

ارزیابی تخریب اراضی با استفاده از شاخص کارایی مصرف آب و خشکسالی (مطالعه موردی: استان فارس)

- ❖ هادی اسکندری دامنه؛ دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران.
- ❖ حمید غلامی*؛ دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران.
- ❖ رسول مهدوی؛ دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، ایران.
- ❖ اسداله خورانی؛ دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، ایران.
- ❖ جیمی لی؛ دانشیار گروه علوم زمین، دانشگاه تولسا، اوکلاهاما.

چکیده

در این مطالعه برای بررسی تخریب اراضی در استان فارس از تأثیر شاخص خشکسالی SPI بر شاخص کارایی مصرف آب (WUE) استفاده گردید. برای محاسبه WUE از محصولات تولید ناخالص اولیه (GPP) و تبخیر و تعرق (ET) حاصل از سنجنده مودیس استفاده شد و از داده‌های بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی، شاخص خشکسالی SPI محاسبه گردید. سپس روند تغییرات شاخص WUE، GPP، ET و SPI در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۲۰ با استفاده از رگرسیون خطی محاسبه و به دنبال آن، از عکس‌العمل شاخص WUE به خشکسالی، تخریب اراضی و بیابان‌زایی در کاربری‌های مختلف، با استفاده از آنالیز همبستگی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که شاخص‌های ET، GPP، WUE و خشکسالی در این بازه زمانی ۱۷ ساله به ترتیب ۲۵/۷۵، ۹/۲۹، ۵۱/۷۸ و ۲۳/۶۷ درصد افزایش یافته‌اند. بررسی تأثیر خشکسالی بر WUE در کاربری‌های اراضی کشاورزی و گراسلند نشان داد که رابطه مثبت بین این دو شاخص به ترتیب در ۹/۷۵ و ۸۷ درصد از این کاربری‌ها دیده می‌شود که از این مقادیر به ترتیب ۷/۴ و ۶/۷ درصد رابطه معنی‌داری را نشان می‌دهد، این در حالی است که در مابقی مساحت این کاربری‌ها این اثرگذاری منفی می‌باشد. اثرپذیری WUE از خشکسالی در بوته‌زار نشان دهنده رابطه مثبت در ۹/۴۰ درصد از مساحت این کاربری است که تنها ۹/۰ درصد آن، رابطه معنی‌دار است. رابطه منفی این کاربری در حدود ۱/۵۹ درصد از مساحت آن دیده شد، که از این مقدار تنها ۶/۱۱ درصد معنی‌دار می‌باشد. بررسی این رابطه در کاربری ساوانا نشان داد که ۵ درصد از این کاربری رابطه منفی با خشکسالی داشته و مساحت باقی مانده رابطه مثبت با خشکسالی نشان داده است. شرایط اقلیمی خاص اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک باعث واکنش سریع تولید گیاهان به خشکسالی می‌شوند. بنابراین با بررسی و تجزیه و تحلیل واکنش تولید گیاهان به خشکسالی در این اکوسیستم‌ها، می‌توان تخریب اراضی و بیابان‌زایی را به خوبی مورد بررسی قرار داد.

کلید واژگان: تخریب اراضی، استان فارس، سنجنده مودیس، تولید ناخالص اولیه، تبخیر و تعرق.

۱. مقدمه

از سال ۱۹۷۰ با وقوع خشکسالی‌های شدید در ساحل آفریقا، تخریب اراضی و بیابان‌زایی مورد توجه جوامع بین‌المللی و بسیاری از محققان قرار گرفت، که این منجر به انجام تحقیقات زیادی در زمینه ارزیابی مکانیسم‌های به‌وجود آورنده این پدیده پیچیده و محرک اصلی تشدید آن [۳۶، ۱۵] و همچنین پایش و شناسایی فرآیندهای مؤثر بر این پدیده پیچیده شده است [۳۳]. سازمان جهانی مبارزه با بیابان‌زایی (UNCCD) در کنفرانس توسعه پایدار بر تعیین دقیق مناطق تخریب شده و تحت بیابان‌زدایی در سراسر دنیا تأکید داشتند [۲۸]. با این حال با توجه به پیچیدگی بیولوژیکی و تغییرات شدید بیوفیزیکی در طی فرآیندهای بیابان‌زایی ابهامات قابل توجهی برای برآورد دقیق این پدیده به‌وجود آمده است [۷، ۱۰].

در دهه‌های گذشته با توسعه علم سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی روند تغییرات تولیدات گیاهی مانند تولید خالص اولیه و تولید ناخالص اولیه با فرض اینکه کاهش ظرفیت فتوسنتز نشان‌دهنده تخریب است، مورد توجه قرار گرفته است [۱۳، ۲۳، ۴۸]. گیاهان هم‌زمان با اینکه کربن را از طریق فتوسنتز تولید می‌کنند بخار آب را از طریق تعرق از دست می‌دهند. این دو فرآیند فتوسنتز و تنفس توسط روزنه‌ها برای به‌دست آوردن کربن بیشتر و از دست دادن کمتر آب کنترل می‌شود [۹]. از این رو شاخص کارایی مصرف آب (WUE) شاخص خوبی برای این داد و ستد می‌باشد [۱۷، ۲۵]. در سطح اکوسیستم WUE عبارت است از نسبت بین تولید ناخالص اولیه (GPP) به تبخیر و تعرق (ET) که یک شاخص ارتباط دهنده چرخه کربن و آب [۵۱]، فرآیندهای بیولوژیکی و بیوفیزیکی را در سطح زمین با هم پیوند

می‌دهد [۴۳]. از این‌رو بررسی کمی تغییرات مکانی و زمانی WUE درک درستی از الگوهای مرتبط بین کربن و آب در اکوسیستم‌های خاکی و پاسخ آن‌ها به تغییرات اقلیمی بیان خواهد کرد که این خود امکان پیش‌بینی رشد منطقه‌ای پوشش گیاهی و مدیریت اکوسیستم را میسر می‌نماید [۸، ۵۰]. تغییرات اقلیمی اخیر اثرات عمیقی بر عملکرد، ساختار و چرخه کربن-آب اکوسیستم‌ها در مقیاس‌های مختلف به‌وجود آورده است [۱۵، ۴۹]. بنابراین درک درست تغییرات WUE می‌تواند اثر پذیری چرخه جهانی کربن را از شرایط تغییرات اقلیمی به خوبی بیان کند.

تغییر در فراونی و شدت حداکثرهای اقلیمی اثرات چشم‌گیری بر سیستم‌های بیولوژیکی و انسانی داشته است [۳۷، ۵، ۲۲، ۴۰]. از بین این تغییرات شدید اقلیمی، خشکسالی اثرات شدیدی بر چرخه کربن اکوسیستم‌های خاکی و جامعه بشری متحمل ساخته است [۱۰، ۳۴]. مطالعات براساس سناریوهای اقلیمی نشان می‌دهد پدیده خشکسالی تا اواخر قرن ۲۱ بین ۱۱٪ تا ۲۳٪ افزایش خواهد نمود [۵۳]. این روند خشکسالی تهدیدی بر تغییرات پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های حساس و شکننده مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد [۱۲] که در این اکوسیستم‌ها دسترسی به آب برای بقا، رشد و نمو با محدودیت همراه است [۳۳]. با توجه به این شواهد خشکسالی‌های فعلی و آینده روند تغییرات درون‌سالی تولیدات گیاهی را در اکوسیستم‌های مناطق خشک به شدت تحت تأثیر قرار خواهد داد [۲]. پاسخ گیاهان به تغییرات اقلیمی با استفاده از شاخص WUE که تولید به ازای مصرف آب را بیان می‌کند ممکن است به خوبی بیانگر این موضوع باشد زیرا گیاهان زمانی که تحت استرس آبی قرار می‌گیرند با استفاده از روزنه‌های خود

United Nations Convention to Combat Desertification

Remote Sensing (RS)

Geographic Information System (GIS)

Water Use Efficiency

Gross Primary Productivity

Evapotranspiration

بیابان‌زایی افزایش داشته WUE کاهش می‌یابد [۲۶]. از آنجایی GPP و WUE به ترتیب اطلاعاتی مانند تولیدات گیاهی و تغییرات ترکیب گونه‌ای را بیان می‌کند ترکیب این شاخص‌ها می‌تواند تخریب اراضی و بیابان‌زایی را نسبت به استفاده جداگانه هر یک از این شاخص‌ها برآورد نماید. با توجه به این مطالب هدف از تحقیق حاضر برآورد تخریب اراضی و بیابان‌زایی با استفاده از تحلیل روند خشکسالی و WUE و تأثیر خشکسالی بر WUE در کاربری‌های مختلف استان فارس می‌باشد.

