



دوره ۳۴، شماره ۱، شماره ۱ پیاپی ۱۳۰، بهار ۱۴۰۰، صفحه‌های ۴۱-۵۸

شناسه دیجیتال: 10.22092/wmej.2020.342030.1317

پژوهش‌های آبخزرداری

پایش تخریب سرزمین و بیابان‌زایی منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک با تاکید بر پاسخ تولید ناخالص اولیه به متغیرهای اقلیمی در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ در استان فارس

هادی اسکندری دامنه

دانشجوی دکترای بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران
حمید غلامی

(نویسنده‌ی مسئول)* دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران

رسول مهدوی

دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده‌ی کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران

اسداله خورانی

دانشیار گروه جغرافیا، دانشکده‌ی علوم انسانی، دانشگاه هرمزگان، ایران

چونران لی

دانشیار گروه علوم زمین، دانشگاه تولسا، اوکلاهاما

*رایانامه‌ی نویسنده‌ی مسئول: Hgholami@hormozgan.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۹ بهمن ۱۳۹۸ تاریخ پذیرش: ۳۰ شهریور ۱۳۹۹

چکیده

محاسبه‌ی دقیق تغییر کربن در بوم‌سامانه‌های مختلف ممکن است شاخصی کلیدی در برآورد کردن تغییر تخریب زمین در جهان باشد. هدف از این تحقیق، بررسی روند تخریب زمین با بررسی کردن روند تغییر شاخص تولید ناخالص اولیه، سنجه‌های اقلیمی (دما و بارش) و ارتباط این شاخص با داده‌های اقلیمی در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ در کاربری‌های مختلف استان فارس است. داده‌های تولید ناخالص اولیه از سنجنده‌ی مودیس ۸ روزه MOD17A2 سالانه استخراج، و داده‌های اقلیمی از ۱۵ ایستگاه منطقه با روش درون‌یابی تهیه کرده شد. شیب تغییر شاخص‌های تولید ناخالص اولیه، دما و بارندگی و همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و دما و بارش در هر کاربری بررسی شد. نتیجه نشان داد که بیش‌ترین درصد تولید ناخالص اولیه به‌ترتیب در کاربری‌های بوته‌زار، زمین کشاورزی، زمین لخت، علفزار، منطقه‌ی مسکونی، و بستر آبی است. بررسی شیب تغییر نشان داد که در حالت کلی روند تغییر تولید ناخالص اولیه در این دوره‌ی ۱۷ ساله افزایشی، اما روند دما و بارش به‌ترتیب افزایشی و کاهش‌ی بود. دلیل آن را می‌توان بهره‌گیری کشاورزان از منابع آب زیرزمینی برای تامین آب کشاورزی، و در نتیجه افزایش تولید ناخالص اولیه دانست. درصد تغییر تولید ناخالص اولیه، دما، و بارش در کاربری‌های مختلف در بازه‌ی زمانی بررسی شده نشان داد که روند تغییر مثبت تولید ناخالص اولیه در کاربری زمین لخت ۷۸/۲۴٪، زمین کشاورزی ۵۴/۳۲٪، علفزار ۸۱/۱۴٪، بوته‌زار ۸۹/۸۵٪ و در ساوانا ۱۰۰٪ بود، در حالی که روند افزایش دما و کاهش بارندگی در بیش‌تر کاربری‌ها دیده می‌شود. براساس نتیجه‌های رابطه‌ی همبستگی در زمین‌های لخت، ساوانا و بوته‌زار بیش‌تر از بارش، و زمین‌های کشاورزی و علفزارها از دما تأثیر گرفته است. در حالت کلی افزایش در تولید ناخالص اولیه در زمین‌های کشاورزی بر پایه‌ی افزایش دما و کاهش بارندگی نشان‌دهنده‌ی ایجاد شدن شرایط برای تخریب زمین و بیابان‌زایی است.

واژگان کلیدی: تولید ناخالص اولیه، سنجنده‌ی مودیس، شیب تغییر، متغیرهای اقلیمی، همبستگی

مقدمه

تخریب زمین یکی از آسیب‌های زیست‌محیطی بسیار مخرب در سراسر جهان است که باعث کاهش یافتن تولید در بیوم‌ها و پوشش گیاهی در کاربری‌های مختلف شده که مستقیماً بر کیفیت زندگی بشر و محیط‌زیست آن اثر گذاشته است (اسکندری-دامنه و همکاران ۲۰۱۸؛ مسعودی و همکاران ۲۰۱۸). براساس تعریف کمیته‌ی مقابله با بیابان‌زایی سازمان ملل تخریب زمین مشکل جدی زیست‌محیطی در سراسر جهان است که از تغییر اقلیم و فعالیت‌های انسان منشا می‌گیرد (خسروی و همکاران ۲۰۱۷؛ زو و همکاران ۲۰۱۹؛ داویک و همکاران ۲۰۱۵). توسعه‌ی اقتصادی و پی‌رو آن افزایش جمعیت و گرم‌شدن جهان که عمدتاً ناشی از انتشار مقدار زیاد دی‌اکسید کربن است (بیا و همکاران ۲۰۰۸)، شرایط را وخیم‌تر و آسیب‌پذیری محیط را به تخریب زمین و بیابان‌زایی زیاد می‌کند (واکا و همکاران ۲۰۱۴). تخریب زمین فرآیندی چندبعدی است که ممکن است از جنبه‌های مختلفی مانند تغییر کاربری زمین (نزیبدل و همکاران ۲۰۱۸)، تخریب خاک (کیسترا و همکاران ۲۰۱۸) و تغییر ذخیره‌ی کربن (گانگ و همکاران ۲۰۱۹) بررسی شود. گیاهان با فتوسنتز و تنفس نقش مهمی در ذخیره‌کردن کربن ورودی به چرخه‌ی کربن نیوار (اتمسفر) دارند (تونگ و همکاران ۲۰۱۹؛ هانتینگفورد و همکاران ۲۰۱۷). تولید ناخالص اولیه کل مقدار کربنی است که در فرآیند فتوسنتز در گیاهان تولید می‌شود؛ این مقدار کربن متغیر مهمی در چرخه کربن جهانی است (لیو و همکاران ۲۰۱۴؛ وو و همکاران ۲۰۰۹). محصول گیاهی معمولاً با برآورد کردن تولید ناخالص اولیه اندازه‌گرفته می‌شود (روچیرس و همکاران ۲۰۱۷)، زیرا مقدار کل کربوهیدرات‌هایی است که در پوشش گیاهی تجمع یافته است (گیتیلسون و همکاران ۲۰۱۲). این حقیقت نشان‌دهنده‌ی اهمیت شاخص تولید ناخالص اولیه در ارزیابی کردن اثر تغییر اقلیم بر تولید گیاهی و در نهایت تخریب زمین است.

در دهه‌های اخیر روش‌های مختلفی برای برآورد تولید ناخالص اولیه به کار گرفته شده است، که تمرکز آن‌ها بر این است که پاسخ پوشش گیاهی به متغیرهای اقلیمی جهانی را بدست آورند (یان و همکاران ۲۰۱۵؛ ژانگ و همکاران ۲۰۱۸). بیش‌تر این روش‌ها بر پایه‌ی شبیه‌سازی کارایی مصرف نور و شبیه‌سازی فتوسنتز گیاهان است، که پایه‌ی آن‌ها شبیه‌سازی کردن تولید گیاهان با سنجه‌هایی مانند مصرف نور، دما، رطوبت خاک و فشار بخار است (لی و همکاران ۲۰۱۶؛ وو و همکاران ۲۰۱۰؛ مونته ۱۹۷۲). امروزه برای پایش کردن تأثیرپذیری بوم‌سامانه‌های گیاهی از تغییر محیطی، علوم و ابزارهای جدید مانند داده‌های مبنی بر سنجش‌ازدور و سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی که ابزاری قدرتمند

برای پایش این اثرپذیری است، به کار گرفته می‌شود (اسکندری دامنه و همکاران ۲۰۱۹). از آن‌جا که تخریب زمین باعث تغییر در پوشش گیاهی، عمل کرد بوم‌سامانه و شرایط محیطی سطح زمین می‌شود، می‌توان مستقیماً با ماهواره‌های سنجش‌ازدور میزان تغییر پوشش گیاهی را پایش (والندن و همکاران ۲۰۰۱). تغییر در سطح زمین و خصوصیت‌های آن با تغییر در بازتاب‌های طیفی در نوارهای (باندهای) ماهواره‌های سنجش‌ازدور نمایان می‌شود (لیو و همکاران ۲۰۱۰). پژوهش‌های مختلف تلاش کردند تا از شاخص‌های برآوردشده با سنجش‌ازدور جنبه‌های مختلف فرآیندهای پیچیده‌ی مانند تخریب و بیابان‌زایی را ارزیابی کنند. این ارزیابی با بررسی رابطه‌ی این شاخص‌ها با سنجه‌های اقلیمی مانند دما، بارش، تبخیر تعرق و مانند آن بوده است (سیموناکس و همکاران ۲۰۰۴؛ فنشولد و همکاران ۲۰۱۳؛ لی و همکاران ۲۰۱۸؛ مو و همکاران ۲۰۱۸). سیموناکس و همکاران (۲۰۰۴) برای برآورد کردن تخریب زمین در آفریقا از شبیه‌سازی تخریب زمین و بیابان‌زایی با داده‌های سنجش‌ازدور و داده‌های اقلیمی به این نتیجه رسیدند که داده‌های سنجش‌ازدور به واقعیت زمینی نزدیک است. فنشولد و همکاران (۲۰۱۳) به ارزیابی بلندمدت تخریب زمین در ساحل آفریقا با تولید اولیه‌ی به‌دست‌آمده از داده‌های NOAA-AVHRR¹ و بارش سالانه پرداختند. نتیجه‌های آن‌ها نشان داد که با داده‌های ماهواره‌ی و اقلیمی می‌توان روند تخریب و بیابان‌زایی را به‌خوبی ارزیابی کرد. از بین داده‌های ماهواره‌ی، داده‌های سنجنده‌ی مودیس² شاخص‌های گیاهی مختلفی از محصول‌هایی مانند MOD17A2، MOD17A3 و MOD13Q1 برای پایش کردن تخریب زمین و بیابان‌زایی در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف فراهم کرده است (لی و همکاران ۲۰۱۸؛ مو و همکاران ۲۰۱۸). نتیجه‌های ماثو و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تخریب زمین با داده‌های سنجش‌ازدور سنجنده‌ی مودیس در چین نشان داد که با اطلاعات به‌دست‌آمده از این سنجنده می‌توان تغییر در پوشش گیاهی، بوم‌سامانه‌ها و شرایط محیطی مانند تخریب زمین و بیابان‌زایی را برآورد کرد. چویا و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تخریب زمین با بررسی مقدار کربن بوم‌سامانه‌ها در پاسخ به تغییر نشان دادند که با شاخص‌های تولید گیاهی به‌دست‌آمده از سنجنده‌ی مودیس می‌توان رفتار پوشش گیاهی را در برابر عامل‌های اقلیمی به‌خوبی بررسی کرد، به طوری که بارندگی و دمای متوسط باعث افزایش محصول گیاهی، و کاهش بارندگی و افزایش دما باعث کاهش مقدار کربن تولیدشده‌ی گیاه می‌شود. بررسی پاسخ بوم‌سامانه‌های خاکی به تغییر اقلیمی (وی و همکاران ۲۰۱۱) نشان داد که بین بارندگی و محصول گیاهی رابطه‌ی

