

## ارزیابی پویایی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS (۲۰۱۵-۲۰۰۰)

محمدصادق کهخاکهن<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل رنجبر فردویی<sup>۲</sup> و سید حجت موسوی<sup>۳</sup>

۱- نویسنده مسئول، کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان

پست الکترونیک: keykhamohammad@yahoo.com

۲- دانشیار، گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۳- استادیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۱۹

### چکیده

خشکسالی و اثرهای آن یکی از نگرانی‌های عمده جهان محسوب می‌شود. ایران به‌عنوان یکی از کشورهای واقع در کمربند خشک کره زمین، همواره با مسائل محیط‌زیستی و مخاطرات طبیعی ناشی از پدیده خشکسالی مواجه بوده و هست. بنابراین، این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از داده‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی، خشکی را در قالب ارزیابی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان در یک بازه ۱۵ ساله (۲۰۱۵-۲۰۰۰) مورد پایش و روندیابی قرار دهد. در این راستا، تصاویر ماهواره‌ای MODIS از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ از طریق اعمال شاخص وضعیت بارش سالانه (PCI) و شاخص بارش استاندارد شده (SPI) مورد پردازش قرار گرفت. سپس با روش طبقه‌بندی نظارتی و تفاضل تصاویر، روند تغییرات خشکسالی ارزیابی گردید. نتایج نشان داد که سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۱ به ترتیب با مساحت ۱۵۷۳۸۳/۰۶ و ۳۰۶/۰۵ کیلومتر مربع بیشترین و کمترین سطح بارش و همچنین با دارا بودن وسعت ۴۹۵۱۱/۱ و ۶۹۲۳۳/۸۳ کیلومتر مربع حداقل و حداکثر سطح خشکسالی را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین شدت تغییرات خشکسالی از لحاظ زمانی مربوط به بازه ۲۰۰۲-۲۰۰۱ بوده و از لحاظ مکانی نیز متعلق به بخش‌هایی از خاش، ایرانشهر و سرباز است که ۱۹۴۳۰۲/۹۳ کیلومتر مربع از سطح استان را شامل می‌شود. در نهایت روند کلی تغییرات بارش کاهشی و خشکسالی نیز از نوع افزایشی است که نیازمند برنامه‌ریزی اساسی در زمینه حفاظت از منابع و مدیریت خطر و بحران برای احیای و ابقای اکوسیستم مناطق خشک می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، خشکی، دورسنجی، داده‌های رقومی، MODIS، سیستان و بلوچستان.

### مقدمه

دوره زمانی نسبتاً طولانی عمل کرده و اثرهای آن ممکن است پس از چندسال و با تأخیر بیشتری نسبت به سایر حوادث طبیعی ظاهر شود (Heidari & Bakhtary, 2015). پدیده خشکسالی با توجه به شدت و وسعت آن خسارت‌های متعددی را در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیستی در مناطق

خشکسالی وضعیتی از کمبود بارش و افزایش دما است که در هر وضعیت اقلیمی ممکن است رخ دهد (Alizadeh, 2007). خشکسالی اغلب به‌عنوان یک پدیده خزننده بیان می‌شود، زیرا برخلاف سایر بلایای طبیعی به تدریج و در یک

در محدوده‌های وسیع برای نیل به هدف فوق، می‌تواند بسیار کارآمد باشد (Vahabi, 1990).

در این زمینه Peters و همکاران (۲۰۰۲) به پایش خشکسالی با استفاده از شاخص NDVI پرداختند و بیان کردند که شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده (SVI)، احتمال انحراف از حالت عادی پوشش گیاهی را بر اساس محاسبات هفتگی مقادیر NDVI توصیف می‌کند. همچنین SVI قادر به ارائه یک شاخص نزدیک به زمان واقعی از وضعیت پوشش گیاهی در مناطق خشک و به‌طور خاص از مناطق مختلف مواجه با خشکسالی است. Zhang و همکاران (۲۰۰۸) به نظارت بر پویایی خشکسالی در منطقه هوانگیو چین با استفاده از شاخص سلامت گیاهی مبتنی بر تصاویر AVHRR در مقایسه با داده‌های زمینی پرداختند و بیان کردند که خشکسالی پایین، پدیده اصلی مشترک در منطقه کشاورزی شمال چین است، علاوه بر این گزارشی از خشکسالی در فصول و مناطق مختلف روندهای متفاوتی را نمایش داده است و یک روند کاهش برای رطوبت خاک در سال‌های اخیر وجود دارد. Cai و همکاران (۲۰۱۱) با استفاده از اطلاعات سنجنده MODIS به پایش منطقه‌ای خشکسالی در یونان پرداختند و نتیجه گرفتند که رشد پوشش گیاهی توسعه نرمال و خوبی نداشته است و باید سیستم پایش خشکسالی احتمالی در آینده توسعه یابد که ممکن است برای دولت محلی و کشاورزان در برخی از اندازه‌گیری‌ها مفید باشد و ضرر و زیان آنها را کاهش دهد. Wang و همکاران (۲۰۱۵) استفاده معمول از شاخص خشکسالی را به‌عنوان شاخصی از رطوبت خاک در منطقه هونگشو وانگ چین بررسی و بیان کردند که کارایی شاخص‌های خشکسالی مولتی اسکالر بهتر از شاخص‌های خشکسالی مدل‌های دولا به سطلی است. Shamsipour و همکاران (۲۰۱۰) کارایی شاخص‌های گیاهی و حرارتی مستخرج از NOAA-AVHRR را در تحلیل خشکسالی منطقه کاشان بررسی نموده و به این نتیجه رسیدند که شرایط دمایی محیط را شاخص‌های حرارتی با دقت بیشتری نمایان می‌کنند و با توجه به حساسیت مناسب شاخص‌های حرارتی نسبت به تغییرات دمایی محیط، بهره‌گیری از داده‌های