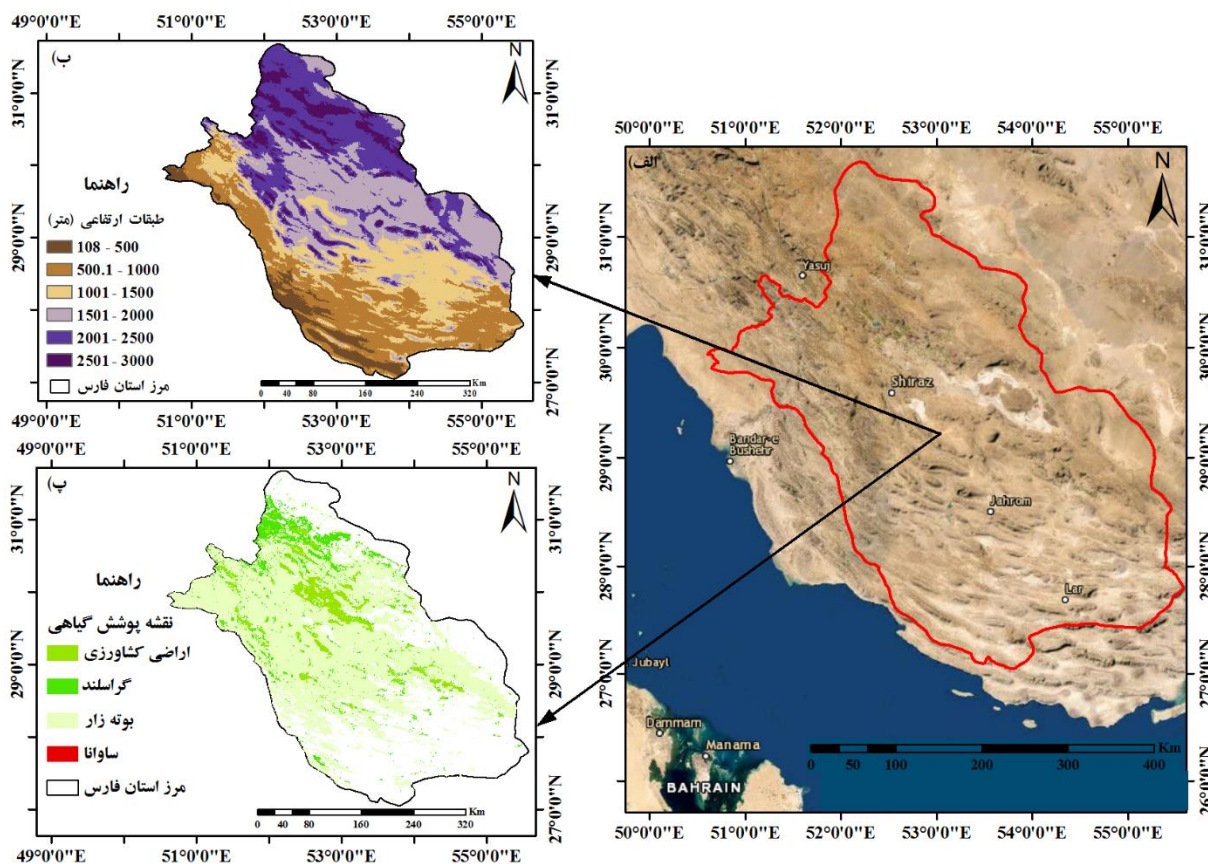
۲. روش‌شناسی

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق استان فارس در جنوب غرب ایران است که مساحت آن ۱۲۲ هزار کیلومتر مربع می‌باشد که ۷/۴ درصد از وسعت کشور ایران را به خود اختصاص داده است. این استان در بین ۲۷ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ درجه طول شرقی قرار دارد. این منطقه تحت تأثیر ویژگی‌های توپوگرافیک، دارای سه ناحیه آب و هوایی مشخص می‌باشد: میزان بارندگی در نواحی مرتفع در حدود ۴۰۰ تا ۶۰۰ میلی‌متر در سال است. ناحیه مرکزی به علت بارندگی نسبی ارتفاعات، نسبت به شمال و شمال غربی وضعیتی کاملاً متفاوت دارد، میزان باران این ناحیه بین ۲۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر در سال گزارش شده است [۲]. متوسط درجه حرارت مرکز این استان ۱۶/۸۵ درجه سلیسیوس و حداکثر میزان بارندگی ماهانه ۱۸۴/۲ میلی‌متر و حداقل آن ۰ میلی‌متر می‌باشد. حدود ۱/۸۴ میلیون هکتار، یعنی تقریباً ۱۵ درصد مساحت استان را بیابان و مناطق درحال بیابان شدن در برمی‌گیرد [۱]. شکل (۱) موقعیت استان فارس، نقشه مدل رقومی ارتفاع و نقشه پوشش گیاهی را در این استان نشان می‌دهد.

خروج آب را کاهش می‌دهند [۴۹]. WUE اکوسیستم باید از سال‌های مرطوب نسب به سال‌های خشک افزایش یابد که این نشانگر مقاومت پوشش گیاهی در برابر از دست دادن آب می‌باشد [۳۵].

به طور خاص داده‌های سنجش از دوری در دهه‌های اخیر داده‌ها و ابزارهای مناسبی برای محاسبه WUE فراهم کرده‌اند از جمله این داده‌ها می‌توان به داده‌های GPP و ET حاصل از سنجنده مودیس اشاره نمود که در بسیاری از تحقیقات اخیر استفاده شده‌اند. در تحقیقی [۱۶] افزایش WUE حاصل از داده‌های ماهواره مودیس را در کاربری‌های بوته‌زار و ساوانا در دوره ۲۰۱۱-۲۰۰ گزارش کردند. در تحقیقی دیگر [۱۹] به ترتیب افزایش و کاهش معنی‌دار ۱۴٪ و ۹٪ WUE اراضی پوشیده از گیاه جهان را برآورد نمودند. همچنین [۲۴] افزایش WUE در مناطق جنگلی و گراسلند شمال چین را بیان کردند. در مطالعه‌ای دیگر [۵۷] در آنالیز WUE با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در آسیای مرکزی بیان کردند که افزایش WUE نتیجه افزایش GPP و کاهش ET بوده و کاهش WUE به طور عمده ناشی از تغییر در محصولات کشاورزی و شیوه‌های استفاده از صرف آب در مناطق کشاورزی آبی بوده است. [۵۲] در بررسی رابطه بین WUE و خشکسالی افزایش WUE در اثر خشکسالی در اکوسیستم‌های مناطق خشک و کاهش آن در اثر خشکسالی در اکوسیستم‌های مناطق نیمه‌خشک را گزارش کردند. در تحقیقی دیگر [۸] بیان کردند که ۶۵٪ از گراسلند اوراسیا افزایش WUE را در طول خشکسالی داشته که این حاصل از کاهش معنی‌دار ET و کاهش خنثی GPP بوده است. در نهایت می‌توان اذعان نمود که در شرایطی که خشکسالی شرایط را برای تخریب و بیابان‌زایی فراهم می‌کند، WUE به دلیل بسته شدن روزنه‌های گیاهی افزایش می‌یابد یا گیاهان خودشان را با این شرایط سریعاً مطابقت می‌دهند. در مقابل تحت شرایط شدید اقلیمی مانند خشکسالی شدید که تخریب و



شکل ۱. الف: موقعیت استان فارس، ب: نقشه مدل رقومی ارتفاع و نقشه پوشش گیاهی سال ۲۰۰۱ استان فارس

چندین محصول این سنجنده به دست آمد، که از طریق فرمول (۱) زیر محاسبه گردید [۱۸].

$$GPP = \epsilon_{max} \times 0.45 \times SW_{rad} \times FPAR \times \int VPD \times \int T_{min} \quad (1)$$

در این فرمول حداکثر کارایی مصرف نور، ϵ_{max} تابش‌های خورشیدی با طول موج کوتاه، $FPAR$ نسبت تابش فعال فتوسنتزی، VPD نسبت فشار بخار آب، T_{min} دمای حداقل می‌باشند. محصول MOD17 داده‌های GPP ۸ روزه را با تفکیک مکانی ۵۰۰ در اختیار

۲،۲. روش تحقیق

۱،۲،۲. انتخاب داده‌ها و جمع‌آوری داده‌های

ماهواره‌ای

۱،۱،۲،۲. داده‌های سنجنش از دوری

در این پژوهش برای مطالعه تولید ناخالص اولیه (GPP) [۳۸، ۵۵] و تبخیر و تعرق (ET) [۳۰، ۳۱] از محصولات سنجنده مودیس استفاده شد. محصولات GPP حاصل از سنجنده مودیس (MOD17A2) از ترکیب

ϵ_{max} maximum light use efficiency
 SW_{rad} short-wave downward solar radiation
 $FPAR$ fraction photo synthetically active radiation
 VPD vapor pressure deficit
 T_{min} Minimum temperature

در بازه زمانی سالانه استفاده شد [۴۱]. همچنین نقشه ارتفاعی از داده های SRTM^۱ با تفکیک مکانی ۳۰ متر استفاده گردید که برای تهیه این داده های سنجنده مودیس در سال های ۲۰۰۱-۲۰۱۷ از سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> پس از اعمال تصحیحات و پیش پردازش های در افزونه MODIS TOOLKIT در نرم افزار ENVI5.3 استفاده گردید. در این تحقیق کاربری های استفاده شده (شکل ۱، پ) حدود ۶۹۳۲۶/۹ کیلومترمربع از استان فارس را در بر گرفته که شامل اراضی کشاورزی، بوتهزار، گراسلند و ساواناها می باشند و به ترتیب مساحتی در حدود ۷/۵، ۸۱/۸، ۱۰/۷ و ۰/۰۳ درصد از این استان می باشند.

۴.۲.۲. شاخص بارش استاندارد شده (SPI)

برای محاسبه خشکسالی در این تحقیق از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) استفاده شد. این شاخص بر مبنای احتمال تجمعی بارش در ایستگاه عمل می کند که پس از استخراج داده های بارش در مقیاس ماهانه طی یک دوره آماری (حداقل ۳۰ سال) دوره زمانی مجموع بارش در مقیاس های مورد نظر تشکیل می شود [۲۷]. این شاخص بر مبنای توزیع گاما قرار دارد [۱۰]. که بر اساس تفاوت بارش از میانگین برای یک مقیاس زمانی مشخص و سپس تقسیم آن بر انحراف معیار به دست آمد (رابطه ۳).

$$SPI_{ik} = \frac{P_{ik} - \bar{P}_k}{S_k} \quad (3)$$

$$i = ۱, ۲, \dots, k = ۱, ۲, ۳, ۴, ۵, ۶$$

\bar{P}_k و S_k به ترتیب میانگین بارش تجمعی و انحراف معیار بارش تجمعی برای دوره مبنای (k) می باشد. جدول (۱) طبقه بندی حالت های مختلف خشکسالی را به روش SPI نشان می دهد.

محققین قرار می دهد که در این تحقیق به طور متوسط برای هر ماه ۴ تصویر به دست آمد سپس با استفاده از میانگین این ۴ محصول داده های تولید ناخالص اولیه در مقیاس ماهانه و سالانه تهیه گردید.

همچنین برای مطالعه تبخیر و تعرق از تولیدات MOD16A2 با تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و بازه زمانی ۸ روزه استفاده شد. بر اساس مطالعه [۲۹] برای محاسبه تبخیر و تعرق حاصل از MOD16A2 از روش پنمن-مانتیس [۳۱] استفاده شد و همچنین لایه کاربری اراضی، آلودگی و تابش فعال فتوسنتزی-شاخص سطح برگ به عنوان ورودی محاسبه تبخیر و تعرق می باشند. با توجه به اینکه به طور متوسط برای هر ماه ۴ تصویر موجود بود با استفاده از میانگین این ۴ تصویر محصول داده های ماهانه و سالانه تبخیر و تعرق محاسبه گردید.