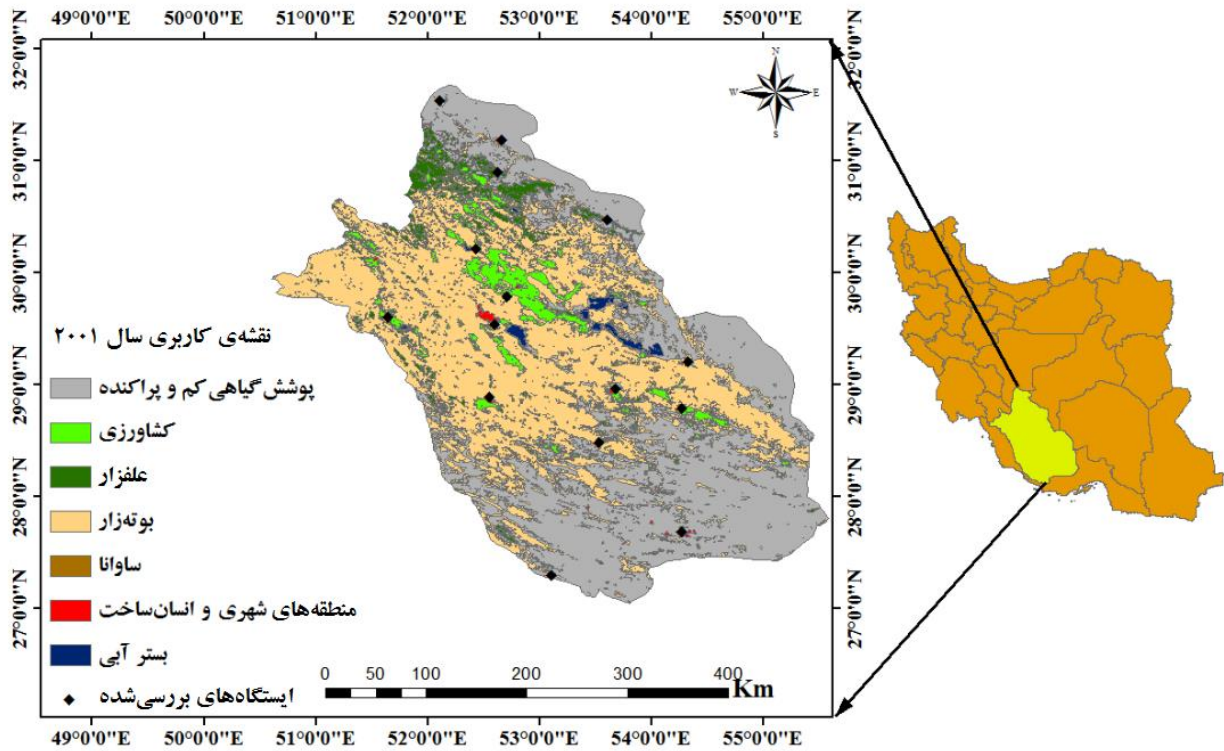
1- National Oceanic and Atmospheric Administration Advanced Very High Resolution Radiometer (NOAA- AVHRR)
2- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS)

از پهنه‌ی کشور، در مختصه‌های جغرافیایی 27° و $30'$ تا 31° و $42'$ عرض شمالی و 50° و $30'$ و 55° و $36'$ طول شرقی است. این منطقه بر اثر ویژگی‌های پستی‌بلندی، سه ناحیه‌ی آب‌وهوایی مشخص دارد. ناحیه‌ی کوهستانی در شمال، شمال غربی و غرب استان زمستان‌های سرد معتدل و پوشش گیاهی جنگلی زیاد دارد. بارندگی این ناحیه در حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال است. ناحیه‌ی مرکزی در زمستان‌ها آب‌وهوای نسبتاً معتدل همراه با بارندگی، و در تابستان‌ها هوایی گرم و خشک دارد. وضعیت آب‌وهوای این ناحیه به‌علت بارندگی نسبی در بلندی‌ها از شمال و شمال غربی کاملاً متفاوت است. باران این ناحیه بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در سال است. بارندگی در ناحیه‌ی جنوب و جنوب-شرقی به‌علت کاهش یافتن ارتفاع، پهنای جغرافیایی، و شکل جاگیری کوه‌ها، در زمستان کمتر از بهار و پاییز است (آهنی و همکاران، ۲۰۱۲)، متوسط دمای مرکز استان $16/85^{\circ}$ ، بیشینه‌ی بارندگی ماهانه‌ی آن $184/2$ میلی‌متر و کمینه‌ی آن صفر است. حدود $1/84$ میلیون هکتار، یعنی تقریباً 15% از مساحت استان بیابان و منطقه‌های رو به بیابان شدن است (ابولوردی و همکاران ۲۰۱۶). شکل ۱ نقشه‌ی کاربری زمین و موقعیت استان فارس و ایستگاه‌های بررسی شده را در کشور ایران نشان می‌دهد.

مستقیم است، به طوری که با افزایش و کاهش بارندگی مقدار کربن گیاهی در نتیجه‌ی زی‌توده و محصول گیاهی به‌ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. لیو همکاران (۲۰۱۸) در بررسی همبستگی تولید خالص اولیه و متغیرهای اقلیمی در تبت نشان دادند که بین متغیرهای اقلیمی دما و بارندگی و تولید گیاهی در 54% و 89% از نقطه‌های تصویر (پیکسل‌ها) رابطه‌ی منفی هست. بر پایه‌ی این پژوهش‌ها محصول گیاهی به تغییر محیطی حساس است و به‌خوبی توانایی نشان‌دادن روند تخریب زمین و بیابان‌زایی را دارد، و می‌توان با بهره‌گیری از محصول گیاهی به‌دست‌آمده از داده‌های مبتنی بر سنجش‌از‌دور، تخریب زمین و بیابان‌زایی را در مقیاس‌های مکانی و زمانی مختلف بررسی کرد. بنابراین هدف از این پژوهش بررسی کردن روند تخریب زمین و بیابان‌زایی با بررسی کردن پاسخ تولید ناخالص اولیه در کاربری‌های مختلف، و تحلیل کردن رابطه‌ی تولید ناخالص با سنجه‌های اقلیمی در کاربری‌های زمین مختلف استان فارس در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ است. اهمیت نسبی هر کاربری براساس مساحت در این بازه‌ی زمانی بررسی شد.

منطقه‌ی بررسی شده

استان فارس به مساحت ۱۲۲ هزار کیلومتر مربع، $7/4\%$



شکل ۱- موقعیت استان فارس در ایران، نقشه‌ی کاربری زمین (مناشی و همکاران ۲۰۱۸)، و ایستگاه‌های منطقه.

مواد و روش‌ها

پایگاه داده‌ها

داده‌های سنجش از دور

برای برآورد کردن تولید ناخالص اولیه محصول‌های سنجنده‌ی مودیس به کار گرفته شد، که مجموعه‌ی بی‌از اطلاعات در باره‌ی پوشش گیاهی را با قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسب به کاربران می‌دهد (فو و همکاران ۲۰۱۳). الگوریتم MCD17A2 به کار رفته اندازه‌های تولید ناخالص اولیه را در بازه‌ی ۸ روزه و با دقت مکانی ۵۰۰ متر فراهم می‌کند (گولبیزا و همکاران ۲۰۱۸؛ زو و همکاران ۲۰۱۹) بر پایه‌ی این که به میانگین در هر ماه ۴ محصول ۸ روزه برای تولید ناخالص اولیه داریم، مقدار تولید ناخالص اولیه‌ی ماهانه با میانگین‌گیری از این ۴ محصول برای هر ماه به دست آمد. در محاسبه‌ی تولید گیاهان رابطه‌ی ۱ برای هر نقطه‌ی تصویر MOD17 سه ورودی از محصول‌های

سنجنده‌ی مودیس شامل MCD12Q1 و MOD15A2 (به ترتیب کاربری زمین، شاخص فعال فتوسنتزی، شاخص سطح برگ و متغیرهای اقلیم) به کار گرفته می‌شود (آوانا و همکاران ۲۰۱۵؛ هینش و همکاران ۲۰۰۳).

رابطه‌ی ۱ $GPP = \varepsilon \times APAR$

APAR تشعشع فعال فتوسنتزی جذب شده و ε مقدار واقعی کارایی مصرف نور است (مناشی و همکاران ۲۰۱۸). محصول‌های سنجنده‌ی مودیس از پرکاربردترین محصول‌ها است که در پژوهش‌های بوم‌سامانه‌ها به کار گرفته می‌شود و قدرت تفکیک مکانی آن‌ها ۵۰۰ متر است. برای تعیین کردن رده‌های مختلف کاربری MOD12Q1 به کار گرفته شد (جدول ۱).

جدول ۱- کاربری‌های زمین مختلف به دست آمده از MCD12Q1.