مختلف کشور به همراه داشته است (Asgharipour & Bandary, 2010). آنچه امروزه در مدیریت خشکسالی به‌منظور به حداقل رساندن اثرهای سوء آن مدنظر است، انتقال مدیریت بحران به مدیریت خطر به‌عنوان امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در همین راستا پایش خشکسالی و به‌ویژه در نزدیکترین شکل آن به زمان واقعی از ابزارهای کارآمد تحقق این نوع مدیریت است (Tralli et al., 2008). نظر به اهمیت پدیده خشکسالی از دیدگاه محققان رشته‌های علوم مختلف روش‌های مطالعاتی خاصی برای بررسی و ارزیابی آن بیان شده است. ابزار سنجش خشکسالی در هریک از این روش‌ها نمایه‌هایی هستند که توسط محققان آن رشته ارائه شده است. در پایش و تحلیل ویژگی‌های خشکسالی این مسئله مطرح می‌شود که چگونه می‌توان به ارزیابی دقیق این مخاطره طبیعی پرداخت. در این راستا به‌منظور تعیین شدت خشکسالی باید این پدیده از حالت کیفی و توصیفی به صورت کمی و رقمی درآید و برای آن شاخص‌هایی تعریف و ارائه گردد. با تعریف شاخص خشکسالی که در اصل تابعی است از عوامل مختلف محیطی متأثر از خشکسالی که در نهایت به صورت یک عدد نمایش داده می‌شود، می‌توان تصور جامعی از همه این عوامل را فراهم کرد و از آن برای ارزیابی خشکسالی و تصمیم‌گیری درباره آن استفاده نمود که به‌مراتب مفیدتر و ساده‌تر از ردیف‌های متعدد از داده‌های متنوع مرتبط با خشکسالی است. در این مورد از شاخص‌های مختلفی برای کمیّت بخشیدن به شدت خشکسالی استفاده می‌شود. از این‌رو با توجه به نقش شاخص‌ها در تعیین شدت خشکسالی و در نهایت بررسی توأم شدت، مدت و فراوانی این بلای طبیعی، باید از شاخص‌های مؤثر برای ارزیابی خشکسالی و کمیّت بخشیدن به آن استفاده کرد (Shamsnia et al., 2008). سیستم‌های مرسوم پایش خشکسالی که روی داده‌های بارندگی تکیه می‌کنند، با محدودیت اطلاعاتی مواجه هستند و پیاده‌سازی آنها در مناطق با وسعت زیاد با مشکلات متعددی همراه است. از سویی دستیابی به این اطلاعات به‌طور همزمان سخت و یا غیرممکن می‌باشد. در این زمینه تکنولوژی سنجش از دور با شرایط زمانی ممتد، همراه با ویژگی پیوستگی و داده‌برداری

پایش روند خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان در یک بازه ۱۵ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۵) با استفاده از داده‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی مدون شده است.