۲.۲.۲. محاسبه WUE

WUE یک متغیر کلیدی می باشد که چرخه کربن و آب گیاهان را بهم متصل می نماید [۲۶، ۴۲] که این شاخص از نسبت تولید ناخالص اولیه (GPP) به تبخیر و تعرق (ET) با استفاده از فرمول (۲) محاسبه گردید [۵۲].

$$WUE = \frac{GPP}{ET} \quad (2)$$

که در این فرمول WUE کارایی مصرف آب برحسب گرم کربن بر کیلوگرم آب، GPP تولید ناخالص اولیه برحسب گرم کربن بر مترمربع و ET کیلوگرم آب بر مترمربع می باشد.

۳.۲.۲. نقشه کاربری اراضی و نقاط ارتفاعی

در این تحقیق برای تهیه نقشه کاربری اراضی از محصولات مودیس MOD12Q1 با دقت مکانی ۵۰۰ متر

جدول ۱. طبقه‌بندی حالت‌های خشکسالی هواشناسی به روش شاخص SPI [۲۷].

وضعیت خشکسالی	محدوده	حالت
خیلی خیلی مرطوب	$+2 \leq SPI$	۰
خیلی مرطوب	$1.5 \leq SPI < 2$	۱
مرطوب متوسط	$1 \leq SPI < 1.5$	۲
نزدیک به نرمال	$-1 \leq SPI < +1$	۳
خشکسالی متوسط	$-1.5 \leq SPI \leq -1$	۴
خیلی خشک	$-2 \leq SPI < -1.5$	۵
خیلی خیلی خشک	$SPI < -2$	۶

۲.۵.۲.۲. آنالیز همبستگی بین شاخص WUE و

SPI

به منظور بررسی روند تخریب اراضی ارتباط بین WUE، ET، GPP و شاخص SPI با استفاده از آنالیز همبستگی مورد بررسی قرار گرفت (رابطه ۵). در این مطالعه همبستگی بین تصاویر از ETM^۲ در نرم‌افزار IDRISI Selva17 انجام پذیرفت.

$$R_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \times \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

$R_{x,y}$ ضریب همبستگی ساده بین x و y است، x_i مقدار شاخص مستقل سال i ام، y_i متغیرهای مستقل مثل SPI سال i ام و i شماره سال‌ها است [۴۷، ۵۶].

۳. نتایج

۳.۱. بررسی تغییرات مکانی و زمانی WUE،

GPP، ET و SPI در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱

بررسی متوسط ۱۷ ساله شاخص‌های WUE، GPP، ET و SPI نشان داد که متوسط تبخیر و تعرق حدود ۲۱۱/۴۳ کیلوگرم آب بر مترمربع در سال می‌باشد که

پس از محاسبه شاخص خشکسالی هواشناسی در مقیاس ۱۲ ماهه با استفاده از روش درون‌یابی IDW^۱ نقشه‌های خشکسالی در نرم‌افزار ARCGIS10.5 تهیه شد. این روش با وزن‌دهی به داده‌های اطراف نقطه مورد برآورد، کمیت مجهول را به دست آورده و درون‌یابی را انجام می‌دهد [۱۰، ۳۹].

۳.۲. آنالیز آماری

۳.۲.۱. بررسی روند تغییرات

روند تغییرات شاخص WUE، ET، GPP و SPI در دوره زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ برای هر پیکسل تصویر با استفاده از رگرسیون خطی در محیط IDRISI selva17 براساس رابطه (۴) شبیه‌سازی گردید:

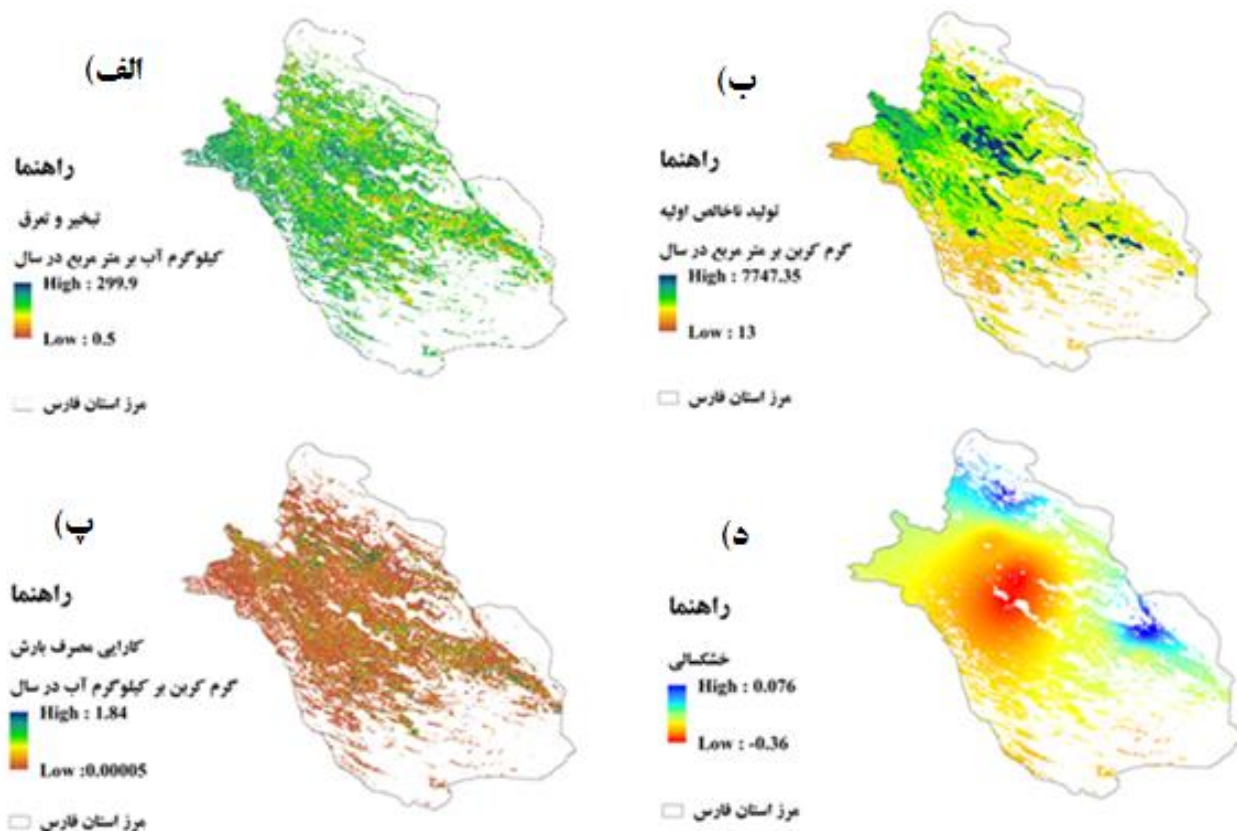
$$\theta_{slope} = \frac{n \times \sum_{j=1}^n j \times X_j - \sum_{j=1}^n j \times \sum_{j=1}^n X_j}{N \times \sum_{j=1}^n j^2 - [\sum_{j=1}^n j]^2} \quad (4)$$

که در این رابطه θ_{slope} شیب تغییرات شاخص مورد نظر در منطقه مورد مطالعه، n سال‌های مورد استفاده در پایش، X_j مقدار سالانه شاخص مد نظر برای سال j ، > 0 و $\theta_{slope} < 0$ به ترتیب نشان دهنده شیب تغییرات مثبت و منفی در میزان شاخص مربوطه می‌باشد [۶].

¹Inverse Distance Weighting (IDW)
²Earth Trends Modeler

گردید که مقادیر حداکثر آن به صورت پراکنده در قسمت‌های مرکزی، شمالی، غربی و تا حدودی جنوبی مشهود است (شکل ۲-ب). شاخص SPI نیز با متوسط ۰/۲ خشکسالی نزدیک به نرمال را در تمامی سطح مورد مطالعه به جز نواری از شمال شرقی، شرقی و جنوبی استان تحت پوشش قرار می‌دهد که مقادیر حداکثر آن در قسمت‌های مرکزی استان مشهود می‌باشد (شکل ۲-د).