کاربری زمین	توصیف
زمین لخت	کمتر از ۶۰٪ از مساحت بی پوشش است، مثل شن زار، صخره و خاک و منطقه‌هایی با پوشش گیاهی کمتر از ۱۰٪
کشاورزی	کمتر از ۶۰٪ از سطح زمین زیر کشت محصولات زراعی باشد
علفزار	بیشتر از گیاهان یک‌ساله با ارتفاع کمتر از ۲ متر پوشیده شده است
بوته‌زار	بیشتر از گیاهان چندساله‌ی چوبی بین ۱۰ تا ۶۰٪ با ارتفاع بین ۱-۲ متر پوشیده است
ساوانا	زمین جنگلی منطقه‌های خشک و نیمه‌خشک با ۱۰-۳۰٪ پوشش درختی که ارتفاع تاج پوشش آن‌ها بیش‌تر از ۲ متر است
منطقه‌ی مسکونی - انسان ساخت	کمتر از ۳۰٪ از سطح زمین پوشیده از ساختمان، و آسفالت راه‌های ارتباطی مانند بزرگراه‌ها است
بستر آبی	کمتر از ۶۰٪ زمین را بسترهای پوشیده از آب گرفته است

پراکندگی آن‌ها مناسب بود برای سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۱ تهیه کرده شد (هواشناسی ایران، ...). نقشه‌های رستری دما و بارندگی با روش درون‌یابی IDW^۴ در نرم‌افزار ARCGIS10.5 ساخته شد. این روش با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه، کمیت نامعلوم را به دست می‌آورد و درون‌یابی می‌کند (سلیمی و همکاران ۲۰۱۸). فرض می‌شود که نقطه‌های نزدیک به هم شباهت بیش‌تری تا نقطه‌های دور از هم دارند، بنابراین در این روش نقطه‌های نزدیک‌تر وزن بیش‌تری دارند (لیو و همکاران، ۲۰۰۸). فاصله‌ی وزنی معکوس مانند رابطه‌ی ۲ است:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{d_i^m}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^m}} \quad 2$$

محصول سنجنده‌ی مودیس با فرمت HDF است که برای سال‌های ۲۰۱۷-۲۰۰۱ از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> تهیه و پس از تصحیح و پیش‌پردازش کردن در افزونه‌ی MODIS TOOLKIT نرم‌افزار ENVI5.3 به کار گرفته شد. از آن‌جا که استان فارس در دو صفحه از تصویرهای سنجنده‌ی مودیس جا می‌گیرد، همه‌ی تصویرها در سامانه‌ی مختصات WGS84^۳ در این افزونه تصحیح هندسی کرده، و پس از کنار هم چیدن (موزاییک کردن) در قالب مرز منطقه برش داده شد.

داده‌های اقلیمی

داده‌های اقلیمی دما و بارندگی در بازه‌ی ماهانه برای ۱۵ ایستگاه منطقه (شکل ۱) که پایه‌ی زمانی آن‌ها مشترک و

3 - Universal Transverse Mercator (UTM) projection system datum World Geodetic System (WGS) 1984

4 - Inverse Distance Weighting (IDW)

نتایج

تغییر مکانی و زمانی تولید ناخالص اولیه، دما و بارندگی

بررسی متوسط ۱۷ ساله‌ی شاخص تولید ناخالص اولیه و سنجه‌های اقلیمی دما و بارش و روند تغییر متوسط سالانه‌ی آن‌ها در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ در شکل ۲ و ۳ آورده شده است. متوسط شاخص تولید ناخالص اولیه در این بازه ۱۱۱۱/۵ گرم کربن بر متر مربع در سال، و متوسط شاخص‌های اقلیمی دما و بارش به ترتیب $20/53^{\circ}$ سانتی‌گراد در سال و $244/64$ میلی‌متر در سال بود (شکل ۲). شکل ۲، الف نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار شاخص تولید ناخالص اولیه از دید پراکنش مکانی در بخش‌های مرکزی تا شمال استان فارس و اندازه‌های کم این شاخص در بخش جنوبی، شرقی و شمال شرقی استان است. از دید پراکنش زمانی بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار این شاخص به ترتیب ۱۲۸۷ و $679/3$ گرم کربن بر مترمربع در ۲۰۱۳ و ۲۰۰۴ مشاهده شد (شکل ۳-الف).

بیش‌ترین مقدار بارندگی از دید مکانی در بخش‌های شمالی تا مرکزی استان و اندازه‌های کم بارندگی در بخش‌های جنوبی تا شرقی استان دیده شد (شکل ۲-ب) که بیشینه‌ی متوسط سالانه‌ی بارندگی حدود 500 میلی‌متر در سال ۲۰۰۴ و کم‌ترین مقدار بارش $94/36$ میلی‌متر در سال ۲۰۱۰ بود (شکل ۳-ب). بیش‌ترین دما در بخش‌های جنوبی تا جنوب شرقی و کم‌ترین آن در بخش‌های شمالی تا شمال شرقی استان دیده شد (شکل ۲-ب). بیشینه‌ی متوسط دما $20/21^{\circ}$ سانتی‌گراد در ۲۰۰۴ و کمینه‌ی آن $20/02^{\circ}$ سانتی‌گراد در ۲۰۱۲ بود (شکل ۳-پ).

در بازه‌ی ۱۷ ساله روند تغییر تولید ناخالص اولیه و دما افزایشی، ولی بارش کاهش‌ی بود، اگرچه هر سه معنی‌دار نبود (شکل ۳). متوسط سنجه‌های بررسی‌شده در بازه‌ی زمانی ۱۷ ساله در کاربری‌های زمین مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. بیش‌ترین درصد مساحت در استان فارس در بوته‌زار بود (حدود $46/32\%$ از کل مساحت)، که از دید مکانی منطقه‌های غربی، مرکزی و جنوب شرقی استان را می‌پوشاند. کمینه‌ی تولید ناخالص در این کاربری ۰ و بیشینه‌ی آن $6847/22$ گرم کربن بر متر مربع در سال بود. این کاربری حدود $64/97\%$ از مساحت تولید ناخالص اولیه را در استان فارس داشت. بعد از بوته‌زار بیش‌ترین درصد مساحت منطقه زمین لخت بود (حدود $42/04\%$). بر پایه‌ی مساحت این کاربری، حدود $10/09\%$ از مقدار تولید ناخالص اولیه در این کاربری بود. بیشینه‌ی تولید ناخالص اولیه در این کاربری $4940/20$ گرم کربن بر مترمربع و کمینه‌ی تولید ناخالص اولیه حدود ۰ بود. این کاربری بیش‌تر در بخش جنوبی، شرقی و شمال شرقی استان بود.

زمین‌های کشاورزی در استان فارس بیش‌تر در بخش‌های مرکزی، شمالی تا غربی و تا حدودی جنوبی به شکل پراکنده دیده شد، و بیشینه‌ی تولید ناخالص اولیه در این کاربری $7217/36$ و کم‌ترین آن 1287 کیلوگرم بر مترمربع است. با این‌که این کاربری در حدود $4/28\%$ از مساحت کل استان بود، بیش‌ترین

Zi اندازه‌های نمونه، di فاصله‌ی اقلیدسی هر مکان تا نمونه، m عامل توان (اصطلاح نمونه) و n تعداد نقطه‌های نمونه است (چن و همکاران ۲۰۱۷).

محاسبه‌ی اهمیت نسبی شاخص تولید ناخالص اولیه در کاربری‌های زمین مختلف

برای بررسی میزان تولید ناخالص هر کاربری زمین بر پایه‌ی مساحت آن، اهمیت نسبی تولید آن کاربری زمین از نسبت بین درصد تولید ناخالص اولیه در آن به درصد مساحت آن محاسبه شد.

تحلیل آماری

برای بررسی روند تغییر نقطه‌ی تصویر شاخص تولید ناخالص اولیه و متغیرهای اقلیمی دما و بارش در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ تحلیل وایزای خطی، و بررسی تخریب زمین از رابطه‌ی بین تولید ناخالص اولیه و متغیرهای اقلیمی مانند دما و بارش تحلیل همبستگی به‌کار گرفته شد.

بررسی روند تغییر

روند تغییر شاخص تولید ناخالص اولیه و سنجه‌های اقلیمی دما و بارش برای هر نقطه‌ی تصویر با وایزای خطی در محیط IDRISI SELVA17 با رابطه‌ی ۳ شبیه‌سازی شد:

$$\theta_{slope} = \frac{n \times \sum_{j=1}^n j \times X_j - \sum_{j=1}^n j \times \sum_{j=1}^n X_j}{N \times \sum_{j=1}^n j^2 - \left[\sum_{j=1}^n j \right]^2} \quad 3$$

θ_{slope} شیب تغییر شاخص در منطقه، n سال‌های به‌کار رفته در پایش، Xi مقدار سالانه‌ی شاخص برای سال j، $\theta_{slope} > 0$ و $\theta_{slope} < 0$ به ترتیب نشان‌دهنده‌ی شیب تغییر مثبت و منفی در شاخص است (لامچین و همکاران ۲۰۱۸).

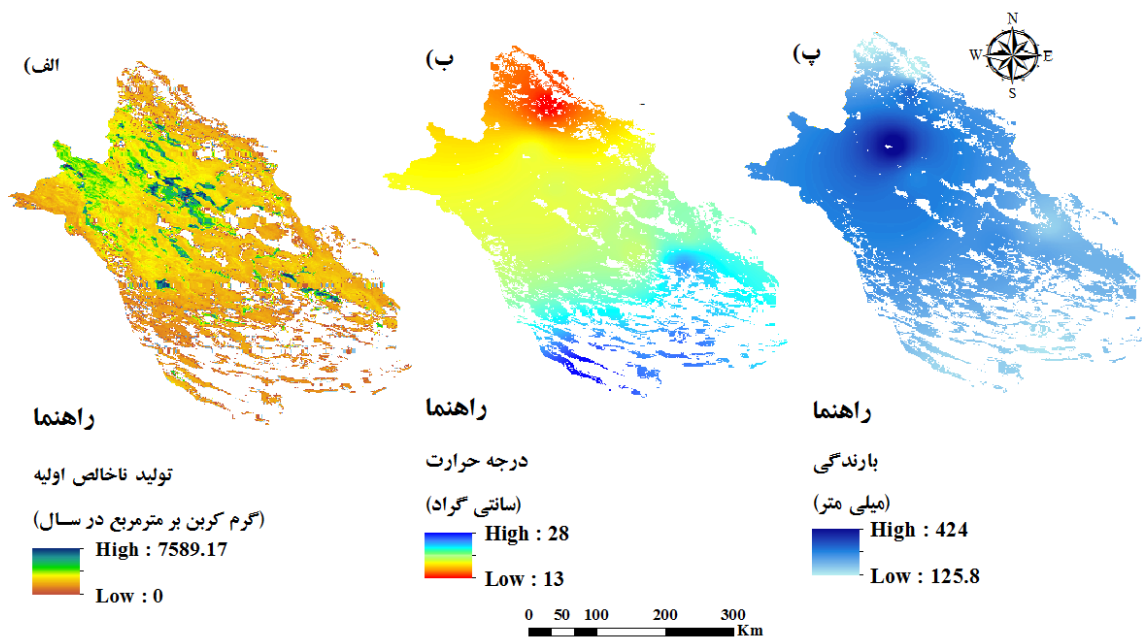
تحلیل همبستگی بین شاخص تولید گیاهی و سنجه‌های اقلیمی برای آگاهی از روند تخریب زمین، ارتباط بین تولید ناخالص اولیه و متغیرهای اقلیمی دما و بارش با تحلیل همبستگی بررسی شد (رابطه‌ی ۴). همبستگی بین تولید ناخالص اولیه با متغیرهای اقلیمی با Earth Trends Modeler (ETM) در نرم‌افزار IDRISI selva17 محاسبه شد (لامچین و همکاران ۲۰۱۸).