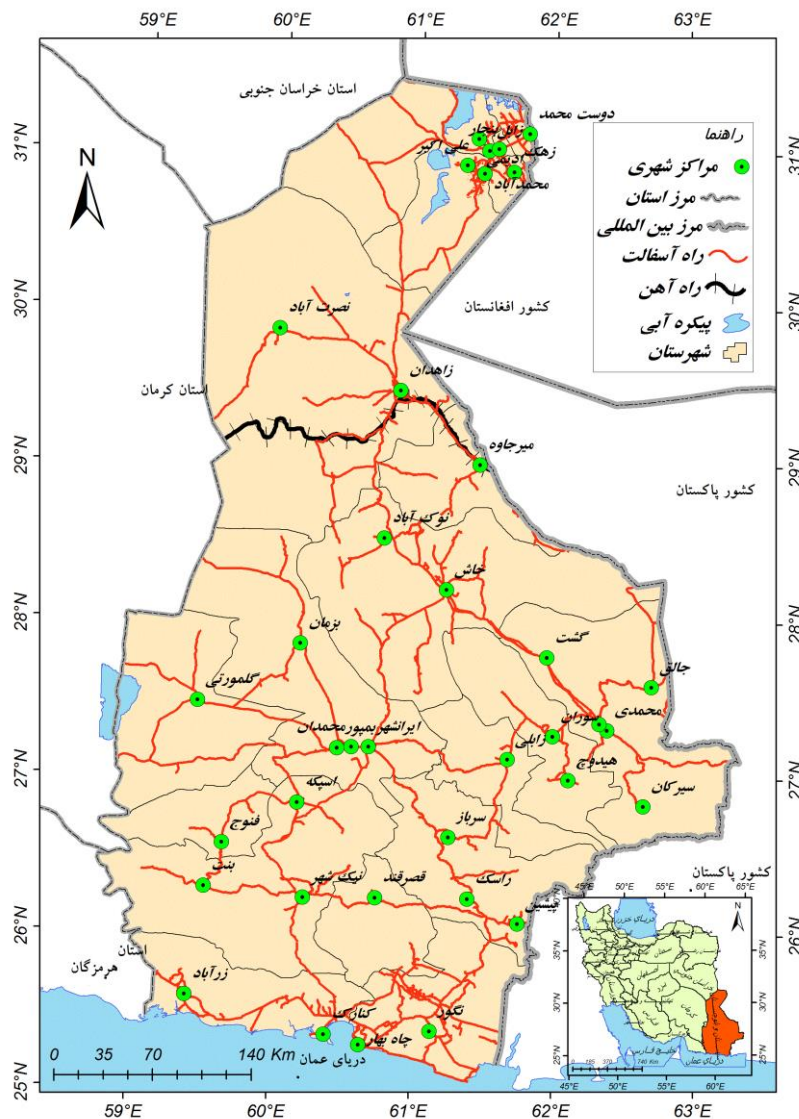
### مواد و روش‌ها

- خصوصیات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان سیستان و بلوچستان با وسعتی حدود ۱۸۷۵۰۲ کیلومتر مربع، در جنوب شرقی ایران و در مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۸ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۱۹ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). این استان از دو منطقه سیستان و بلوچستان تشکیل شده که سیستان شامل منطقه زابل و هیرمند است و بلوچستان گستره‌ای از زهک تا چابهار را دربرمی‌گیرد. از وسعت ۱۸۷۵۰۲۰۰ هکتاری استان، حدود ۲۹/۱ درصد را کوهستان‌ها، ۲۳/۴ درصد را اراضی تپه‌ماهوری، ۱۶/۶ درصد را فلات‌ها و تراس‌های فوقانی، ۳/۷ درصد را دشت‌ها، ۷/۵ درصد را اراضی پست و سیلابی، ۱۲ درصد را واریزه‌ها و آبرفت‌های بادبزی و ۷/۷ درصد را اراضی متفرقه تشکیل داده است. حداقل ارتفاع استان از سطح دریا ۷ متر بوده و مربوط به شهرستان چابهار است و در مقابل حداکثر ارتفاع آن با ۳۹۰۰ متر متعلق به شهرستان خاش و قله تفتان می‌باشد. میانگین بارندگی سالیانه سیستان و بلوچستان که در گروه اقلیم بیابانی قرار دارد از ۵۰ میلی‌متر در کناره‌ها و نواحی پست تا ۲۵۰ میلی‌متر در ارتفاعات تفتان متغیر است. در این استان حدود ۲۴ تیپ گیاهی جنگلی و ۲۰۰ تیپ گیاهی مرتعی شناخته شده است که از جمله گونه‌های آن می‌توان به داز (*Nannorrhops ritchieana*)، کهور (*Prosopis specigera*)، کنار (*Ziziphus*)، پسته و بادام کوهی (*Amygdalus- Pistacia*)، پیر (*Salvadora persica*)، کلیر (*Caparis decodua*)، گز (*Tamarix spp*) و تاغ (*Haloxylon ammodendron*) اشاره کرد. با توجه به آب‌وهوای بیابانی سیستان و بلوچستان و شدت بالای تبخیر و تعرق، عموماً منابع آب آن از طریق چشمه‌ها، چاه‌های عمیق و نیمه‌عمیق و رودخانه‌های فصلی و موقت تأمین می‌شود

دورسنجی در مطالعات محیطی مناطق خشک و بیابانی توصیه می‌شود. Jahandideh و Shirvani (۲۰۰۱) با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده و مجموعه زمانی به پیش‌بینی خشکسالی در استان فارس پرداختند و بیان کردند که ضریب همبستگی بین مقادیر SPI مشاهده و پیش‌بینی شده ۰/۷۴ می‌باشد و در سطح ۱٪ معنی‌دار است. Ba-aghideh و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی امکان استفاده از شاخص NDVI در تحلیل خشکسالی‌های استان اصفهان با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA در دوره آماری ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۳ پرداختند و بیان نمودند که این شاخص می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی و پایش خشکسالی باشد و ارزش آن در مناطقی که داده‌های هواشناسی بسیار پراکنده هستند و یا مجموعه زمانی مرتب و مداوم ندارند، بسیار بالاست. Zarea-Abianeh و همکاران (۲۰۱۵) به تحلیل و پایش خشکسالی هواشناسی منطقه سیستان و بلوچستان پرداختند و نتیجه گرفتند که شاخص SDI در مقایسه با شاخص‌های PC، ZI، PNPI و RAI در مقیاس فصلی و سالانه برآوردهای قابل قبول‌تری را ارائه می‌دهد و نتایج آن مبین این واقعیت است که خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان رو به افزایش است که بتدریج بر شدت آن نیز افزوده می‌شود.

بروز و تداوم خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان، به‌عنوان یک منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران، یکی از پدیده‌های اقلیمی اجتناب‌ناپذیر است که تداوم طولانی‌مدت آن منجر به ایجاد پدیده خشکی شده است. خطرات خشکی به دلیل یافتن سیستم‌های حیاتی با وضعیت متعارف اقلیمی مناطق خشک در مقایسه با خشکسالی که تنش‌های شدید حیاتی را برای اکوسیستم‌های منطقه ایجاد می‌کند، به مراتب کمتر است. با توجه به حجم خسارتهایی که از طریق خشکسالی بر پیکره اقتصادی، محیطی و اجتماعی جوامع در دو سطح افقی و عمودی وارد می‌شود، بررسی و کاهش تأثیرات آن در مناطق خشکی همانند استان سیستان و بلوچستان از اهمیت بالایی برخوردار است (Rahimi et al., 2009). بنابراین، این پژوهش بر پایه هدف اصلی ارزیابی و



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان سیستان و بلوچستان

روش‌شناسی پژوهش

رسیدن به اهداف، ابتدا محدوده استان سیستان و بلوچستان تعیین و بعد مبادرت به جمع‌آوری و تکمیل پایگاه داده‌های فضایی از طریق اخذ تصاویر سنجنده MODIS از وبگاه NASA (landsweb) گردید. در مرحله بعد تخمین مقدار و وضعیت بارش با استفاده از شاخص PCI (رابطه ۱) و از طریق اعمال تابع آن بر روی تصاویر انجام شد. تعیین طبقات بارشی نیز براساس تغییرپذیری مکانی مقدار آن در ایران و براساس جدول (۱) انجام گردید.

این پژوهش از نوع کاربردی بوده و روش‌شناسی آن تلفیقی از تجزیه و تحلیل تصاویر دورسنجی و داده‌های مکانی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است. پایگاه داده این پژوهش برای پایش خشکسالی، تصاویر ماهواره‌ای Terra، سنجنده MODIS با توان تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و توان تفکیک زمانی ۸ و ۱۶ روز می‌باشد. برای پردازش تصاویر از نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI استفاده شده است. برای

$$PCI = \frac{P_i - P_{\min}}{P_{\max} - P_{\min}}$$

رابطه (۱)

این است که براساس آن می‌توان آستانه خشکسالی را برای هر دوره زمانی تعیین کرد و برای کمی کردن کمبود بارش یا میزان خشکسالی در بازه‌های زمانی چندگانه (۳،۶،۱۲،۲۴،۴۸ ماهه) طراحی شده است. بنابراین بر اساس این شاخص علاوه بر محاسبه شدت خشکسالی، مدت آن را نیز می‌توان تعیین نمود. شاخص خشکسالی بر اساس احتمال بارش برای هر بازه زمانی می‌باشد و به‌منظور هشدار اولیه و پایش شدت خشکسالی اهمیت زیادی دارد.