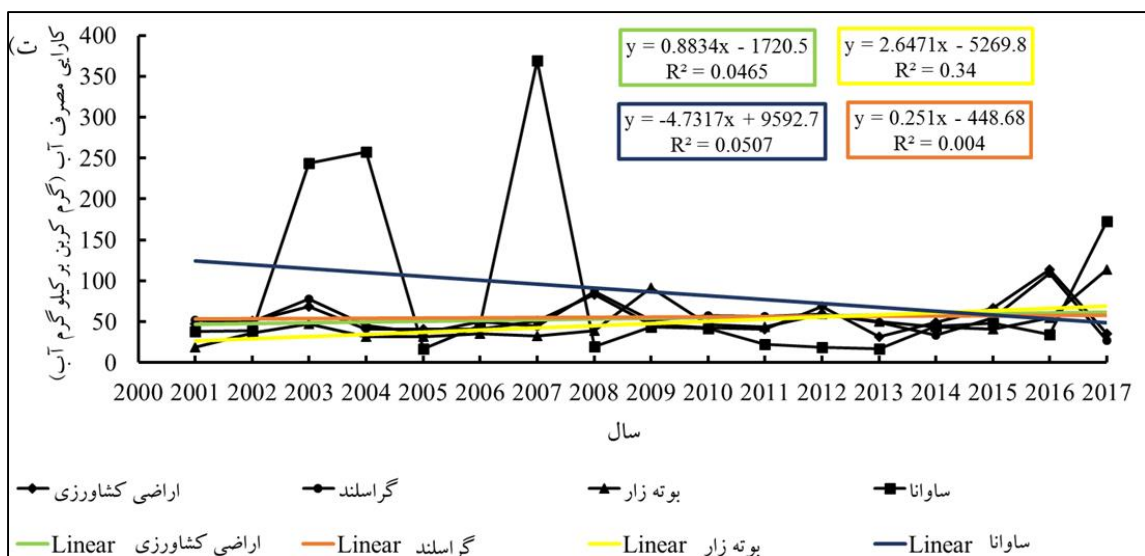
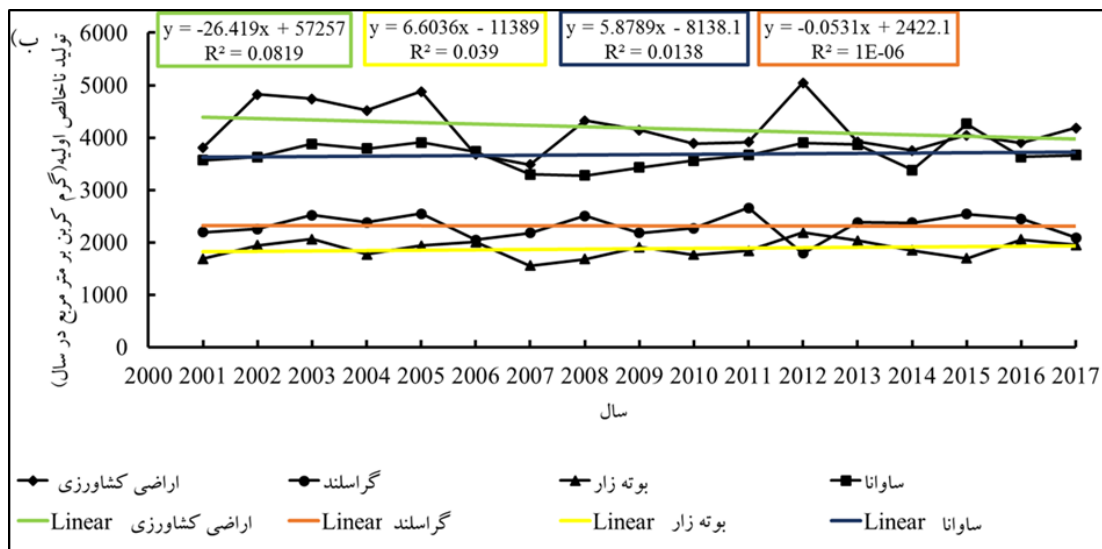
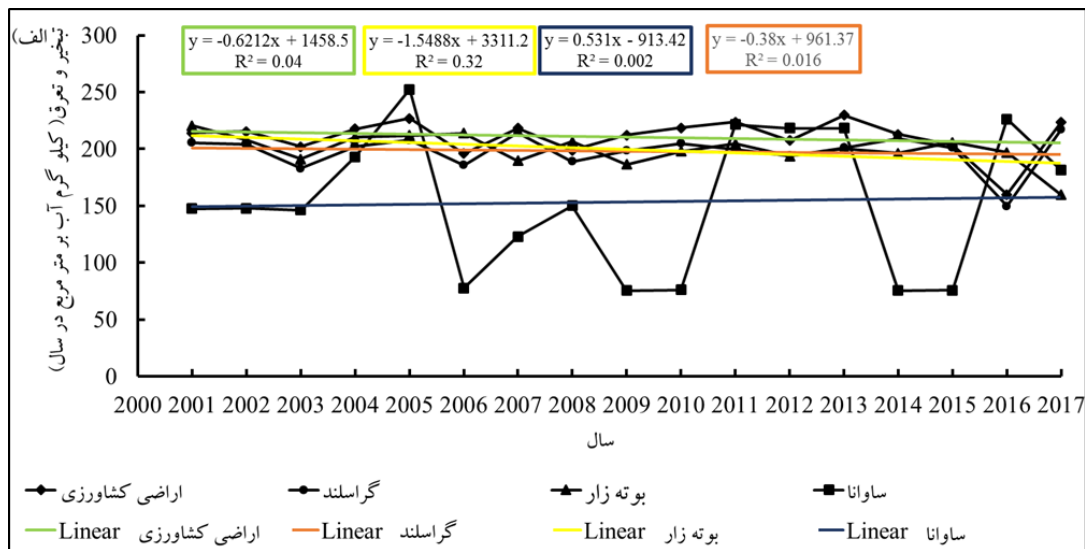
مقادیر زیاد این شاخص بیشتر در قسمت‌های مرکزی تا شرقی استان دیده می‌شود (شکل ۲-الف). شاخص تولید ناخالص اولیه دارای مقدار متوسط ۲۰۵۶/۲۶ گرم کربن بر مترمربع در سال است که قسمت‌های مرکزی و به صورت پراکنده قسمت‌های شمال، جنوب و غرب استان مقادیر حداکثر این شاخص را در بر می‌گیرند (شکل ۲-ب). متوسط مقدار شاخص کارایی مصرف آب در این بازه زمانی ۱۷ ساله ۰/۰۴ گرم کربن بر کیلوگرم آب برآورد



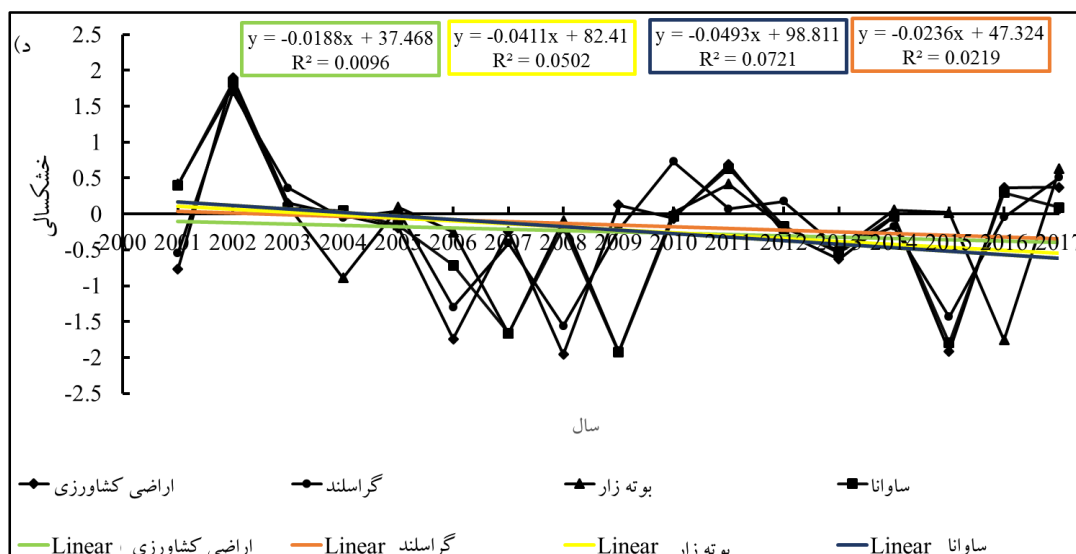
شکل ۲. متوسط تبخیر و تعرق، تولید ناخالص اولیه، کارایی مصرف بارش و خشکسالی به ترتیب در قسمت الف، ب، پ و در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

است که روند آن در کاربری ساوانا افزایشی است (شکل ۳، الف). تغییرات سالانه شاخص تولید ناخالص اولیه نیز بیانگر این موضوع می‌باشد که شیب تغییرات در اراضی کشاورزی و گراسلند کاهش می‌یابد اما در کاربری بوته‌زار و ساوانا شیب تغییرات افزایشی است (شکل ۳، ب).

بررسی روند متوسط سالانه شاخص‌های مورد مطالعه از سال ۲۰۰۱-۲۰۱۷ در کاربری‌های مختلف در شکل (۳) نشان داده شده است. روند تغییرات شاخص تبخیر و تعرق نشان می‌دهد که در کاربری‌های کشاورزی، بوته‌زار و گراسلند روند تغییرات این شاخص منفی بوده این در حالی



شکل ۳. روند تغییرات سالانه فاکتورهای اقلیمی تبخیر و تعرق، تولید ناخالص اولیه، کارایی مصرف آب و خشکسالی بین سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۷



ادامه شکل ۳.

آب در ۲۱/۴۹ درصد از سطح مورد مطالعه کاهش یافته بوده که حدود ۱۴۸۹۶/۰۳ کیلومترمربع از سطح استان را در بر گرفته است در حالی که افزایش این شاخص ۷۸/۵۱ درصد به مساحت ۵۴۴۳۰/۷۵ کیلومترمربع را شامل شده است. روند شیب تغییرات خشکسالی نشان داد که ۶۷/۲۳ درصد کاهش خشکسالی و ۳۲/۷۷ درصد افزایش خشکسالی را در سطح مورد مطالعه شاهد بوده است. بررسی شیب تغییرات شاخص‌های مورد بررسی در کاربری‌های مختلف در جدول (۲) حاکی از آن است که روند تغییرات شاخص تبخیر و تعرق در بیشتر سطح کاربری‌ها افزایشی بوده به طوری که این روند افزایشی به ترتیب در ۳۶۸۸/۸، ۶۸۵۹، ۳۸۹۵۳/۵ و ۱/۳ کیلومترمربع از اراضی کشاورزی، گراسلند، بوته‌زار و ساوانا دیده شده است اما در بقیه کاربری‌ها کاهش مساحت این شاخص مشهود بوده است. روند تغییرات تولید ناخالص اولیه در اراضی کشاورزی، گراسلند، بوته‌زار و ساوانا نشان داد که این شاخص روند افزایشی خود را در ۳۷۷۵، ۴۹۹۱/۵، ۳۸۹۲۷ و ۱/۲۵ کیلومترمربع از مساحت این کاربری‌ها نشان داده است و مابقی مساحت این کاربری‌ها روند کاهشی نشان داده است. شاخص خشکسالی نیز در این بررسی ۱۷ ساله نشان داد که ۴۵۷۰/۲، ۷۲۶۴/۵،

تغییرات شاخص کارایی مصرف آب حاکی از آن است که روند تغییرات شیب متوسط سالانه در اراضی کشاورزی، بوته‌زار و گراسلند افزایش و در کاربری ساوانا کاهش را نشان داده است (شکل ۲، ت). تغییرات شیب شاخص خشکسالی نشان داد که خشکسالی در همه کاربری‌ها افزایش می‌یابد و شیب تغییرات آن به سمت منفی سوق دارد.