$$R_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad 4$$

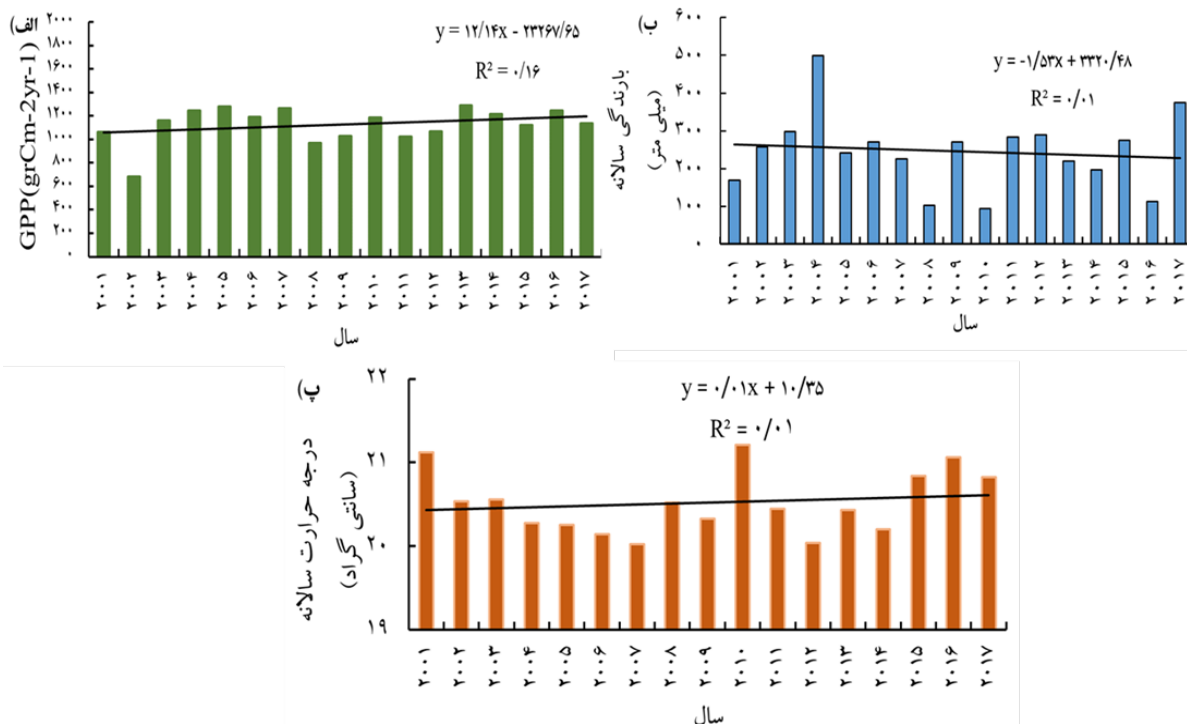
$R_{x,y}$ ضریب همبستگی ساده بین x و xi، y مقدار تولید ناخالص اولیه‌ی سال i ام، yi متغیرهای مستقل مانند بارش و دمای سال i ام، و i شماره‌ی سال‌ها است.

ناخالص اولیه را داشت. بررسی اندازه‌های متوسط ۱۷ ساله‌ی دما و بارش در کاربری‌های زمین مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است. بیش از ۹۸٪ از بارندگی به ترتیب روی بوته‌زار، زمین لخت، علفزار و زمین کشاورزی، و کم‌تر از ۲٪ مانده به ترتیب در منطقه‌های مسکونی و انسان-ساخت، بسترهای آبی و ساوانا بود. متوسط بارندگی در کاربری‌های زمین لخت، کشاورزی، علفزار، بوته‌زار، ساوانا، منطقه‌های شهری و انسان ساخت، و بسترهای آبی به ترتیب ۲۶۸/۶۴، ۲۹۰/۸۳، ۲۱۱/۷۲ و ۲۶۰/۳۶ میلی‌متر بود که بیشینه‌ی بارندگی ۴۲۳/۱۷ میلی‌متر در بوته‌زار و کمینه‌ی آن در زمین‌های لخت در این بازه‌ی زمانی دیده شد. جدول ۲ نشان می‌دهد که متوسط دما در زمین لخت، کشاورزی، علفزار، بوته‌زار، ساوانا، منطقه‌های شهری و انسان ساخت، و بسترهای آبی به ترتیب ۲۱/۷۸، ۱۹/۱۴، ۱۷/۹۲، ۱۹/۸۷، ۱۹/۲۱، ۲۰/۵۱ و ۲۱/۴۳ درجه‌ی سانتی‌گراد بود. بیش‌ترین و کم‌ترین دما در زمین لخت به ترتیب ۲۷/۹۰ و ۱۳/۵۳ درجه‌ی سانتی‌گراد دیده شد.

مقدار متوسط تولید ناخالص اولیه بعد از بوته‌زار در این کاربری بود. در کاربری علفزار نیز تولید ناخالص اولیه بین بیشینه‌ی ۷۵۸۹/۱۶ و کمینه‌ی ۰ گرم بر مترمربع در سال بود که بیش‌ترین مقدار بیشینه‌ی تولید ناخالص اولیه است، در حالی که مقدار متوسط تولید در این شاخص ۱۷۸۶/۱۲ گرم بر مترمربع است. این کاربری به طور عمده در بخش شمالی استان متمرکز شده است و حدود ۶/۱۴٪ از مساحت استان را پوشش می‌دهد ولی حدود ۹/۸۷٪ از مساحت تولید ناخالص اولیه استان بود. کاربری زمین ساوانا نیز که در بخش غربی و مرکزی استان پراکنده است حدود ۰/۰۱۷٪ از مساحت استان را گرفته و تولید ناخالص اولیه در آن ۳۳۱۴/۵۵-۲۹۶۱/۴۴ گرم کربن بر مترمربع بود. مقدار متوسط تولید ناخالص اولیه در آن حدود ۱۵۷۰۴/۴۴ گرم کربن بر مترمربع در سال بود، به طوری که حدود ۰/۰۴۹٪ از کل مساحت تولید ناخالص اولیه استان را داشت. منطقه‌های مسکونی و انسان ساخت حدود ۰/۴۱٪ از مساحت کل استان است. تولید ناخالص اولیه در این کاربری ۵۶۲۶/۱۶-۰ گرم کربن بر مترمربع در سال و مقدار متوسط آن در حدود ۳۲۴/۱۷ گرم بر مترمربع در سال است. این کاربری زمین حدود ۰/۱۲۱٪ از کل مساحت تولید



شکل ۲- متوسط تولید ناخالص اولیه (الف)، دما (ب)، و بارش (پ) در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۰۱.



شکل ۳- روند تغییر سالانه‌ی تولید ناخالص اولیه اولیه (الف)، دما (ب)، و بارش (پ) در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۰۱.

جدول ۲- اندازه‌های ۱۷ ساله‌ی متوسط تولید ناخالص اولیه در کاربری‌های مختلف زمین در ۲۰۱۷-۲۰۰۱.

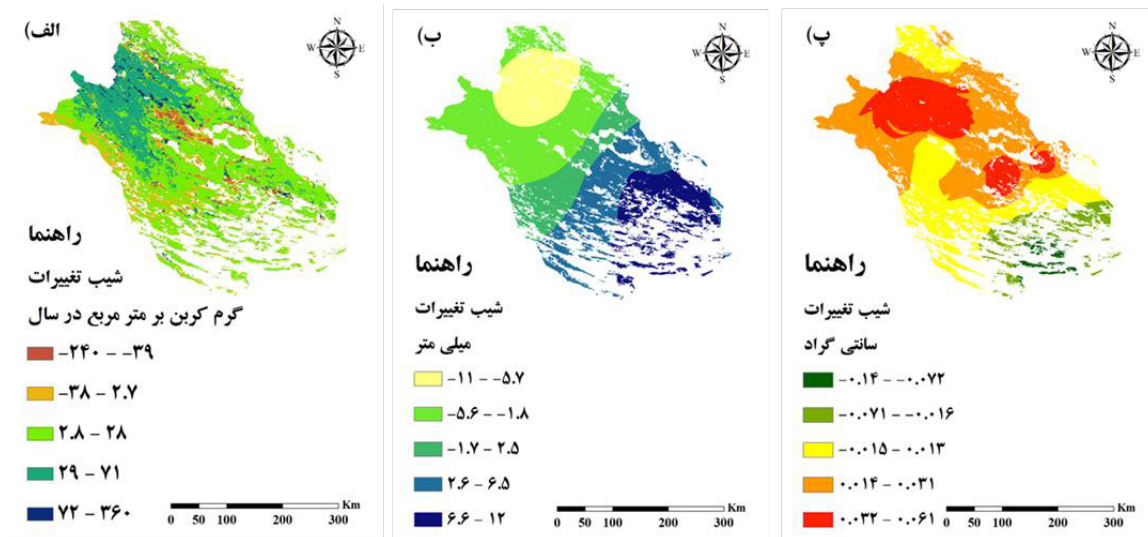
کاربری زمین	متوسط بارندگی	متوسط دما	متوسط GPP	درصد تولید ناخالص اولیه	مجموع ارزش نقطه‌های تصویر	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	اهمیت نسبی تولید GPP / (درصد مساحت)
زمین‌های لخت	۲۱۱/۷۳	۲۱/۷۹	۲۶۶/۸۹	۱۰/۰۹	۳۲۳۱۹/۳۸	۴۷/۷۳	۴۲/۰۷	۰/۱۲۴
کشاورزی	۲۹۰/۸۳	۱۹/۱۵	۳۸۷۲/۲۳	۱۴/	۴۷۸۲۲/۲۴	۴/۸۷	۴/۲۷	۳/۴۸
علف‌زار	۲۶۸/۶۵	۱۷/۹۳	۱۷۸۶/۱۲	۹/۸۷	۳۱۶۰۷/۳۱	۶/۹۷	۶/۱۵	۱/۶۱
بوته‌زار	۲۶۶/۸۰	۱۹/۸۸	۱۵۵۹/۱۰	۶۴/۹۷	۲۰۸۰۲۳۳/۶۷	۵۲/۵۹	۴۶/۳۲	۱/۴۰
ساونا	۲۷۳/۴۰	۱۹/۲۱	۳۱۴۰/۸۹	۰/۰۰۴۹	۱۵۷۰۴/۴۴	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲	۲/۸۳
منطقه‌های مسکونی-انسان‌ساخت	۲۵۰/۸۹	۲۰/۵۲	۳۲۴/۲۸	۰/۱۲	۳۸۹۴۵/۳۹	۰/۴۷	۰/۴۱	۰/۱۲۹
بسترهای آبی	۲۶۲/۰۲	۱۹/۶۲	۴/۰۱	۰/۰۰۱۴	۴۵۰۵/۲۲	۰/۸۸	۰/۷۷	۰/۰۰۳۶۸
کل				۱۰۰	۳۲۰۱۸۲/۶	۱۱۳/۵۲	۱۰۰	

