and climate changes on terrestrial net primary productivity in the Yangtze River Basin, China, from 2001 to 2010. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences* 119(6): 1092-1109.
54. 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.

Investigating the Effects of Teleconnection Indices on Net Primary Production in the North of Iran's Alborz Mountains

S. M. Araghi Shahri¹, S. Soltani^{1*}, M. Tarkesh¹ and S. Pourmanafi²

(Received: February 18-2020; Accepted: August 23-2020)

Abstract

One of the main scientific topics on the effects of global climate change is to assess changes in the carbon cycle in rangelands. Net Primary Production (NPP) is an important component of this cycle, in terms of carbon storage, and a key indicator for assessing the ecosystem function. This research aimed to investigate the correlation between NPP and ocean-atmospheric oscillations, monthly and seasonally, from 2000 to 2016 in the north of Iran's Alborz Mountains. Net Primary Production of terrestrial vegetation was extracted from MODIS data and used in a model along with ocean-atmospheric oscillations. Multivariate regression analysis was used to investigate the simultaneous and lagged status in different timescales. Mann-Kendal test was used for trend analysis in different seasons over the studied period. Results showed that the highest NPP values were 2.06 and 1.30 g C m⁻² d⁻¹ in spring and summer and the lowest were 0.68 and 0.55 g C m⁻² d⁻¹ in autumn and winter, respectively. The trend of NPP variations was significantly different in autumn and winter. Overall, it was showed that NPP was affected by climatic variables, especially precipitation, and variables related to ENSO indicator are the main factors affecting precipitation, thereby affecting NPP in the north of Iran.

Keywords: Ocean-Atmospheric Oscillations, Multivariate Regression, ENSO, Trend Analysis, Mann-Kendal, Remote Sensing

1. Department of Rangeland and watershed, Faculty of Natural Resources, Isfahan university of Technology, Esfahan, Iran.

2. Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Isfahan university of Technology, Esfahan, Iran.

*: Corresponding Author, Email: ssoltani@cc.iut.ac.ir