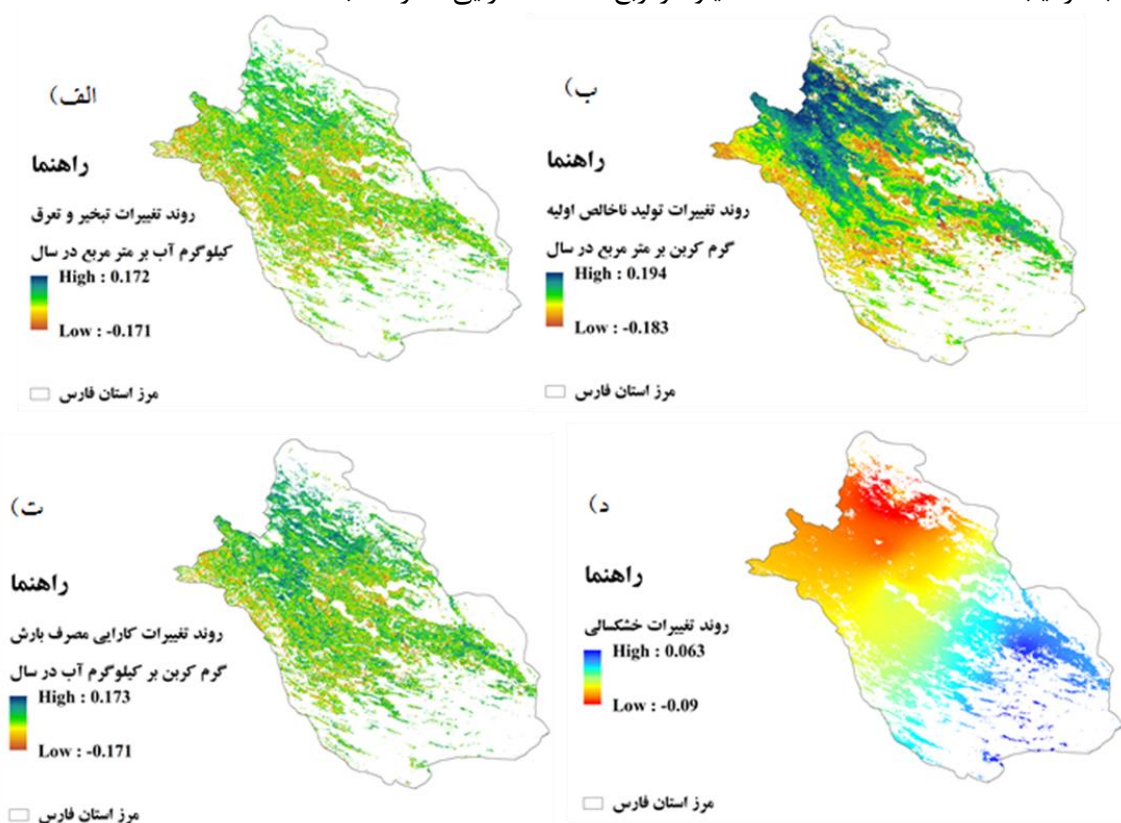
۲.۳. الگو شیب تغییرات مکانی شاخص‌های WUE،

GPP، ET و SPI در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱

تغییرات مکانی شاخص‌های تبخیر و تعرق، تولید ناخالص اولیه، کارایی مصرف آب و خشکسالی در استان فارس در بازه زمانی ۱۷ ساله در شکل (۴) آورده شده است. بررسی شیب تغییرات تبخیر و تعرق در منطقه مورد مطالعه نشان داد که ۲۴/۷۵ درصد از سطح منطقه کاهش و ۷۵/۲۵ درصد افزایش این شاخص را نشان داده است. شاخص تولید ناخالص اولیه در ۲۹/۱ از سطح منطقه مورد مطالعه کاهش اما ۷۰/۹۰ درصد از این سطح این منطقه روند افزایش این شاخص را شاهد بوده است. کارایی مصرف

بوده در حالی که در باقی مانده مساحت این کاربری‌ها کاهش این شاخص مشاهده شده است، کارایی مصرف آب در ۱/۲۵ کیلومترمربع ساوانا که ۶۲/۵ درصد آن را شامل می‌شود دیده شد و در مساحت باقی مانده حاکی از افزایش کارایی مصرف آب است.

۴۶۱۱۹ و ۲ کیلومترمربع از مساحت اراضی کشاورزی، گراسلند، بوتهازار و ساوانا به ترتیب تحت تأثیر خشکسالی می‌باشد. شاخص کارایی مصرف آب نشان می‌دهد که افزایش این شاخص در اراضی کشاورزی، گراسلند، بوتهازار و ساوانا به ترتیب ۴۰۸۵، ۶۶۷۵، ۴۵۰۰۱/۵ کیلومترمربع



شکل ۴. شیب تغییرات تبخیر و تعرق (الف)، تولید ناخالص اولیه (ب)، کارایی مصرف آب (ت) و خشکسالی (د)

جدول ۲. شیب تغییرات شاخص‌های تبخیر و تعرق، تولید ناخالص اولیه، خشکسالی و کارایی مصرف آب در پوشش‌های گیاهی استان فارس در بازه زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۷

شاخص‌ها	شیب تغییرات	اراضی کشاورزی	گراسلند	بوتهازار	ساوانا
تبخیر و تعرق	<۰	۲۹/۱	۷/۹	۳۱/۳	۳۷/۵
	>۰	۷۰/۹	۹۲/۱	۶۸/۷	۶۲/۵
تولید ناخالص اولیه	<۰	۲۷/۶	۳۳	۳۱/۳	۳۷/۵
	>۰	۷۲/۴	۶۷	۶۸/۷	۶۲/۵
خشکسالی	<۰	۱۹/۳	۲/۳	۱۸/۵	۰
	>۰	۸۶/۷	۹۷/۷	۸۱/۵	۱۰۰
کارایی مصرف آب	<۰	۲۱/۶	۱۰/۴	۲۰/۶	۶۲/۵
	>۰	۷۸/۴	۸۹/۶	۷۹/۴	۳۷/۵

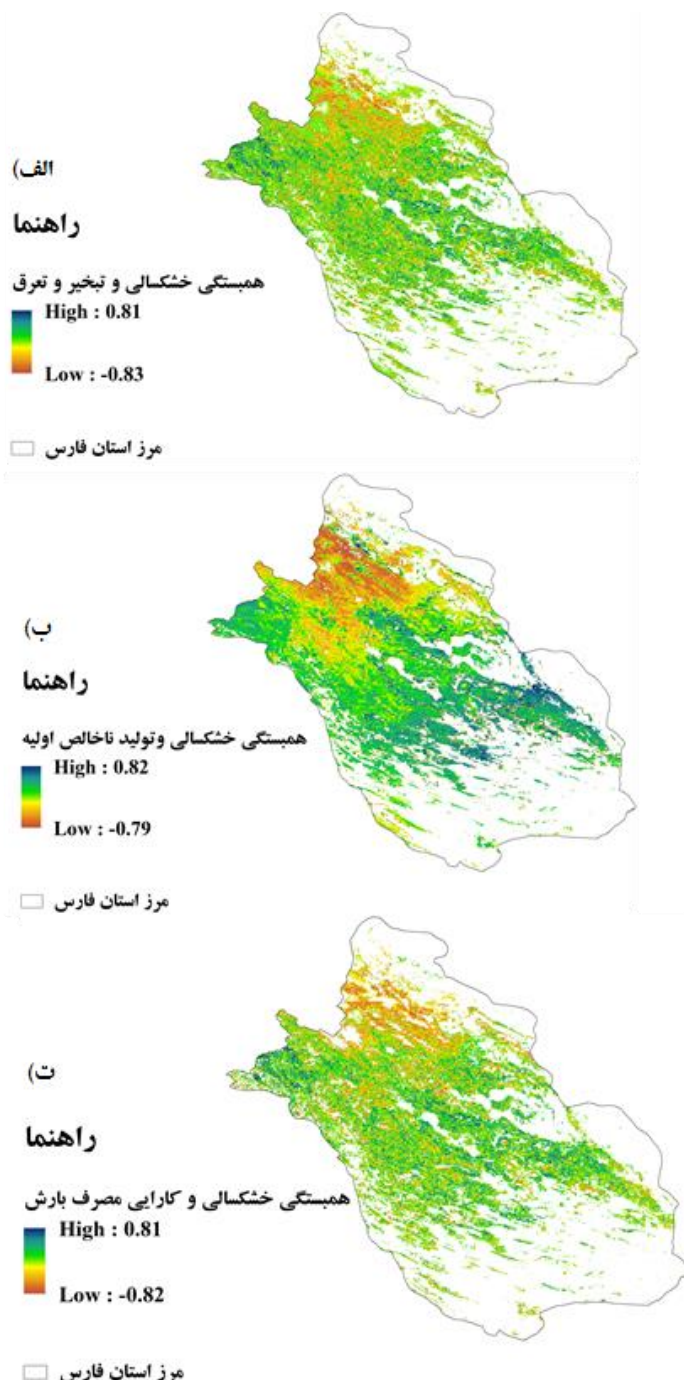
۳,۳. همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی و شاخص‌های تبخیر و تعرق، تولید ناخالص اولیه و کارایی مصرف آب