۰/۱۵- سانتی‌گراد (شکل ۴-پ) بود. تغییر مثبت شاخص تولید ناخالص اولیه در ۸۴/۲۹٪ و تغییر منفی آن در ۱۵/۷۱٪ دیده شد. از طرف دیگر، تغییر منفی این شاخص بیش‌تر در بخش‌های مرکزی و به‌شکل پراکنده در بخش‌های دیگر استان دیده شد، در حالی که افزایش تولید ناخالص اولیه در بخش‌های شمالی، غربی و شرقی استان دیده می‌شود. تغییر مثبت و منفی دما به‌ترتیب در ۸۴/۳۱ و ۱۵/۶۹٪ استان و این تغییر مثبت و

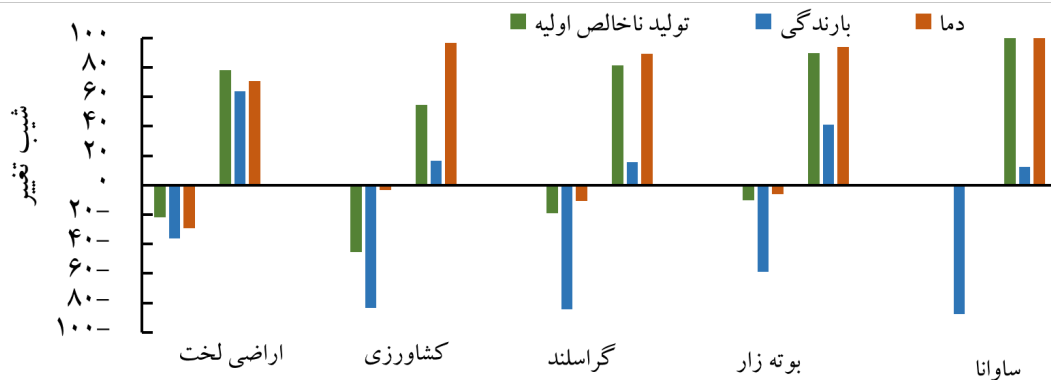
شیب تغییر تولید ناخالص اولیه، دما و بارش
 روند تغییر شاخص تولید ناخالص اولیه و سنجه‌های اقلیمی دما و بارش در شکل ۴ نشان داده شده است. در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ روند تغییر تولید ناخالص گیاهی، دما، و بارش تغییر زیادی کرد. دامنه‌ی تغییر به‌ترتیب ۳۶۰/۹۰ و ۲۳۶- گرم کربن بر مترمربع در سال (شکل ۴-الف)، تغییر بارش ۱۲/۰۹ و ۱۰/۵۵- میلی‌متر (شکل ۴-ب) و تغییر دما ۰/۰۶۱ و

و ساوانا به ترتیب ۸۱/۱۴، ۸۹/۸۵ و ۱۰۰٪ است، در حالی که روند افزایشی بارندگی و دما در این بازه‌ی زمانی به ترتیب در زمین لخت، زمین کشاورزی، علفزار، بوت‌زار و ساوانا به ترتیب ۶۰/۵، ۷۰/۸۱ و ۶/۸۵؛ ۹۶/۴۹ و ۱۶/۷۷؛ ۸۹/۳۰ و ۱۵/۶۸؛ ۹۳/۹۵ و ۸۰/۴؛ ۴۱/۰۴ و ۱۰۰؛ ۱۲/۵٪ افزایش یافت.

منفی برای بارندگی به ترتیب در ۵۸/۳۳ و ۴۱/۶۷٪ از منطقه را شامل شده است. در شکل ۵، درصد تغییر تولید ناخالص اولیه، دما و بارش در کاربری‌های زمین مختلف در بازه‌ی ۱۷ ساله نشان داده شده است. روند تغییر مثبت تولید ناخالص اولیه در زمین لخت ۷۸/۲۴٪، زمین کشاورزی ۴۰/۳۲٪، علفزار، بوت‌زار



شکل ۴- شیب تغییر تولید ناخالص اولیه، بارندگی، و دما در منطقه در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۲۱.



شکل ۵- شیب تغییر شاخص‌های تولید ناخالص اولیه، بارندگی، و دما در کاربری‌های زمین مختلف در بازه‌ی ۲۰۱۷-۲۰۲۱.

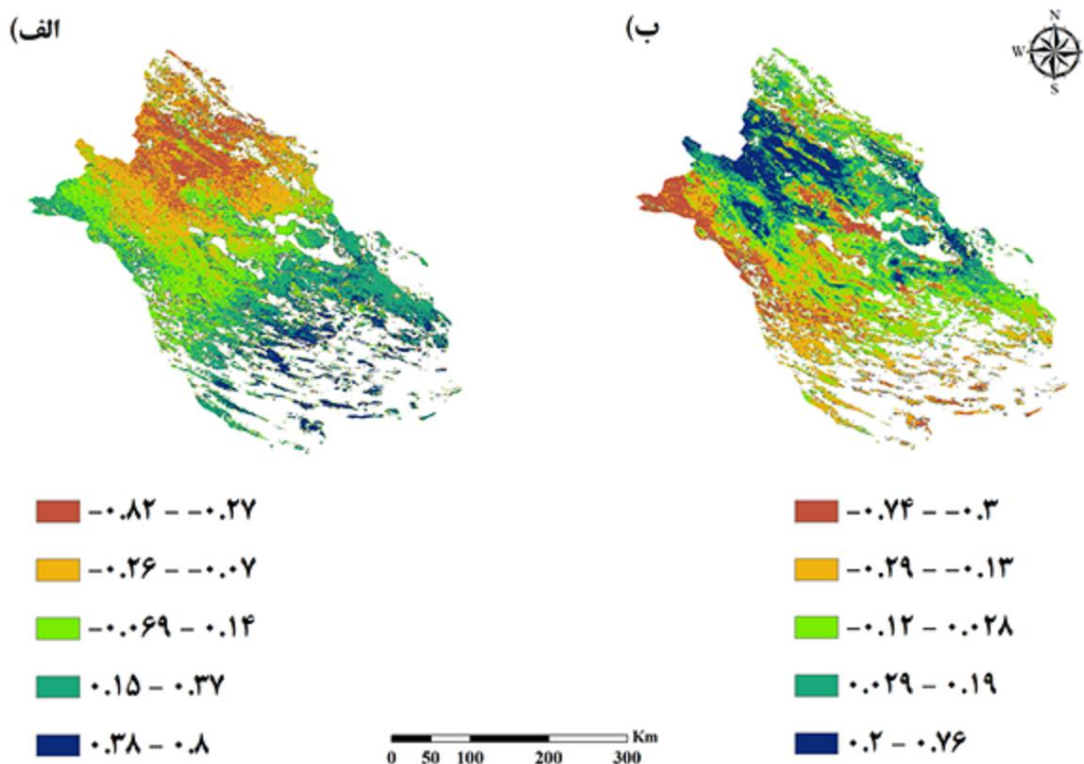
بخش‌های جنوب، غرب تا حدودی شرق و شمال غرب استان به شکل پراکنده دیده می‌شود. در حالی که همبستگی منفی بین تولید ناخالص اولیه و بارندگی در ۴۶/۶٪ استان است. ۳/۳٪ از این همبستگی منفی معنی‌دار بود، که در بخش‌های شمال، شمال شرق و در مرکزی به شکل پراکنده دیده شد. همبستگی مثبت بین شاخص تولید ناخالص اولیه و دما نیز در ۴۴/۱٪ از مساحت استان بود، ۰/۸۲٪ از این همبستگی معنی‌دار بود که بیش‌تر در بخش‌های شمال، تا حدودی مرکزی و شرق استان، و

همبستگی بین تولید ناخالص اولیه، دما و بارش

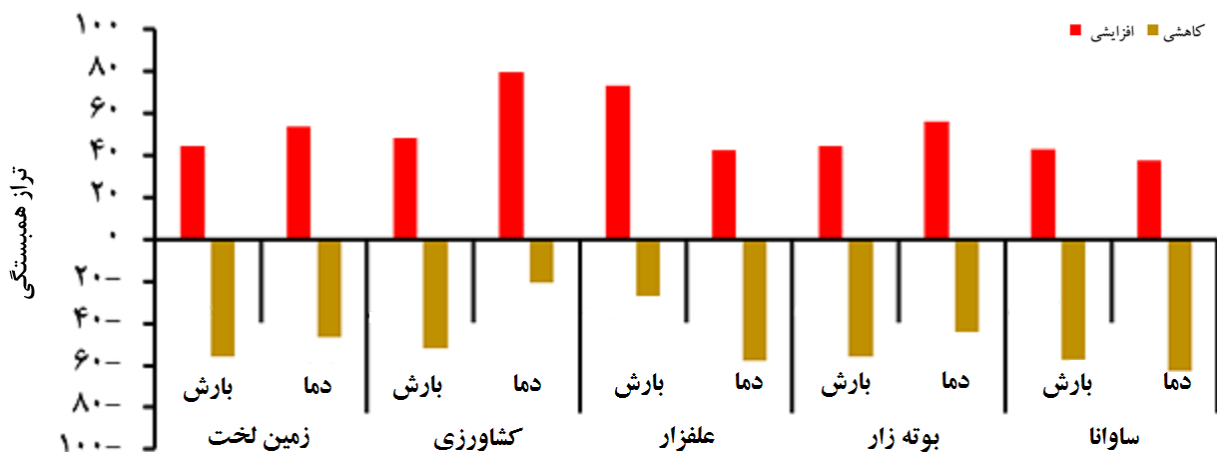
بررسی رابطه‌ی همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و دما و بارش در مقیاس سالانه در شکل ۶ نشان داده شده است. همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و بارش ۰/۸ تا ۰/۸- (شکل ۶-الف) و همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و دما ۰/۷۶ تا ۰/۷۶- (شکل ۶-ب) بود (حدود ۵۳/۴٪ از سطح استان بین تولید ناخالص اولیه و بارندگی همبستگی مثبت نشان داد. از این مقدار همبستگی حدود ۹/۵۶٪ معنی‌دار بود، که بیش‌تر در