$$SPI = \frac{P_{ij} - \bar{P}_{im}}{\delta}$$

رابطه (۲)

جدول ۲- درجه‌بندی شدت خشکسالی براساس مقادیر شاخص SPI (McKee) و همکاران، ۱۹۹۳، ۱۷۹

حدود SPI	توصیف رخداد
بزرگتر یا مساوی ۲	فرامرطوب
۱/۵ تا ۱/۹۹	بسیار مرطوب
۱ تا ۱/۴۹	نسبتاً مرطوب
۰ تا ۰/۹۹	تقریباً نرمال
۰ تا -۰/۹۹	تقریباً نرمال
-۱ تا -۱/۴۹	نسبتاً خشک
-۱/۵ تا -۱/۹۹	بسیار خشک
کوچکتر یا مساوی -۲	فراخشک

سال پایانی بازه هستند.

$$\Delta = X_{ij} - X_{ij-1}$$

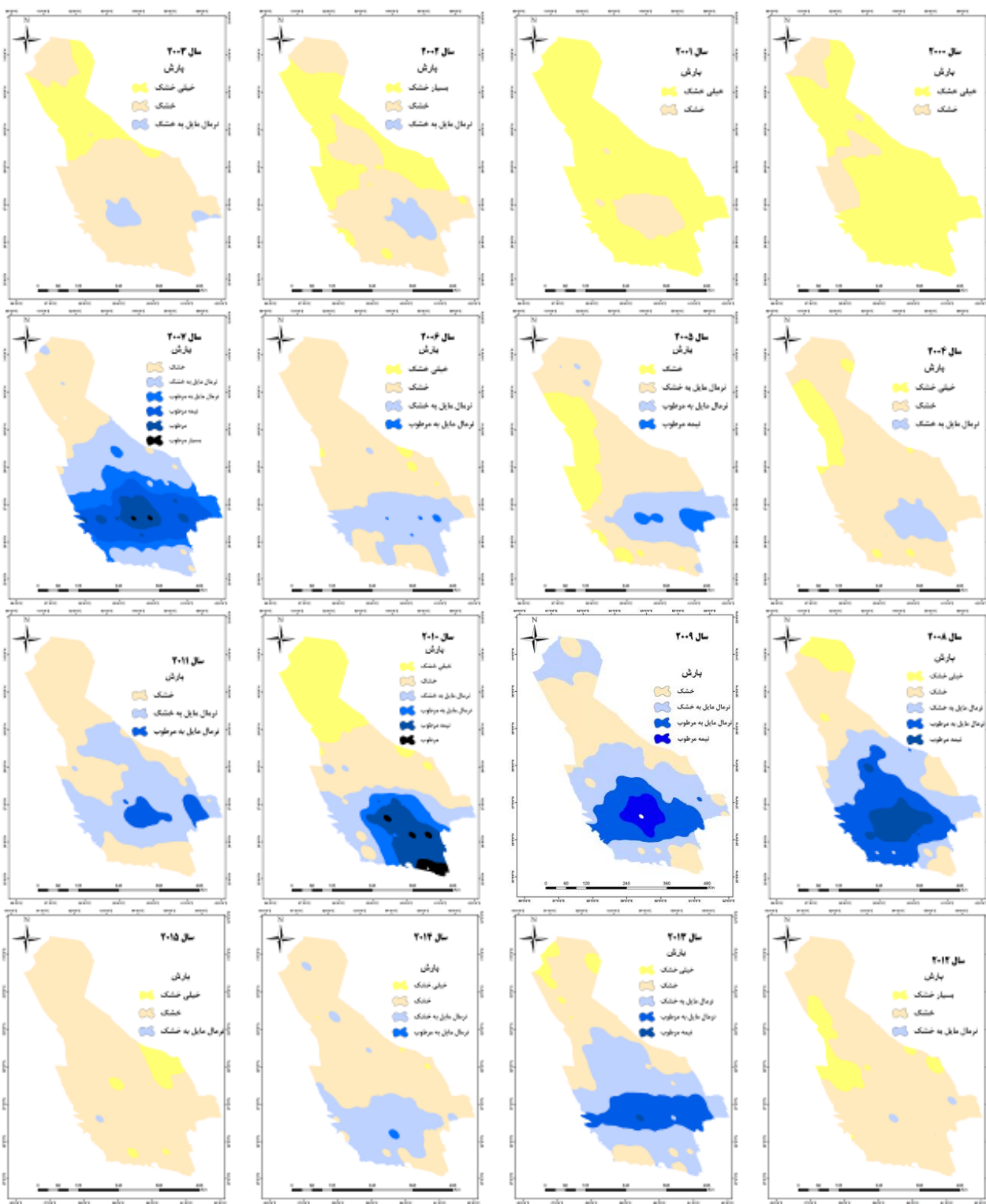
رابطه (۳)

جدول ۱- تعیین طبقات بارشی براساس مقدار (اقتباس از خسروی و همکاران، ۱۳۹۳، ۱۲۸)

مقدار بارش	توصیف رخداد
کمتر از ۶۹/۲۵	بسیار خشک
۶۹/۲۵ تا ۱۵۱/۳۱	خشک
۱۵۱/۳۱ تا ۲۱۲/۰۶	نرمال
۲۱۲/۰۶ تا ۲۷۵/۸۵	نرمال
۲۷۵/۸۵ تا ۳۴۵/۷۲	نیمه مرطوب
۳۴۵/۷۲ تا ۴۲۱/۶۷	مرطوب
بالاتر از ۴۲۱/۶۷	بسیار مرطوب

پس از آن مبادرت به تعیین شدت و روند خشکسالی استان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده (SPI) (رابطه ۲) گردید و وضعیت خشکسالی نیز بر مبنای آستانه‌های شاخص مزبور (جدول ۲) تعیین شد. شاخص SPI که توسط McKee و همکاران (۱۹۹۳) معرفی شد، یکی از شاخص‌های پایش دوره‌های خشک است که در آن مقیاس زمانی برای پایش دوره مدنظر قرار می‌گیرد و مقیاس‌های زمانی کوتاه و بلندمدت نیز به‌ترتیب در بخش‌های کشاورزی و آبهای زیرزمینی بکار برده می‌شود. این شاخص بر اساس تفاوت بارش ( $P_{ij}$ ) از میانگین ( $\bar{P}_{im}$ ) برای یک مقیاس زمانی مشخص و بعد تقسیم آن بر انحراف معیار ( $\delta$ ) به‌دست می‌آید (رابطه ۲) و تنها فاکتور مؤثر در محاسبه آن عنصر بارندگی است. ویژگی دیگر شاخص SPI