بررسی اثرگذاری خشکسالی بر شاخص‌های تبخیر و تعرق، تولید ناخالص اولیه و کارایی مصرف آب در شکل (۵) آورده شده است. این بررسی نشان می‌دهد که همبستگی بین خشکسالی و تبخیر و تعرق شکل (۵-الف) در ۲۴/۱ درصد از مساحت مورد مطالعه مثبت بود که از این مقدار ۱/۸ درصد منطقه که معادل ۱۲۵۴/۲ کیلومترمربع می‌باشد همبستگی مثبت معنی‌داری را نشان داده است. همبستگی منفی این دو شاخص در ۷۵/۹ درصد از منطقه دیده شده است که ۱۸/۲ درصد این همبستگی منفی معنی‌دار می‌باشد که حدود ۱۲۵۹۰/۵ کیلومترمربع را شامل شده است. اثر خشکسالی بر تولید ناخالص اولیه (۵-ب) در ۲۰/۵ درصد از منطقه مورد مطالعه مثبت و ۱/۵ درصد از این مقدار معنی‌دار که ۱۰۰۹/۷ کیلومترمربع از این مساحت را در بر می‌گیرد. همبستگی منفی در ۷۵/۹ درصد از منطقه دیده شد که از این مقدار ۲۱/۷ درصد معنی‌دار و حدود ۱۵۰۴۰/۵ کیلومترمربع را شامل شده است. اثر خشکسالی بر کارایی مصرف آب در این بازه زمانی ۱۷ ساله شکل (۵-ت) نشان داد که ۷۳/۹ درصد از سطح مورد مطالعه که معادل ۵۱۲۵۹/۸ کیلومترمربع می‌باشد، از این مقدار ۱۰۲۱۷/۷ کیلومترمربع همبستگی مثبت و معنی‌داری را نشان داده که معادل ۱۴/۷ درصد از سطح مورد مطالعه می‌باشد. همبستگی منفی در ۱۸۰۸۱/۵ کیلومترمربع از این منطقه دیده شده که معادل ۲۶/۱ درصد از منطقه می‌باشد که از این مقدار حدود ۱/۴ درصد معنی‌دار بوده و معادل ۱۰۰۳ کیلومترمربع می‌باشد. بررسی تأثیرگذاری خشکسالی بر شاخص تبخیر و تعرق، تولید ناخالص اولیه و کارایی مصرف آب در پوشش گیاهی مختلف استان فارس در جدول (۳) نشان داده شده است. اثرات خشکسالی بر تبخیر و تعرق در اراضی کشاورزی، گراسلند نشان داد که

به ترتیب در ۶۷/۱، ۶۷/۷ درصد از مساحت مورد مطالعه رابطه مثبت بوده که از این مقدار نیز ۳۳/۴ و ۱۲/۵ درصد مثبت معنی‌دار بوده است. اما در کاربری بوت‌زار و ساواناها بیش از ۶۶/۶ و ۸۷/۵ درصد این رابطه کاهش یافته بود که در کاربری بوت‌زار ۱/۸ درصد این مساحت کاهش معنی‌داری داشته و در کاربری ساوانا رفتار معنی‌داری دیده نشد. بررسی رابطه اثر خشکسالی بر تولید ناخالص اولیه نیز بیانگر اثرگذاری مثبت خشکسالی بر تولید در ۷۵/۹، ۸۷/۳، ۴۰/۹ و ۲۵ درصد اراضی کشاورزی، گراسلند، بوت‌زار و ساوانا که این رابطه مثبت به ترتیب در ۴/۷، ۳/۶ و ۰/۹ درصد از اراضی کشاورزی، گراسلند، بوت‌زار دیده شده در حالی است که هیچ رابطه معنی‌داری در کاربری ساوانا دیده نشده است. تأثیر خشکسالی بر کارایی مصرف آب در کاربری اراضی کشاورزی نشان داد که رابطه مثبت در ۷۵/۹ درصد از این اراضی که معادل ۳۹۴۷ کیلومترمربع دیده شد از این اراضی ۴/۷ که حدود ۲۴۶/۳ کیلومترمربع می‌باشد، رابطه مثبت معنی‌داری را نشان داد، همچنین از ۲۴/۱ درصد از این اراضی که همبستگی منفی نشان داده‌اند ۰/۷ درصد حدود ۳۴/۳ کیلومترمربع را در بر گرفته است رابطه منفی معنی‌دار را نشان داده‌اند. تأثیر خشکسالی بر کارایی مصرف آب در گراسلند نشان داد که بیش از ۸۷ درصد از این مناطق با ۵۴۰۷/۸ کیلومترمربع رابطه مثبت را نشان داده که از این مقدار ۲۲۳/۳ کیلومترمربع رابطه مثبت معنی‌دار و مابقی مساحت این کاربری رابطه منفی با خشکسالی داشته است، که حدود ۱۳ درصد از این کاربری را در بر گرفته است. این اثر پذیری کارایی مصرف آب در بوت‌زار نشان دهنده رابطه مثبت در ۴۰/۹ درصد از این مساحت بوده که تنها ۰/۹ درصد آن معادل ۴۹۴/۳ کیلومترمربع رابطه مثبت معنی‌دار نشان می‌دهد. رابطه منفی این کاربری در حدود ۳۲۵۸۶/۵ کیلومترمربع که حدود ۵۹/۱ درصد آن را شامل شده، دیده شد، از این مقدار منفی تنها ۱/۶ درصد رابطه منفی معنی‌داری داشته است. بررسی این رابطه در کاربری ساوانا نشان داد که ۷۵ درصد از این

کاربری هیچ رابطه معنی داری در اثر پذیری کارایی مصرف آب از خشکسالی دیده نشده است.

مساحت که ۱/۵ کیلومترمربع را شامل شده است. رابطه منفی با خشکسالی داشته و مابقی مساحت باقی مانده رابطه مثبت با خشکسالی نشان داده است که در این



شکل ۵. همبستگی بین خشکسالی تبخیر و تعرق (الف)، خشکسالی و تولید ناخالص (ب) و خشکسالی و کارایی مصرف آب (ت)

جدول ۳. همبستگی بین خشکسالی و شاخص‌های تبخیر و تعرق، تولید ناخالص و کارایی مصرف در پوشش‌های گیاهی مختلف استان فارس

شاخص‌ها	همبستگی	اراضی کشاورزی	گراسلند	بوته‌زار	ساوانا
خشکسالی و تبخیر/تعرق	مثبت و معنی‌دار	۴/۶	۲/۹	۱/۴	۰
	مثبت	۶۲/۵	۶۴/۸	۳۲	۱۲/۵
	منفی	۳۱/۹	۳۱/۹	۶۴/۸	۸۷/۵
	منفی و معنی‌دار	۰/۹	۰/۴	۱/۸	۰
کل					
خشکسالی و تولید ناخالص اولیه	مثبت و معنی‌دار	۴/۷	۳/۶	۰/۹	۰
	مثبت	۷۱/۱	۸۳/۷	۴۰	۲۵
	منفی	۲۳/۵	۱۲/۳	۵۷/۵	۷۵
	منفی و معنی‌دار	۰/۷	۰/۴	۱/۶	۰
کل					
خشکسالی و کارایی مصرف بارش	مثبت و معنی‌دار	۴/۷	۳/۶	۰/۹	۰
	مثبت	۷۱/۱	۸۳/۷	۴۰	۲۵
	منفی	۲۳/۵	۱۲/۳	۵۷/۵	۷۵
	منفی و معنی‌دار	۰/۷	۰/۴	۱/۶	۰
کل					

۴. بحث و نتیجه‌گیری

خشک نشان داد که این تغییرات به عوامل متعددی از قبیل شدت و مدت تداوم خشکسالی و نوع اکوسیستم وابسته است. به طور کلی تفاوت پاسخ‌گویی اکوسیستم‌های مناطق مختلف به خشکسالی می‌تواند به تنوع و حساسیت این اکوسیستم‌ها در واکنش تولید ناخالص اولیه و تبخیر و تعرق به تغییرات خشکسالی باشد [۲۶، ۵۱]. اثرات بارندگی بر کارایی مصرف آب سالانه از روند یکسانی پیروی نمی‌کند، در مناطق خشک و نیمه‌خشک تبخیر و تعرق محدود به آب است و پوشش گیاهی به صورت پراکنده می‌باشد. در اثر افزایش بارندگی اغلب مقدار تولید گیاهان از مقدار تبخیر و تعرق بیشتر می‌شود اما تغییرات اندکی در رشد و نمو گیاهان ایجاد می‌شود، بنابراین WUE در این مناطق کاهش می‌یابد [۴۲].

روند افزایشی و کاهش کارایی مصرف آب در طول سال‌های خشک و مرطوب در کاربری‌ها مختلف متفاوت

در این مطالعه به پاسخ کارایی مصرف آب حاصل از تولیدات سنجنده مودیس شامل تولید ناخالص اولیه (GPP) و تبخیر و تعرق (ET) و شاخص خشکسالی SPI حاصل داده‌های ایستگاه‌های موجود در منطقه مورد مطالعه در بازه زمانی ۲۰۱۷-۲۰۰۱ پرداخته شد. نتایج نشان داد که متوسط کارایی مصرف آب در این ۱۷ ساله ۰/۰۴ گرم کربن بر کیلوگرم آب می‌باشد که حداکثر این شاخص در کاربری ساوانا دیده شده است. مطالعه پاسخ شاخص‌های اکوسیستمی ET، GPP و WUE به شاخص اقلیمی خشکسالی نشان داد که مناطق و اکوسیستم‌های مختلف پاسخ متفاوتی به تغییرات پارامترهای اقلیمی دارند. در بررسی رابطه مثبت و منفی بین این دو شاخص در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک مانند ساوانا و گراسلند نشان داد که تنها در گراسلند این روابط معنی‌دار بوده است. بررسی [۲۶] در مطالعه تغییرات WUE در سال‌های

توسط حساسیت GPP به خشکسالی تعیین می‌شود [۴۴].

پاسخ مثبت کارایی مصرف آب به خشکسالی در بیوم‌های مختلف مناطق خشک و نیمه‌خشک در این مطالعه با تحقیق [۵۱] هم‌خوانی دارد. نتایج بررسی تغییرات خشکسالی در اراضی کشاورزی نیز نشان داد که با توجه به اینکه روند خشکسالی افزایشی بود همچنان تولید در اراضی کشاورزی نیز افزایشی می‌باشد. از آنجایی که تولید در اراضی کشاورزی به طور مستقیم به آب حاصل از آبیاری وابسته است، کشاورزان برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی از آب‌های زیرزمینی برای آبیاری این اراضی استفاده کرده‌اند. [۲۱] در بررسی تغییرات اقلیمی استان فارس بیان کردند که خشکسالی‌های شدیدی در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۱ در این استان رخ داده است. [۱۱] در مطالعه خود بیان کردند در بازه زمانی ۱۷ ساله استان فارس کاهش بارندگی و افزایش دما را تجربه کرده است، از آنجایی کاهش بارندگی و افزایش دما تأثیر مستقیمی بر تأمین آب اراضی کشاورزی و فعالیت‌های مربوطه دارد، این خود نگرانی‌ها را در برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی برای تأمین آب مورد نیاز کشاورزی بالا می‌برد و از آنجایی که روند خشکسالی افزایشی می‌باشد اما در اراضی کشاورزی مقدار تولید از سایر کاربری‌ها بیشتر بوده و روند افزایشی را نشان داده است و تبخیر و تعرق نیز در این کاربری زیاد بوده و نهایتاً WUE نیز بالاست. بنابراین کشاورزان برای تأمین آب مورد نیاز برای افزایش تولید با توجه به کاهش بارندگی با برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی، شرایط را برای آسیب به سلامت منابع آب زیرزمینی، افت آب زیرزمینی، نشست زمین، تخریب اراضی و شرایط برای بیابانی شدن اراضی مهیا می‌نمایند [۲۰].