بخش‌های غربی، شمال غرب، جنوبی و تا حدودی مرکزی استان است. همبستگی منفی بین تولید ناخالص اولیه و دما در ۵۶/۹٪ از مساحت استان دیده شد که ۴/۵۶٪ آن معنی‌دار بود. همبستگی بین سنج‌های اقلیمی و تولید ناخالص اولیه در کاربری‌های زمین مختلف در شکل ۷ نشان داده شده است. همبستگی مثبت و منفی بارش با تولید ناخالص اولیه در کاربری زمین لخت به ترتیب ۴۴/۱۵ و ۵۵/۸۵ بود که ۱۹/۷٪ و ۴/۸٪ آن معنی‌دار بود. همبستگی مثبت و منفی تولید ناخالص اولیه و دما نیز به ترتیب ۵۳/۳۰ و ۴۶/۷۰ بود که به ترتیب ۱/۱٪ و ۰/۴٪ معنی‌دار بود. بررسی رابطه‌ی همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و بارش در کاربری کشاورزی نشان داد که این همبستگی ۴۸/۰۷٪ مثبت و از این مقدار ۴٪ معنی‌دار و ۵۱/۹۳٪ منفی بود، که ۳/۳٪ معنی‌دار بود. رابطه‌ی تولید ناخالص اولیه و دما در این کاربری نیز به ترتیب ۷۹/۲۷ و ۲۰/۷۳٪ افزایش و کاهش نشان داد که

۰/۶ و ۱۳/۲٪ معنی‌دار بوده است. در کاربری علفزار همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و بارش در ۷۳/۱۱٪ مثبت بود که ۴/۹٪ معنی‌دار، و در ۲۶/۸۹٪ کاهش بود که ۵/۸٪ آن معنی‌دار بود. همبستگی تولید ناخالص و دما در این کاربری ۴۲/۳۸٪ مثبت و ۴٪ آن معنی‌دار، و ۵۷/۶۲٪ منفی و ۲/۳٪ آن معنی‌دار بود. درصد مساحتی که در کاربری بوته‌زار همبستگی مثبت و منفی با بارش نشان داد به ترتیب ۵۵/۹۲ و ۴۴/۰۸٪ بود که ۷/۷٪ و ۲/۴٪ معنی‌دار بود، ولی بین شاخص تولید ناخالص اولیه و دما در ۵۶٪ از مساحت منطقه رابطه‌ی مثبت و در ۴۴٪ منفی بود، که ۴/۸٪ و ۰/۸٪ معنی‌دار بود. در کاربری ساوانا همبستگی مثبت بین تولید ناخالص اولیه و بارش در ۵۷/۱۴٪ مساحت مثبت و در ۴۲/۸۶٪ منفی بود، در حالی که در این کاربری همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و دما در ۳۷/۵٪ از منطقه افزایشی، و در ۶۲/۵٪ از آن کاهش بود.



شکل ۶- ضریب همبستگی بین شاخص تولید ناخالص اولیه و عامل‌های اقلیمی از سال ۲۰۱۷-۲۰۰۱ استان فارس: (الف) همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و بارش، (ب) همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و دما.



شکل ۷- همبستگی بین تولیدخالص اولیه با دما و بارش در بازه‌ی ۲۰۰۱-۲۰۱۷.

شیب تغییر شاخص تولید ناخالص اولیه‌ی استان فارس نشان داد که تغییر منفی آن در $15/71\%$ از این منطقه در این بازه‌ی ۱۷ساله مشاهده شد، که کاربری عمده‌ی آن بوته‌زار و علفزار بود. بررسی روند اثر تغییر کاربری بر افت آب زیرزمینی (نصرالهی و همکاران ۱۳۹۳) نشان داد که در دوره‌ی پژوهش در گیلان غرب از درصد مساحت کاربری مرتعی کاسته و بر زمین‌های کشاورزی افزوده شده است. این تغییر موجب افزایش یافتن بهره‌گیری بیش‌تر کشاورزان از آب زیرزمینی شد، که علت آن افزایش دادن تولید به‌دنبال آن کاهش یافتن آب زیرزمینی، برداشت بی‌رویه، افزایش سطح زیرکشت و افزایش چاه‌های بهره‌برداری است (اکبری و همکاران ۱۳۸۸).

رابطه‌ی همبستگی بین تولید ناخالص اولیه و دما و بارش در کل منطقه نشان داد که بین تولید ناخالص و بارش همبستگی مثبت قوی‌تری در زمین‌های طبیعی هست، که بیانگر وابستگی بیش‌تر گیاهان به بارش (هارپر ۲۰۰۵) نسبت به دما (لی و همکاران ۲۰۱۰) در این منطقه است. از طرف دیگر در زمین‌های کشاورزی این همبستگی در بیش‌تر منطقه منفی بود. دلیل آن می‌تواند کشاورزی آبی از آب زیرزمینی باشد (کریمی و همکاران ۲۰۰۵). دلیل دیگر این همبستگی را می‌توان سازگاری گیاهان با شرایط موجود در منطقه دانست که باعث مقاوم‌تر شدن گیاهان در مقابل خشک‌سالی و کم‌بود آب شده است (لامچین و همکاران ۲۰۱۸). سان و همکاران (۲۰۱۸) در بررسی تولید ناخالص و پاسخ به سنجه‌های اقلیمی با مدل‌های مختلف در مقیاس جهانی نشان دادند که در بیش‌تر مدل‌ها تغییر تولید ناخالص اولیه از بارش تأثیر زیاد می‌گیرد و با تغییر آن رابطه‌ی مثبت دارد و این پاسخ مثبت در عرض‌های بالا و میانه و منطقه‌های استوایی قوی‌تر است.

بحث و نتیجه‌گیری

برای آگاهی از روند تخریب زمین و بیابان‌زایی در استان فارس، تغییر مکانی و زمانی شاخص تولید ناخالص اولیه و متغیرهای اقلیمی دما و بارش و رابطه‌ی آن‌ها در بازه‌ی ۲۰۰۱-۲۰۱۷ بررسی شد. روند تغییر سنجه‌های اقلیمی دما و بارش به‌ترتیب افزایش و کاهش بود و روند تولید ناخالص اولیه افزایش نشان داد. براساس گزارش گروه میان‌دولتی تغییر اقلیم^۵ نیز روند تغییر برای دما افزایش و برای بارش کاهش خواهد داشت، که با نتیجه‌های این تحقیق مطابقت دارد (IPCC ۲۰۱۳). گندمکار و دهقانی (۲۰۱۲) نشان دادند که دمای استان فارس در بازه‌ی ۲۰۱۰-۱۹۷۴ افزایش داشته و در ۲۰۱۱-۲۰۰۳ خشک‌سالی‌های شدیدی در آن روی داده است (کشاورز ۲۰۱۴). از آن‌جا که استان فارس در بازه‌ی ۱۷ساله بررسی شد، شاهد کاهش بارندگی و افزایش دما بود. این تغییر تأثیر مستقیم بر فعالیت‌های زراعی با آبیاری آب سطحی داشت، که نگرانی‌ها را در باره‌ی افزایش فشار به منابع آب نا سطحی برای افزایش دادن تولید غذا زیاد می‌کند (کریمی و همکاران ۲۰۱۰).

بررسی نشان داد که تولید ناخالص اولیه در کاربری زمین کشاورزی بر پایه‌ی این که کم‌تر از 5% از مساحت استان و کم‌تر از 6% از بارندگی را دارد حدود 16% است. این مقدار تولید در مقابل تولید نسبت به سطح کاربری‌های دیگر تاییدکننده‌ی بهره‌گیری کشاورزان از آب زیرزمینی برای تامین کردن آب کشاورزی است. این برداشت بیش از اندازه از آب زیرزمینی خود باعث آسیب رسیدن به سلامت آب‌های زیرزمینی، افت کردن آب زیرزمینی، نشست زمین، تخریب زمین و مهیا شدن شرایط برای بیابانی شدن زمین می‌شود (کریمی و همکاران ۲۰۰۵). تحلیل

همبستگی بین تولید ناخالص اولیه در کاربری‌های زمین مختلف رفتار متفاوتی نشان داد، به طوری که در کاربری‌های زمین لخت وابستگی به دما بیش‌تر از وابستگی به بارش بود، زیرا بارش این منطقه‌ها کم است و عامل محدودکننده بیش‌تر دما است. در زمین‌های کشاورزی وابستگی به دما بیش‌تر از وابستگی به بارش است، با این حال مقدار تولید این زمین‌ها نسبت به مساحت زیاد بود، زیرا آب این منطقه‌ها از آب‌های زیرزمینی تأمین می‌شود. این خود وابستگی به بارش را در این منطقه‌ها کاهش می‌دهد و سبب افزایش تولید می‌شود، و این به نوبه‌ی خود باعث تخریب زمین و بیابان‌زایی می‌شود.

در این استان کاهش تولید ناخالص اولیه بیش‌تر در اقلیم‌های نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب است. دلیل عمده‌ی آن تغییر اقلیمی ناشی از افزایش دما و کاهش بارندگی و اثرهای انسان مانند تغییر دادن کاربری است (اسکندری دامنه و همکاران ۱۳۹۸). نتیجه‌های کولرارا و همکاران (۲۰۱۷) نشان داد که بین عمق آب زیرزمینی و تولید ناخالص اولیه‌ی انواع پوشش گیاهی و سنجه‌های اقلیمی همبستگی مثبت هست. بر پایه‌ی این که کاربری علفزار بیش‌تر در بخش‌های شمالی استان فارس است و اقلیم این منطقه بیش‌تر خشک نیمه‌مرطوب است، عامل اصلی مهار کردن تولید مقدار بارش است. در کاربری بوته‌زار که بعد از زمین لخت بیش‌ترین مساحت استان را دارد و در گستره‌ی غرب تا شرق استان است، روند تغییر تولید خالص اولیه مطابق با افزایش دما بود زیرا اقلیم این منطقه‌ها بیش‌تر نیمه‌خشک تا مرطوب است. لامچین و همکاران (۲۰۱۸) و چین و همکاران (۲۰۱۶) در بررسی پوشش گیاهی و اثر سنجه‌های اقلیمی نشان دادند که در دوره‌ی پژوهش روند دما و بارش به ترتیب افزایشی و کاهش‌ی بود و روند پوشش نیز افزایش یافت، و افزایش دما باعث شروع زودرس فصل رویش در منطقه‌های خشک نیمه‌مرطوب می‌شود (پیدرسون و همکاران ۲۰۱۱).