در نهایت از طریق تفاضل تصاویر به صورت سالانه (رابطه ۳) نوع و روند تغییرات بارش و خشکسالی در قالب سه نوع تغییرات کاهشی، تغییرات افزایشی و بدون تغییر مورد بررسی قرار گرفت. در رابطه (۳)  $\Delta$ : نوع تغییرات حادث شده در بازه زمانی،  $X_{ij-1}$ : نقشه سال ابتدایی و  $X_{ij}$ : نقشه



شکل ۲- نقشه بارش استان سیستان و بلوچستان براساس داده‌های ماهواره‌ای MODIS در بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

در ۲۰۰۷ با دامنه بارش ۶۹ تا ۴۲۲ میلی‌متر به ترتیب خشک‌ترین و مرطوب‌ترین سال‌های مورد بررسی هستند. نتایج مساحت‌سنجی طبقات بارش استان سیستان و بلوچستان و همچنین روند تغییرات مساحتی طبقات بارش در بازه مورد بررسی به ترتیب به صورت جدول (۳) و شکل (۳) می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۷ با مساحت ۳۰۶/۰۵ کیلومتر مربع بیشترین سطح بارشی و سال ۲۰۰۱ با مساحت ۱۵۷۳۸۳/۰۶ کیلومتر مربع کمترین سطح بارش را دارد.

در پایان با ارزیابی مقایسه‌ای مقادیر خشکسالی و همچنین تعیین روند تغییرات آن در طی زمان، مبادرت به ارزیابی پویایی خشکی در استان سیستان و بلوچستان گردید.

### نتایج

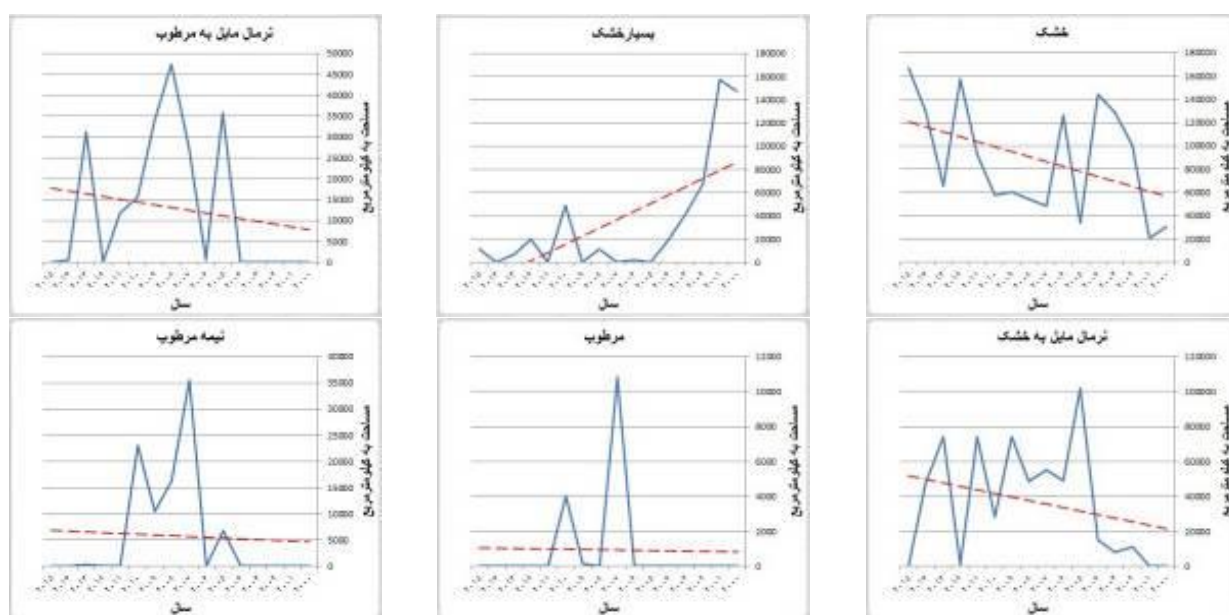
نتایج حاصل از پایش مقادیر عنصر بارش در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از تصاویر MODIS در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به صورت شکل (۲) می‌باشد که نشان می‌دهد سال ۲۰۰۱ با دامنه بارش ۶۹ تا ۱۳۱ میلی‌متر و سال

جدول ۳- نتایج مساحت‌سنجی طبقات بارش در استان سیستان و بلوچستان (مساحت به کیلومتر مربع)