با توجه به نتایج بالا می‌توان اذعان نمود که با استفاده از تحلیل بلند مدت تغییرات اقلیمی و شاخص‌های تولید و کارایی استفاده از آب برآورد شده از داده‌های سنجش از دوری می‌توان حساسیت اراضی را به تخریب را مورد

بوده که در حالت کلی در کاربری‌های اراضی کشاورزی، گراسلند و بوته‌زار این روند شیب مثبت و افزایشی داشته است در حالی که در ساوانا این روند منفی و کاهش‌ی بوده است. کاهش WUE در سال‌ها و بیوم‌های مختلف نشان دهنده حساسیت اکوسیستم‌ها به تغییرات ناگهانی هیدروکلیماتولوژی اتفاق افتاده است و این تأیید کننده انعطاف و تاب‌آوری اکوسیستم‌ها در برابر تغییرات و آشفتگی‌های رخ داده می‌باشد. مطالعات مختلف نیز بیان کردند که شاخص WUE به خوبی تاب‌آوری و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌ها را در شرایط مختلف نشان خواهد داد [۳۵، ۴۸]. [۳۵] در مطالعه دراز مدت WUE در ایالت متحده آمریکا، پورتوریکو و استرالیا بیان داشتند که بیوم‌های مختلف WUE و ظرفیت اکوسیستم‌های خود را با تغییرات شرایط هیدروکلیماتیک هماهنگ می‌کند. [۵۴] با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس به بررسی کارایی مصرف آب پرداختند، نتایج آن‌ها نشان داد که اکوسیستم‌های مختلف در شرایط خشک و مرطوب رفتار مشابهی نشان دادند که این رفتار را در اثر تغییرات بارش و انعطاف‌پذیری اکوسیستم‌ها در شرایط موجود دانستند. با توجه به مطالعه [۴۶] رشد پوشش گیاهی در اکوسیستم‌های خشک به دلیل انطباق طولانی مدت با شرایط کمبود آب و حفظ افت GPP، واکنش سریعی به اختلال خشکسالی داشته باشد بنابراین کاهش GPP کمتر از کاهش ET است و باعث افزایش WUE تحت شرایط خشکسالی می‌شود. در مقابل، گیاهان در اکوسیستم‌های نیمه‌خشک تا نیمه‌مرطوب سازگاری ضعیفی با خشکسالی دارند و باعث واکنش سریع رشد گیاهان به خشکسالی می‌شوند. اما افزایش تشعشع خورشیدی مرتبط با خشکسالی ET را به دلیل تبخیر خاک افزایش که این افزایش ET نسبت به GPP باعث کاهش کارایی مصرف آب تحت تغییرات خشکسالی می‌شود. این توضیحات به نظر می‌رسد برای جنگل‌های انبوه خیلی مرطوب نامناسب باشد زیرا در مطالعه بلند مدت جنگل‌های استوایی بیان شد که پاسخ WUE عمدتاً

WUE و تولید گیاهان می‌توان به بررسی تخریب اراضی و بیابان‌زایی پرداخت. بررسی طولانی مدت عوامل طبیعی و انسانی امکان بررسی زمانی و مکانی تخریب اراضی و بیابان‌زایی را فراهم می‌کند. عوامل اقلیمی مانند خشکسالی‌های طولانی مدت، افزایش دما ممکن است باعث افزایش تخریب اراضی و بیابان‌زایی در مناطق مختلف گردد. با توجه به محدودیت‌های موجود چارچوب ارائه شده در این مطالعه می‌تواند در ارزیابی و شناسایی کلی تخریب اراضی و بیابان‌زایی و پتانسیل‌های ایجاد کننده آن‌ها در مقیاس‌های جغرافیایی وسیع مورد استفاده قرار گیرد. از آنجایی که تخریب اراضی و بیابان‌زایی از جمله فرآیندهای بیوفیزیکی چند جانبه و تحت تأثیر عوامل اقتصادی-اجتماعی حاکم می‌باشد پیشنهاد می‌شود فاکتورهای مؤثر دیگر در برآورد WUE مانند چرخه CO₂، عوامل ادافیکی خاک و تغییرات تابش خورشید که در این تحقیق مورد مطالعه قرار نگرفته‌اند مطالعه گردد. همچنین پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای با رزولوشن مکانی و زمانی بهتر مانند داده ماهواره لندست و سنتینل به عنوان وردی مدل‌های تجربی برآورد تولیدات گیاهی مانند CASA استفاده گردد و سپس تغییرات کارایی مصرف آب مورد مطالعه قرار گیرد.

تجزیه و تحلیل قرار داد. مطالعه همزمان روند تغییرات تولیدات گیاهان و کارایی مصرف آب نسبت به بررسی جداگانه شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NDVI و یا GPP، به ما این توانایی را می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی و عوامل مؤثر بر آن را با دقت و صحت بیشتری مورد بررسی قرار دهیم. این امر به ویژه برای تعیین مراحل مختلف تخریب اراضی و بیابان‌زایی بسیار مفید است زیرا تخریب اراضی لزوماً همراه با کاهش تولید نیست چون ممکن است گونه گیاهان نسبت به شرایط موجود مقاوم شوند [۴۵] یا گونه‌های مقاوم به شرایط سخت مانند خشکسالی جایگزین پوشش گیاهی موجود گردند که در این شرایط تحلیل روند تولید به سختی روند تخریب اراضی را نشان می‌دهد. اما با استفاده تغییرات WUE می‌توان به خوبی تغییر در پوشش گیاهی در واحد سطح را بررسی و روند تخریب اراضی و بیابان‌زایی را تحلیل و گزارش نمود.

در حالت کلی می‌توان نتیجه گرفت تخمین و تجزیه و تحلیل روند تغییرات WUE و ارتباط آن با عوامل اقلیمی می‌تواند مجموعه‌ای از اطلاعات ارزشمندی در مورد مکانیسم‌های اکوسیستم‌های زمینی در اختیار محقق قرار دهد که با استفاده اطلاعات به دست آمده از رابطه

References

- [1] Abolverdi, J., Ferdosifar, G., Khalili, D. and Kamgar-Haghighi, A.A. (2016). Spatial and temporal changes of precipitation concentration in Fars province, southwestern Iran. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 128(2), 181-196.
- [2] Ahani, H., Kherad, M., Kousari, M.R., Rezaeian-Zadeh, M., Karampour, M.A., Ejraee, F. and 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), 361-3.
- [3] Ahlström, A., Raupach, M.R., Schurgers, G., Smith, B., Arneeth, A., Jung, M., Reichstein, M., Canadell, J.G., Friedlingstein, P. and Jain, A.K. (2015). The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO₂ sink. *Science*, 895-899(6237), 348
- [4] Ahmadi, S., Azarnivand, H., Khosravi, H., Dehghana, P. and Behrang Manesh, M. (2019). Assessment the effect of drought and land use change on vegetation using Landsat data. *Desert*, 24(1), 23-31.
- [5] Behrangmanesh, M., Khosravi, H., Alamdarloo, E. H., Alekasir, M. S., Gholami, A. and Singh, V. P. (2019). Linkage of agricultural drought with meteorological drought in different climates of Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 138(1-2), 1025-1033.

- [6] Cao, R., Hu, Z., Jiang, Z., Yang, Y., Zhao, W., Wu, G., Feng, X., Chen, R. and Hao, G. (2020). Shifts in ecosystem water use efficiency on china's loess plateau caused by the interaction of climatic and biotic factors over 1985–2015. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108100.
- [7] Chasek, P., Akhtar-Schuster, M., Orr, B.J., Luise, A., Ratsimba, H.R. and Safriel, U. (2019). Land degradation neutrality: The science-policy interface from the UNCCD to national implementation. *Environmental Science & Policy*, 92, 182-190.
- [8] Chen, Y., Li, J., Ju, W., Ruan, H., Qin, Z., Huang, Y., Jeelani, N., Padarian, J. and Propastin, P. (2017). Quantitative assessments of water-use efficiency in Temperate Eurasian Steppe along an aridity gradient. *PloS one*, 7, 15-25.
- [9] Cristiano, P., Villa, M.D., De Diego, M., Lacoretz, M., Madanes, N. and Goldstein, G. (2020). Carbon assimilation, water consumption and water use efficiency under different land use types in subtropical ecosystems: from native forests to pine plantations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 291, 108094.
- [10] Eskandari Damaneh, H., Eskandari Damaneh, H., Khosravi, H. and Gholami, H. (2019a). Analysis and monitoring of drought using NDVI index (Case study: the west basin of Jaz Murian wetland). *Rangeland*, 13(3), 461-475.
- [11] Eskandari Damaneh, H., Gholami, H., Mahdavi, R., Khorani, A. and Li, J. (2019b). Evaluation of land degradation trend using satellite imagery and climatic data (Case study: Fars province). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 24(8), 49-64 .
- [12] Eskandari Damaneh, H., Zehtabian, G.R., Khosravi, H., Azarnivan, H. and Barati, A. (2020). Investigation of vegetation changes trend affected by drought in arid and semi-arid regions using remote sensing technique (Case study: Hormozgan province). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 9(28), 25-34.
- [13] Eskandari, H., Borji, M., Khosravi, H. and Mesbahzadeh, T. (2016). Desertification of forest, range and desert in Tehran province, affected by climate change. *Solid Earth*, 7(3), 905-915.
- [14] Feng, Q., Ma, H., Jiang, X., Wang, X. and Cao, S. (2015). What has caused desertification in China? *Scientific reports*, 5, 15998.
- [15] Frank, D., Reichstein, M., Bahn, M., Thonicke, K., Frank, D., Mahecha, M.D., Smith, P., Van der Velde, M., Vicca, S. and Babst, F. (2015). Effects of climate extremes on the terrestrial carbon cycle: concepts, processes and potential future impacts. *Global change biology*, 21(8), 2861-2880.
- [16] Gang, C., Wang, Z., Zhou, W., Chen, Y., Li, J., Chen, J., Qi, J., Odeh, I. and Groisman, P. (2016). Assessing the spatiotemporal dynamic of global grassland water use efficiency in response to climate change from 2000 to 2013. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(5), 343-354.
- [17] Guo, B., Zang, W., Yang, F., Han, B., Chen, S., Liu, Y., Yang, X., He, T., Chen, X., Liu, C. and Gong, R. (2020). Spatial and temporal change patterns of net primary productivity and its response to climate change in the Qinghai-Tibet Plateau of China from 2000 to 2015. *Journal of Arid Land*, 12(1), 1-17.
- [18] Heinsch, F.A., Reeves, M., Votava, P., Kang, S., Milesi, C., Zhao, M., Glassy, J., Jolly, W., Loehman, R. and Bowker, C. (2003). User's guide GPP and NPP (MOD17A2/A3) products NASA MODIS land algorithm. Version, 2, 666-684.
- [19] Huang, L., He, B., Han, L., Liu, J., Wang, H. and Chen, Z. (2017). A global examination of the response of ecosystem water-use efficiency to drought based on MODIS data. *Science of the Total Environment*, 601, 1097-1107.
- [20] Karami, E. and 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.
- [21] Keshavarz, M. and Karami, E. (2014). Farmers' decision-making process under drought. *Journal of arid environments*, 108, 43-56.
- [22] Khosravi, H., Azareh, A., Eskandari Damaneh, H., Erafiei Sardoi, E. And Eskandari Damaneh, H. (2017). Assessing the effects of the climate change on land cover changes in different time periods. *Arabian Journal of Geosciences*, 10, 93 (45).
- [23] Li, D., Tian, P., Luo, H., Hu, T., Dong, B., Cui, Y., Khan, S. and Luo, Y. (2020). Impacts of land use and land cover changes on regional climate in the Lhasa River basin, Tibetan Plateau. *Sci Total Environ*, 742, 140570.
- [24] Liu, D., Yu, C. and Zhao, F. (2018). Response of the water use efficiency of natural vegetation to drought in Northeast China. *Journal of Geographical Sciences*, 28(5), 611-628.