اگر شرایط رطوبتی خاک مناسب رشد بیش‌تر باشد باعث افزایش تولید می‌شود (بن و همکاران ۲۰۱۳). پژوهش‌ها نشان داده است که مقدار آب درون خاک می‌تواند به‌جای بارندگی

با مهار کردن عامل‌های محیطی بر مقدار کربن موجود در اتمسفر و زمین بسیار موثر باشد، و عاملی کلیدی در ارتباط بین فرآیندهای آب‌شناسی و بوم‌شناسی دانسته شود (کوراک و اسمال ۲۰۰۷؛ الستورم و همکاران ۲۰۱۶). ژانگ و همکاران (۲۰۱۴) نشان دادند که میانگین مقدار کربن در شمال چین در طول زمان تغییر زیادی داشته و این تغییر به‌شدت با تأثیر تغییر اقلیمی (مانند تغییر بارندگی و خشک‌سالی) بوده است. جونگ و همکاران (۲۰۱۷) با مدل‌های مختلف تجربی تأثیر تغییر دمایی و آب دست‌رس گیاه را بر تولید ناخالص اولیه و تنفس در مقیاس‌های محلی و جهانی بررسی کردند و دریافتند که آب دست‌رس عامل اصلی تغییر تولید و تنفس گیاهان در منطقه‌های مختلف است.

در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت که با ارتباط بین شاخص محصولات گیاهی تولید ناخالص اولیه و ارتباط آن با عامل‌های اقلیمی می‌توان تخریب و بیابان‌زایی را به‌خوبی بررسی کرد، به طوری که براساس پژوهش لال (۲۰۰۱) بین بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در منطقه‌های خشک و مقدار انتشار CO₂ در سطح زمین و نیوار ارتباط قوی هست. بر پایه‌ی این که بیابان‌زایی فرآیندی زیستی‌فیزیکی، چندجانبه، است و شرایط اقتصادی-اجتماعی بر آن اثر می‌کند، پیشنهاد می‌شود که رابطه‌ی شاخص‌های به‌دست آمده از داده‌های ماهواره‌ی با عامل‌های اقلیمی بیش‌تری مانند مقدار تابش خورشید، تبخیر و تعرق و مانند آن‌ها، عامل‌های خاک‌شناسی و وضعیت گیاهان در درازمدت بررسی شود. داده‌های تولید ناخالص اولیه‌ی به‌دست‌آمده از سنجنده‌ی مودیس در منطقه‌های خشک محدودیت‌هایی مانند نبود داده‌های مقدار محصول در بعضی نقطه‌های تصویر دارد، که باید با دقت به‌کار گرفته شود. از طرف دیگر می‌توان با ترکیب کردن تصویرهای سنجنده‌های مختلف مانند مودیس و لندست مقدار محصولات گیاهی را شبیه‌سازی کرد، و با داده‌های زمینی مناسب در اقلیم‌ها و کاربری‌های مختلف صحت‌سنجی کرد، و آن‌ها را در تخمین زدن درست‌تر بیابان‌زایی و تخریب سرزمین به‌کاربرد.

- Abolverdi J, Ferdosifar G, Khalili D, Kamgar-Haghighi AA. 2016. Spatial and temporal changes of precipitation in Fars Province, southwestern Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*. 128(2): 181–196.
- Ahani H, Kherad M, Kousari MR, Rezaeian-Zadeh M, Karampour MA, Ejraee F, Kamali S. 2012. An investigation of trends in precipitation volume for the last three decades in different regions of Fars province, Iran. *Theoretical and applied climatology*. 109(3–4): 361–382.
- Ahlström A, Raupach MR, Schurgers G, Smith B, Arneth A, Jung M, Kato E. 2015. The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. *Science*. 348(6237): 895–899.
- Akbari M, Jarge MR, Madanisadat H. 2009. Assessment of decreasing of groundwater-table using Geographic information system (GIS) (Case study: Mashhad Plain Aquifer). *Water and Soil Conservation*. 16 (4): 96–78.
- Bai ZG, Dent DL, Olsson L, Schaepman ME. 2008. Proxy global assessment of land degradation. *Soil Use and Management*. 24(3): 223–234.
- Chen B, Xu G, Coops N, Ciais P, Myneni R. 2016. Satellite-observed changes in terrestrial vegetation growth trends across the AsiaPacific region associated with land cover and climate from 1982 to 2011. *International Journal of Digital Earth*. 9 (11):1055–1076.
- Chen H, Fan L, Wu W, Liu HB. 2017. Comparison of spatial interpolation methods for soil moisture and its application for monitoring drought. *Environmental monitoring and assessment*. 189(10): 1–13.
- Chuai X, Qi X, Zhang X, Li J, Yuan Y, Guo X, Feng J. 2018. Land degradation monitoring using terrestrial ecosystem carbon sinks/sources and their response to climate change in C china. *Land Degradation & Development*. 29(10):3489–3502.
- Dubovyk O, Landmann T, Erasmus BF, Tewes A, Schellberg J. 2015. Monitoring vegetation dynamics with medium resolution MODIS-EVI time series at sub-regional scale in southern Africa. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 38: 175–183.
- Eskandari Damaneh H, Eskandari Damaneh H, Khosravi H, Gholami H. 2019. Analysis and monitoring of drought using NDVI index (Case study: The west basin of Jazmoryan wetland). *Rangeland*. 13(3): 461–475. (In Persian).
- Eskandari Damaneh H, Zehtabian GR, Salajegheh A, Ghorbani M, Khosravi H. 2018. Assessing the effect of land use changes on groundwater quality and quantity (Case study: West basin of Jazmoryan wetland). *Journal of Range and Watershed Management*. 71(3): 563–578. (In Persian).
- Eskandari Damaneh H, Gholami H, Mahdavi R, Khorani A, Junran Li. 2018. Evaluation of land degradation trend using satellite imagery and climatic data (Case study: Fars Province). *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 24 (2): 49–64. (In Persian).
- Fensholt R, Rasmussen K, Kaspersen P, Huber S, Horion S, Swinnen E. 2013. Assessing land degradation/recovery in the African Sahel from long-term earth observation based primary productivity and precipitation relationships. *Remote Sensing*. 5(2): 664–686.
- Fu Y, Lu X, Zhao Y, Zeng X, Xia L. 2013. Assessment impacts of weather and land use/land cover (LULC) change on urban vegetation

- net primary productivity (NPP): A case study in Guangzhou, China. *Remote Sensing*. 5(8): 4125–4144.
- Gandomkar A, Dehghani R. 2012. Study of temperature changes in Fars Province. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Journal of Environmental, Chemical, Ecological, Geological and Geophysical Engineering*. 6 (3): 127–129.
- Gang C, Gao X, Peng S, Chen M, Guo L, Jin J. 2019. Satellite Observations of the Recovery of Forests and Grasslands in Western China. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. 124(7): 1905–1922.
- Gitelson AA, Peng Y, Masek J G, Rundquist DC, Verma S, Suyker A, Meyers T. 2012. Remote estimation of crop gross primary production with Landsat data. *Remote Sensing of Environment*: 121: 404–414.
- Gulbeyaz O, Bond-Lamberty B, Akyurek Z, West TO. 2018. A new approach to evaluate the MODIS annual NPP product (MOD17A3) using forest field data from Turkey. *International journal of remote sensing*. 39(8): 2560–2578.
- Harper CW, Blair JM, Fay PA, Knap AK, Carlisle JD. 2005. Increased rainfall variability and reduced rainfall amount decreases soil CO₂ flux in a grassland ecosystem. *Global Change Biology*. 11(2): 322–334.
- Heinsch FA, Reeves M, Votava P, Kang S, Milesi C, Zhao M, Kimball JS. 2003. Gross primary production and npp (mod17a2/a3) products nasa modis land algorithm. MOD17 User's Guide. 1–57.
- Huntingford C, Atkin OK, Martinez-De La Torre A, Mercado LM, Heskell MA, Harper AB, Butler EE. 2017. Implications of improved representations of plant respiration in a changing climate. *Nature Communications*. 8(1): 1–11.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2013. Long-term climate change: projections, commitments and irreversibility. 2013. Long-term climate change: Projections, commitments and irreversibility. In *Climate Change 2013-The Physical Science Basis: Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. 1029–1136.
- Jung M, Reichstein M, Schwalm CR, Huntingford C, Sitch S, Ahlström A, Gans F. 2017. Compensatory water effects link yearly global land CO₂ sink changes to temperature. *Nature*. 541(7638): 516–520.
- Karami E, Hayati D. 2005. Rural poverty and sustainability: the case of groundwater depletion in Iran. *-Asian Journal of Water, Environment and Pollution*. 2 (2): 51–61.
- Karami E, Keshavarz M. 2010. Sociology of sustainable agriculture. In *Sociology, organic farming, Climate Change and Soil Science*. 3: 19–40.
- Keesstra S, Mol G, De Leeuw J, Okx J, De Cleen M, Visser S. 2018. Soil-related sustainable development goals: Four concepts to make land degradation neutrality and restoration work. *Land*. 7(4): 133–153.
- Keshavarz M, Karami E, Zibaei M. 2014. Adaptation of Iranian farmers to climate variability and change. *Regional Environmental Change*. 14 (3): 1163–1174.
- Khosravi H, Azareh A, Eskandari Dameneh H, Rafieisardoi E, Eskandari Dameneh H. 2017. Assessing the effects of the climate change on land cover changes in different time periods. *Arabian Journal of Geosciences*: 10(4): 93–104.
- Koirala S, Jung M, Reichstein M, de Graaf IE, Camps-Valls G, Ichii K, Carvalhais N. 2017. Global distribution of groundwater-vegetation spatial covariation. *Geophysical Research Letters*. 44(9): 4134–4142.
- Kurc SA, Small EE. 2007. Soil moisture varia-