طبقات بارشی	بسیار خشک	خشک	نرمال مایل به خشک	نرمال مایل به مرطوب	نیمه مرطوب	مرطوب	بسیار مرطوب
بارش (mm)	۶۹/۲۵ <	۶۹/۲۵ تا ۱۵۱/۳۱	۱۵۱/۳۱ تا ۲۱۲/۰۶	۲۱۲/۰۶ تا ۲۷۵/۸۵	۲۷۵/۸۵ تا ۳۴۵/۷۲	۳۴۵/۷۲ تا ۴۲۱/۶۷	۴۲۱/۶۷ >
۲۰۰۰	۱۴۷۵۲۶/۶۱	۳۰۶۸۳/۴۶	-	-	-	-	-
۲۰۰۱	۱۵۷۳۸۳/۰۶	۲۰۸۳۷/۸۷	-	-	-	-	-
۲۰۰۲	۶۷۳۵۲/۹۶	۹۹۸۶۹/۴۶	۱۱۰۰۱/۶۹	-	-	-	-
۲۰۰۳	۴۱۲۹۵/۰۵	۱۲۸۸۱۵/۰۶	۸۱۱۰/۹۲	-	-	-	-
۲۰۰۴	۱۹۰۴۳/۸۷	۱۴۴۱۸۵/۰۹	۱۴۹۹۲/۳۶	-	-	-	-
۲۰۰۵	-	۳۳۶۴۶/۸۷	۱۰۲۰۱۵/۱۹	۳۵۷۲۹/۲۷	۶۸۳۰/۳۰	-	-
۲۰۰۶	۲۱۳۹/۲۴	۱۲۶۴۳۹/۶۰	۴۸۹۶۸/۱۳	۶۷۵/۷۷	-	-	-
۲۰۰۷	۵۳/۳۸	۴۸۷۰۲/۰۹	۵۵۳۱۲/۰۲	۲۷۳۹۶/۳۸	۳۵۶۰۳/۶۱	۱۰۸۵۰/۰۳	۳۰۶/۰۵
۲۰۰۸	۱۱۷۲۸/۵۵	۵۴۱۲۶/۸۱	۴۸۶۹۵/۰۶	۴۷۳۹۷/۲۶	۱۶۲۷۶/۵۲	-	-
۲۰۰۹	-	۵۹۹۴۸/۱۰	۷۳۹۱۷/۰۴	۳۳۸۰۲/۴۷	۱۰۴۳۲/۹۹	۱۲۳/۸۳	-
۲۰۱۰	۴۹۰۵۶/۴۱	۵۷۸۹۹/۶۴	۲۸۴۸۷/۱۴	۱۵۵۸۴/۹۱	۲۳۱۲۱/۵۰	۴۰۳۸/۶۸	-
۲۰۱۱	-	۹۲۴۵۸/۹۰	۷۴۰۳۴/۶۸	۱۱۷۲۹/۹۰	-	-	-
۲۰۱۲	۱۹۸۷۴/۹۹	۱۵۷۳۷۱/۷۴	۹۷۵/۷۰	-	-	-	-
۲۰۱۳	۶۹۳۸/۲۰	۶۵۷۲۴/۷۴	۷۴۰۲۰/۹۵	۳۱۲۲۳/۲۶	۳۱۷/۰۱	-	-
۲۰۱۴	۳۹۸/۴۸	۱۲۹۳۹۹/۸۴	۴۷۷۵۷/۸۶	۶۶۷/۷۰	-	-	-
۲۰۱۵	۱۱۳۰۳/۱۳	۱۶۶۵۴۲/۴۴	۳۷۶/۴۱	-	-	-	-

غیریکنواخت در مجموع سیر صعودی افزایش مساحت را نشان می‌دهد. در طبقات بارشی نرمال مایل به خشک و نرمال مایل به مرطوب نیز با وجود بی‌نظمی، در کل حکایت از سیر صعودی است. در طبقات بارشی نیمه مرطوب و مرطوب نیز تنها تغییرات افزایشی تقریباً در بازه زمانی ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ وجود داشته و در کل روند ثابت و بدون تغییر را نشان می‌دهد (شکل ۳).

نتایج روند تغییر پذیری مساحت طبقات بارش در استان سیستان و بلوچستان نشان می‌دهد که مناطق دارای طبقه بارشی بسیار خشک از روند ثابتی پیروی نمی‌کند. بدین صورت که به طور نامنظم در دوره‌ای افزایش و در دوره‌ای کاهش مساحت دارند، با وجود این در مجموع سیر نزولی و روند کاهش مساحت را نشان می‌دهد. عکس همین روند در مناطق دارای طبقه بارشی خشک مشاهده می‌شود، بدین صورت که با وجود روند نامنظم و



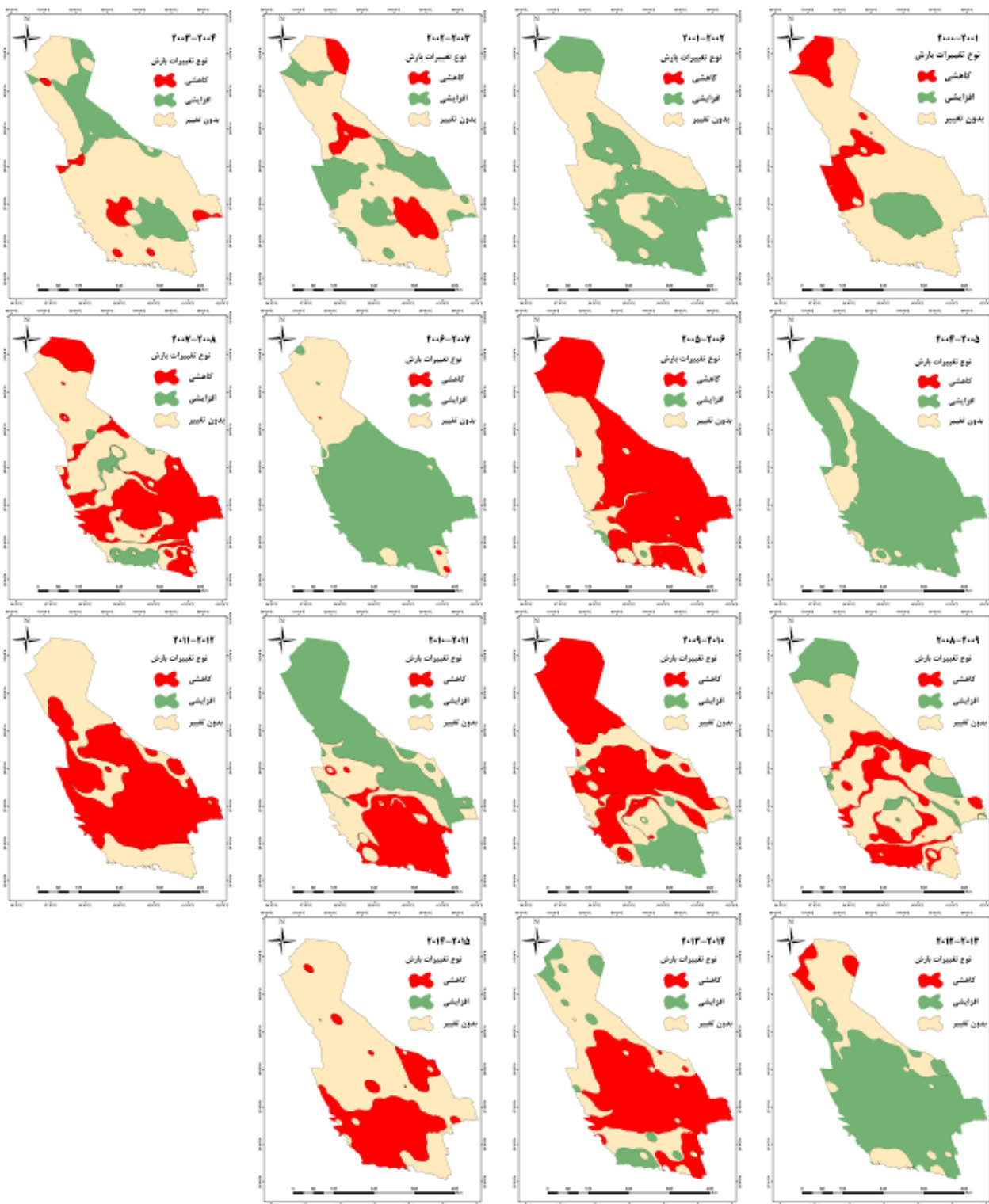
شکل ۳- روند تغییر پذیری مساحت طبقات بارش در طی بازه زمانی ۱۵ ساله در استان سیستان و بلوچستان