- [25] Liu, H., Yan, R. and Yang, J. (2020). Credibility and statistical characteristics of CAMSRA and MERRA-2 AOD reanalysis products over the Sichuan Basin during 2003–2018. *Atmospheric Environment*, 117980.
- [26] Liu, Y., Xiao, J., Ju, W., Zhou, Y., Wang, S. and Wu, X. (2015). Water use efficiency of China's terrestrial ecosystems and responses to drought. *Scientific reports*, 5(1), 1-12.
- [27] McKee, T.B., Doesken, N.J. and Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*. Boston, 179-183.
- [28] Minelli, S., Erlewein, A. and Castillo, V. (2017). Land degradation neutrality and the UNCCD: from political vision to measurable targets, *International Yearbook of Soil Law and Policy*. Springer, 85-104.
- [29] Mu, Q., Heinsch, F.A., Zhao, M. and Running, S.W. (2007). Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote sensing of Environment*, 1115.19-537(4).
- [30] Mu, Q., Zhao, M. and Running, S.W. (2011). Improvements to a MODIS global terrestrial evapotranspiration algorithm. *Remote Sensing of Environment*, 115(8), 1781-1800.
- [31] Mu, Q., Zhao, M. and Running, S.W. (2013). MODIS global terrestrial evapotranspiration (ET) product (NASA MOD16A2/A3). *Algorithm Theoretical Basis Document, Collection*, 5.
- [32] Nicholson, S.E., Tucker, C.J. and Ba, M. (1998). Desertification, drought, and surface vegetation: An example from the West African Sahel. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79(5), 815-830.
- [33] Nielsen, U.N. and Ball, B.A. (2015). Impacts of altered precipitation regimes on soil communities and biogeochemistry in arid and semi-arid ecosystems. *Global change biology*, 21(4), 1407-1421.
- [34] Pan, S., Yang, J., Tian, H., Shi, H., Chang, J., Ciais, P., Francois, L., Frieler, K., Fu, B. and Hickler, T. (2020). Climate Extreme Versus Carbon Extreme: Responses of Terrestrial Carbon Fluxes to Temperature and Precipitation. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 125(4), e2019JG005252.
- [35] Ponce-Campos, G.E., Moran, M.S., Huete, A., Zhang, Y., Bresloff, C., Huxman, T.E., Eamus, D., Bosch, D.D., Buda, A.R. and Gunter, S.A. (2013). Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. *Nature*, 494, 349-352.
- [36] Ravi, S., Breshears, D., Huxman, T. and D'Odorico, P. (2010). Interactions between geomorphic processes and vegetation at desert margins: Implications for desertification. *Geomorphology*, 116, 236-245.
- [37] Raza, A., Razzaq, A., Mehmood, S.S., Zou, X., Zhang, X., Lv, Y. and Xu, J. (2019). Impact of climate change on crops adaptation and strategies to tackle its outcome: A review. *Plants*, 8(2), 34.
- [38] Running, S.W., Nemani, R.R., Heinsch, F.A., Zhao, M., Reeves, M. and Hashimoto, H. (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *Bioscience*, 54(6), 547-560.
- [39] Salimi, S., Balyani, S., Hosseini, S.A. and Momenpour, S.E. (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.
- [40] Savari, M., Eskandari Damaneh, H. and Eskandari Damaneh, H. (2020). Factors influencing local people's participation in sustainable forest management. *Arabian Journal of Geosciences*, 13(13), 513.
- [41] Sulla-Menashe, D., Gray, J.M., Abercrombie, S.P. and Friedl, M.A. (2019). Hierarchical mapping of annual global land cover 2001 to present: The MODIS Collection 6 Land Cover product. *Remote Sensing of Environment*, 222, 183-194.
- [42] Sun, S., Song, Z., Wu, X., Wang, T., Wu, Y., Du, W. and Lin, X. (2018). Spatio-temporal variations in water use efficiency and its drivers in China over the last three decades. *Ecological Indicators*, 94, 292-304.
- [43] Sun, S., Song, Z., Wu, X., Wang, T., Wu, Y., Du, W., Che, T., Huang, C., Zhang, X. and Ping, B. (2018). Spatio-temporal variations in water use efficiency and its drivers in China over the last three decades. *Ecological Indicators*, 94, 292-304.
- [44] Tan, Z.H., Zhang, Y.P., Deng, X.B., Song, Q.H., Liu, W.J., Deng, Y., Tang, J.W., Liao, Z.Y., Zhao, J.F. and Song, L. (2015). Interannual and seasonal variability of water use efficiency in a tropical rainforest: Results from a 9 year eddy flux time series. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 120(2), 464-479.

- [45] Veron, S., Paruelo, J. and Oesterheld, M. (2006). Assessing desertification. *Journal of Arid Environments*, 66(4), 751-763.
- [46] Vicente-Serrano, S.M., Gouveia, C., Camarero, J.J., Beguería, S., Trigo, R., López-Moreno, J.I., Azorín-Molina, C., Pasho, E., Lorenzo-Lacruz, J. and Revuelto, J. (2013). Response of vegetation to drought time-scales across global land biomes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(1), 52-57.
- [47] Wang, X., Wang, T., Liu, D., Guo, H., Huang, H. and Zhao, Y. (2017). Moisture-induced greening of the South Asia over the past three decades. *Global change biology*, 23(11), 4995-5005.
- [48] Wu, Y., Wu, Z. and Liu, X. (2020). Dynamic Changes of Net Primary Productivity and Associated Urban Growth Driving Forces in Guangzhou City, China. *Environ Manage*, 65(6), 758-773.
- [49] Xu, H.-j., Wang, X.-p., Zhao, C.-y. and Zhang, X.-x. (2019a). Responses of ecosystem water use efficiency to meteorological drought under different biomes and drought magnitudes in northern China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 278, 107660.
- [50] Xu, H., Fan, W., Hu, J., Mao, F. and Dong, H. (2019b). Long-term trend in vegetation gross primary production, phenology and their relationships inferred from the FLUXNET data. *Journal of Environmental Management*, 246, 605-616.
- [51] Yang, H.J., Li, X.Y., Liu, L.J., Ma, J.L. and Wang, J. (2016a). [Estimation of net primary productivity in arid region based on coupling model.]. *Ying Yong Sheng Tai Xue Bao*, 27(6), 1750-1758.
- [52] Yang, Y., Guan, H., Batelaan, O., McVicar, T.R., Long, D., Piao, S., Liang, W., Liu, B., Jin, Z. and Simmons, C.T. (2016b). Contrasting responses of water use efficiency to drought across global terrestrial ecosystems. *Scientific reports*, 6(1), 1-8.
- [53] Yao, J., Liu, H., Huang, J., Gao, Z., Wang, G., Li, D., Yu, H. and Chen, X. (2020). Accelerated dryland expansion regulates future variability in dryland gross primary production. *Nature communications*, 11(1), 1-10.
- [54] Zhang, X., Moran, M.S., Zhao, X., Liu, S., Zhou, T., Ponce-Campos, G.E. and Liu, F. (2014). Impact of prolonged drought on rainfall use efficiency using MODIS data across China in the early 21st century. *Remote Sensing of Environment*, 150, 188-197.
- [55] Zhao, M., Heinsch, F.A., Nemani, R.R. and Running, S.W. (2005). Improvements of the MODIS terrestrial gross and net primary production global data set. *Remote sensing of Environment*, 95(2), 164-176.
- [56] Zhou, Q., Luo, Y., Zhou, X., Cai, M. and Zhao, C. (2018). Response of vegetation to water balance conditions at different time scales across the karst area of southwestern China—A remote sensing approach. *Science of The Total Environment*, 645, 460-470.
- [57] Zou, J., Ding, J., Welp, M., Huang, S. and Liu, B. (2020). Using MODIS data to analyse the ecosystem water use efficiency spatial-temporal variations across Central Asia from 2000 to 2014. *Environmental Research*, 182, 108985.