- tions and ecosystem-scale fluxes of water and carbon in semiarid grassland and shrubland. *Water Resources Research*. 43(6): 1–13.
- Lamchin M, Lee WK, Jeon SW, Wang SW, Lim C, Song C, Sung M. 2018. Long-term trend and correlation between vegetation greenness and climate variables in Asia based on satellite data. *Science of the Total Environment*. 618: 1089–1095.
- Li X, Zhu Z, Zeng H, Piao S. 2016. Estimation of gross primary production in China (1982–2010) with multiple ecosystem models. *Ecological Modelling*. 324: 33–44.
- Li Z, Pan J. 2018. Spatiotemporal changes in vegetation net primary productivity in the arid region of Northwest China, 2001 to 2012. *Frontiers of Earth Science*, 12(1): 108–124
- Liu J, Kuang W, Zhang Z, Xu X, Qin Y, Ning J, Wu S. 2014. Spatiotemporal characteristics, patterns, and causes of land-use changes in China since the late 1980s. *Journal of Geographical Sciences*. 24(2): 195–210.
- Liu J, Zhang Z, Xu X, Kuang W, Zhou W, Zhang S, Jiang N. 2010. Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*. 20(4): 483–494.
- Liu Z, Hu M, Hu Y, Wang G. 2018. Estimation of net primary productivity of forests by modified CASA models and remotely sensed data. *International Journal of Remote Sensing*. 39(4): 1092–1116.
- Luo L, Ma W, Zhuang Y, Zhang Y, Yi S, Xu J, Zhang Z. 2018. The impacts of climate change and human activities on alpine vegetation and permafrost in the Qinghai-Tibet Engineering Corridor. *Ecological Indicators*. 93: 24–35.
- Mao D, Wang Z, Wu B, Zeng Y, Luo L, Zhang B. 2018. Land degradation and restoration in the arid and semiarid zones of China: Quantified evidence and implications from satellites. *Land Degradation & Development*. 29(11): 3841–3851.
- Masoudi M, Jokar P, Pradhan B. 2018. A new approach for land degradation and desertification assessment using geospatial techniques. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 18(4): .1133–1140.
- Menashe DS, Friedl MA. 2018. User guide to collection 6 MODIS land cover (MCD12Q1 and MCD12C1) product. USGS: Reston, VA, USA. 1–18.
- Mo X, Liu S, Chen X, Hu S. 2018. Variability, tendencies, and climate controls of terrestrial evapotranspiration and gross primary productivity in the recent decade over China. *Ecohydrology*. 11(4): 1951–1973.
- Monteith JL. 1972. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. *Journal of applied ecology*. 9(3): 747–766.
- Nasrollahi M, Mombeni M, Valizadeh S, Khosravi H. 2014. Investigating the effect of land use / land cover changes trend on groundwater resources status, using satellite images (Case study: Gilan-e gharb plain). *Geographical Data (Sepehr)*. 23(91): 89–97. (In Persian).
- Nendel C, Hu Y, Lakes T. 2018. Land-use change and land degradation on the Mongolian Plateau from 1975 to 2015—a case study from Xilingol, China. *Land Degradation & Development*. 29(6): 1595–1606.
- Pack SM. 2009. A MODIS imagery toolkit for ArcGIS explorer. Ph.D. Dissertation, University of Redlands.
- Pederson GT, Gray ST, Woodhouse CA, Betsancourt JL, Fagre DB, Littell JS, Graumlich LJ. 2011. The unusual nature of recent snowpack declines in the North American Cordillera. *Science*. 333(6040): 332–335.
- Rogers A, Medlyn BE, Dukes JS, Bonan G,

- Von Caemmerer S, Dietze MC, Prentice IC. 2017. A roadmap for improving the representation of photosynthesis in Earth system models. *New Phytologist*. 213(1): 22–42.
- Salimi S, Balyani S, Hosseini SA, Momenpour SE. 2018. The prediction of spatial and temporal distribution of precipitation regime in Iran: the case of Fars province. *Modeling Earth Systems and Environment*. 4(2): 565–577.
- Sun Z, Wang X, Zhang X, Tani H, Guo E, Yin S, Zhang T. 2019. Evaluating and comparing remote sensing terrestrial gross primary production models for their response to climate variability and CO₂ trends. *Science of the Total Environment*. 668: 696–713.
- Symeonakis E, Drake N. 2004. Monitoring desertification and land degradation over sub-Saharan Africa. *International Journal of Remote Sensing*. 25(3): 573–592.
- Tong X, Brandt M, Yue Y, Horion S, Wang K, De Keersmaecker W, Chen C. 2018. Increased vegetation growth and carbon stock in China karst via ecological engineering. *Nature Sustainability*. 1(1): 44–50.
- Van Lynden GW, Mantel S. 2001. The role of GIS and remote sensing in land degradation assessment and conservation mapping: some user experiences and expectations. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 3(1): 61–68.
- Wagle P, Gowda PH, Xiao X, Anup KC. 2016. Parameterizing ecosystem light use efficiency and water use efficiency to estimate maize gross primary production and evapotranspiration using MODIS EVI. *Agricultural and Forest Meteorology*. 222: 87–97.
- Wallace J, Held IM, Thompson DW, Trenberth KE, Walsh JE. 2014. Global warming and winter weather. *Science*. 343(6172): 729–730.
- Wu C, Niu Z, GAO S. 2010. Gross primary production estimation from MODIS data with vegetation index and photosynthetically active radiation in maize. *Journal of Geophysical Research. Atmospheres*. 115(12): 1–11.
- Wu C, Niu Z, Tang Q, Huang W, Rivard B, Feng J. 2009. Remote estimation of gross primary production in wheat using chlorophyll-related vegetation indices. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149(6–7): 1015–1021.
- Wu S, Zhou S, Chen D, Wei Z, Dai L, Li X. 2014. Determining the contributions of urbanisation and climate change to NPP variations over the last decade in the Yangtze River Delta, China. *Science of the Total Environment*. 472: 397–406.
- Xu D, Wang Z. 2019. Identifying land restoration regions and their driving mechanisms in Inner Mongolia, China from 1981 to 2010. *Journal of Arid Environments*. 167: 79–86.
- Yi C, Ricciuto D, Li R, Wolbeck J, Xu X, Nilsson M, De Araujo AC. 2010. Climate control of terrestrial carbon exchange across biomes and continents. *Environmental Research Letters*. 5(3): 1–10.
- Yu F, Price KP, Ellis J, Shi P. 2003. Response of seasonal vegetation development to climatic variations in eastern central Asia. *Remote Sensing of Environment*. 87(1): 42–54.
- Yu T, Sun R, Xiao Z, Zhang Q, Liu G, Cui T, Wang J. 2018. Estimation of global vegetation productivity from global land surface satellite data. *Remote Sensing*. 10(2): 1–20.
- Yuan W, Cai W, Nguy-Robertson AL, Fang H, Suyker AE, Chen Y, Zhang H. 2015. Uncertainty in simulating gross primary production of cropland ecosystem from satellite-based models. *Agricultural and Forest Meteorology*. 207: 48–57.
- Zhang L, Guo H, Jia G, Wylie B, Gilmanov T, Howard D, Zhao T. 2014. Net ecosystem productivity of temperate grasslands in northern China: An upscaling study. *Agricultural and*

- Forest Meteorology.184: 71–81.
- Zhang Q, Cheng YB, Lyapuŝtin AI, Wang Y, Zhang X, Suyker A, Middleton EM. 2015. Estimation of crop gross primary production: II. Do scaled MODIS vegetation indices improve performance?-Agricultural and Forest Meteorology.200:1–8.
- Zhao F, Wu Y, Sivakumar B, Long A, Qiu L, Chen J, Hu H. 2019. Climatic and hydrologic controls on net primary production in a semi-arid loess watershed. Journal of Hydrology. 568: 803–815.



Watershed Management Research

VOL. 34, No. 1, Ser. No: 130, Spring 2021, pp. 41-58
DOI: 10.22092/wmej.2020.342030.1317

Monitoring Land Degradation and Desertification in the Arid and Semi-arid Regions with an Emphasis in Response to Gross Primary Production Relative to the Climatic Variables during the 2001-2017 in the Province of Fars

Hadi Eskandari Damaneh

Ph. D. Student, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Iran

Hamid Gholami

(Corresponding Author)* Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Iran

Rasool Mahdavi

Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, University of Hormozgan, Iran

Asadola Khorani

Associate Professor, Department of geography, Hormozgan University, Iran

Junran Li

Associate Professor, Department of Geosciences, Tulsa University, Oklahoma

* Corresponding Author Email: Hgholami@hormozgan.ac.ir

Received: 18 February 2020

Accepted: 20 September 2020

Abstract

An accurate assessment of the carbon changes in different ecosystems may be used as key indicator in estimating changes in land degradation at a global scale. The goal of this study was investigate the trend of land degradation by examining the trend of changes in the gross primary production, climatic parameters (temperature and precipitation) and its relation shies with the climatic data in the 2001-2017 period in different land use system in the Province of Fars. The annual gross primary production data were extracted from the MOD17A2 8-day MODIS sensor, and the climatic data were collected from 15 stations in the region and interpolated. The slope of changes in the gross primary production, temperature and precipitation, and the correlation between the gross primary production and temperature and precipitation in each land use were investigated. The results indicated that the highest percentage of the gross primary production was obtained for the shrub land, farmland, bare land, grassland, urban and built up land and water bodies, respectively. Examination of the slope of the changes showed that overall trend of changes in primary the gross primary production was increasing, while the temperature and precipitation trend were increasing and decreasing, respectively. The reason for this is the groundwater use by farmers to provide the needed water for irrigation, resulting in an increase in the gross primary productivity. Percentage of the changes in the gross primary production, temperature and precipitation in different land uses over the mentioned time period indicated that the trend of positive changes of the gross primary production in bare land use was 78.24%, farmland was 32.32%, grassland was 81.14%, shrub land was 85.89%; in the savannah it was 100%. We observed an increasing and decreasing trend for the temperature and rainfall over this time period, respectively. Based on the results, the correlation in bare land, savanna and shrub land is mostly influenced by precipitation, whereas farmland and grassland are affected by temperature. In general, despite of increasing temperature and decreasing rainfall, the gross primary production increased in the farmland, which indicates that such expanses are susceptible to land degradation and desertification.

Keywords: Change slope, climatic variables, correlation, gross primary production, MODIS sensor