و بلوچستان به صورت جدول (۴) و شکل (۵) می‌باشد. نتایج حکایت از آن دارد که بیشترین مساحت تغییرات کاهش با مقدار ۱۳۲۳۱۰/۷۸ کیلومتر مربع مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۶-۲۰۰۵ است که در کل دوره آماری مساحتی برابر با ۷۲۵۸۶۸/۵۰ کیلومتر مربع دارای تغییرات کاهش بارش بوده است.

نتایج حاصل از بارزسازی تغییرات بارش استان سیستان و بلوچستان که با استفاده از روش تفاضل تصاویر در قالب سه طبقه کاهش، افزایش و بدون تغییر در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ مورد بررسی قرار گرفته است، به صورت شکل (۴) می‌باشد.

نتایج مساحت‌سنجی طبقات تغییر و همچنین روند تغییر پذیری مساحت طبقات تغییر بارش در استان سیستان





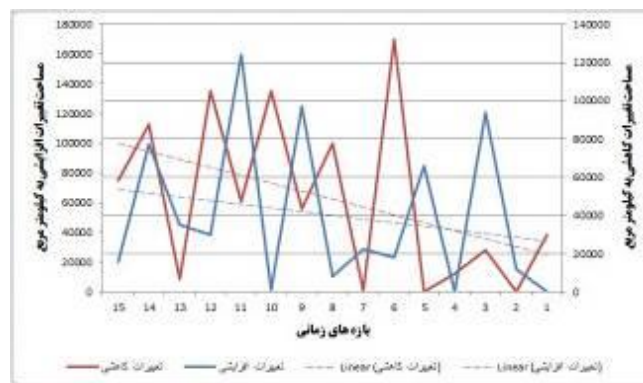
شکل ۴- نقشه‌های بارسازی تغییرات بارش در استان سیستان و بلوچستان طی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

جدول ۴- مساحت طبقات تغییرات بارزسازی شده بارش در استان سیستان و بلوچستان طی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به کیلومتر مربع

بازه زمانی	نوع تغییرات بارش			
	افزایشی	بدون تغییر	کاهشی	
میلادی	هجری شمسی	کاهشی	بدون تغییر	افزایشی
۲۰۰۰-۲۰۰۱	۱۳۸۰-۱۳۷۹	۲۹۹۱۷/۳۱	۱۲۸۲۰۸/۶۴	۲۰۰۷۴/۳۵
۲۰۰۱-۲۰۰۲	۱۳۸۱-۱۳۸۰	-	۷۸۹۱۱/۵۴	۹۹۳۰۴/۱۹
۲۰۰۲-۲۰۰۳	۱۳۸۲-۱۳۸۱	۲۱۸۰۹/۴	۱۱۱۴۳۳/۳۹	۴۴۹۷۵/۰۸
۲۰۰۳-۲۰۰۴	۱۳۸۳-۱۳۸۲	۹۵۳۹/۸۲	۱۳۰۰۵/۵۷	۳۸۶۷۰/۷۱
۲۰۰۴-۲۰۰۵	۱۳۸۴-۱۳۸۳	-	۱۸۶۴۶/۹۲	۱۵۹۵۶۶/۷۲
۲۰۰۵-۲۰۰۶	۱۳۸۵-۱۳۸۴	۱۳۲۳۱۰/۷۸	۴۴۶۷۲/۲۵	۱۲۳۰/۲۹
۲۰۰۶-۲۰۰۷	۱۳۸۶-۱۳۸۵	۵۵۹/۴۳	۵۲۷۰۰/۲۷	۱۲۴۹۵۵/۲۹
۲۰۰۷-۲۰۰۸	۱۳۸۷-۱۳۸۶	۷۷۸۲۴/۵۴	۸۹۹۸۴/۱	۱۰۴۰۶/۵۹
۲۰۰۸-۲۰۰۹	۱۳۸۸-۱۳۸۷	۴۳۴۴۱/۰۹	۱۰۵۷۹۱/۴۳	۲۸۹۸۰/۲
۲۰۰۹-۲۰۱۰	۱۳۸۹-۱۳۸۸	۱۰۵۲۵۱/۴۱	۴۹۷۰۱/۱۴	۲۳۲۲۷/۹
۲۰۱۰-۲۰۱۱	۱۳۹۰-۱۳۸۹	۴۷۴۹۴/۳۱	۴۶۱۱۴/۱۶	۸۴۵۷۳/۰۹
۲۰۱۱-۲۰۱۲	۱۳۹۱-۱۳۹۰	۱۰۵۳۰۷/۵۹	۷۲۹۱۰/۵۱	-
۲۰۱۲-۲۰۱۳	۱۳۹۲-۱۳۹۱	۶۵۳۸/۳	۵۰۹۴۹/۳۲	۱۲۰۷۲۶/۳۱
۲۰۱۳-۲۰۱۴	۱۳۹۳-۱۳۹۲	۸۷۴۷۱/۳	۷۵۵۹۹/۳۱	۱۵۱۴۶/۳۶
۲۰۱۴-۲۰۱۵	۱۳۹۴-۱۳۹۳	۵۸۴۰۳/۲۲	۱۱۹۷۶۸/۲	۴۲/۸۴

مجموع سیر صعودی و افزایش مساحت تغییرات کاهشی را دارد که نشان از کاهش رطوبت است. در طبقه بدون تغییر نیز چنین روندی مشاهده می‌گردد که با وجود بی‌نظمی در کل روند صعودی و افزایش مساحت را دارا می‌باشد (شکل ۵).

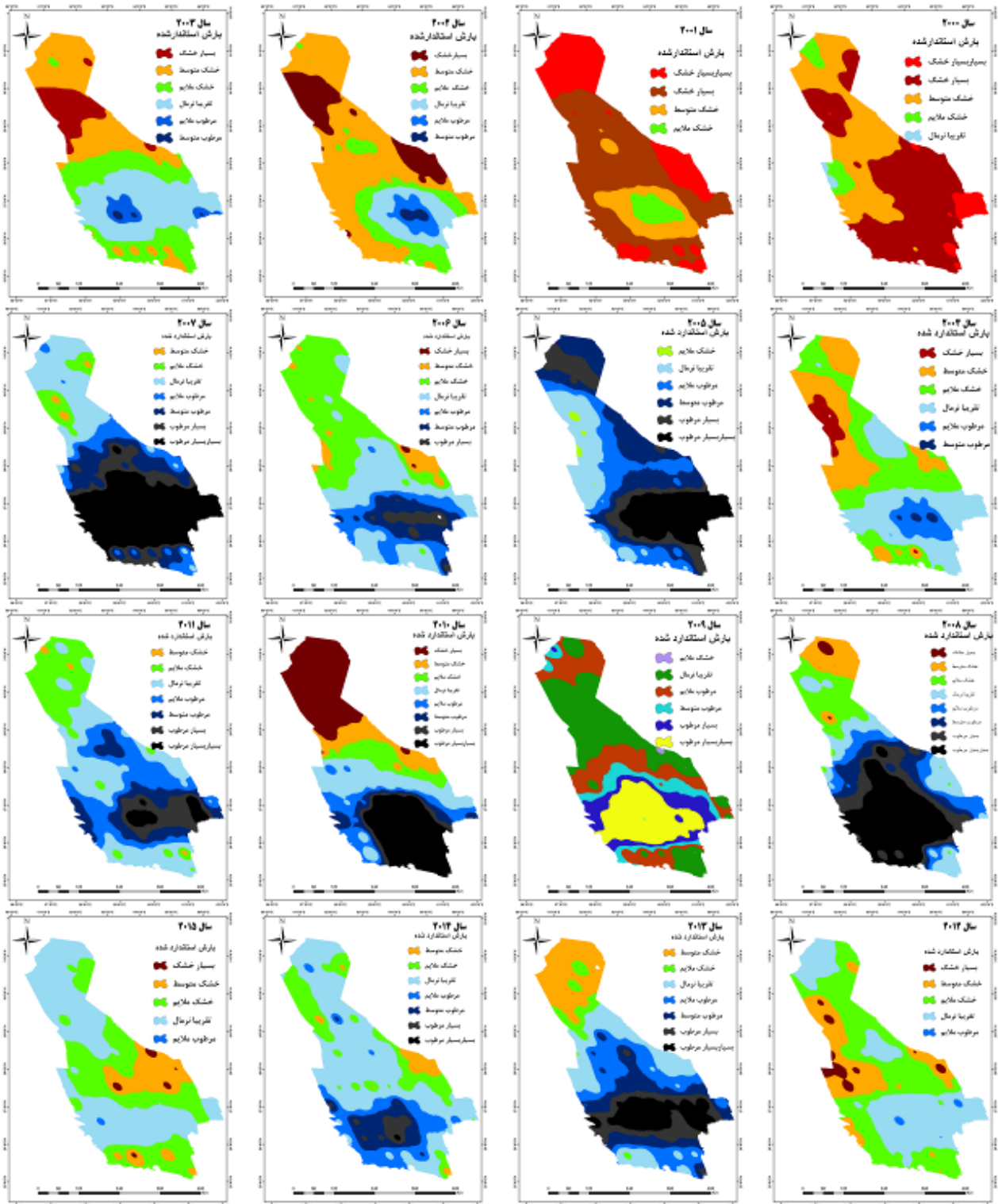
روند تغییرپذیری مساحت تغییرات کاهشی نشان می‌دهد که از روند یکنواختی پیروی نمی‌کند، بدین معنی که به‌طور نامنظم در دوره‌ای افزایش و در دوره‌ای کاهش مساحت را به نمایش می‌گذارند، اگرچه روند تغییرات منظم نیست، اما در



شکل ۵- روند تغییرپذیری مساحت طبقات تغییر بارش در استان سیستان و بلوچستان طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

شکل (۶) می‌باشد که نقشه‌های خشکسالی منطقه مورد مطالعه را در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به تصویر کشیده است.

نتایج حاصل از پایش وضعیت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده به صورت



شکل ۶- نقشه‌های وضعیت خشکسالی استان سیستان و بلوچستان براساس شاخص SPI طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

مساحت ۶۹۲۳۳/۸۳ کیلومتر مربع کمترین سطح خشکسالی و سال ۲۰۰۱ با دارا بودن مساحت ۴۹۵۱۱/۱۰ کیلومتر مربع بیشترین سطح خشکسالی را دارد (جدول ۵).

نتایج حاصل از مساحت سنجی طبقات خشکسالی استان سیستان و بلوچستان و همچنین روند تغییرات مساحتی آنها در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به صورت جدول (۵) و شکل (۷) می باشد. نتایج نشان می دهد که سال ۲۰۰۷ با دارا بودن

جدول ۵- مساحت طبقات خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به کیلومتر مربع

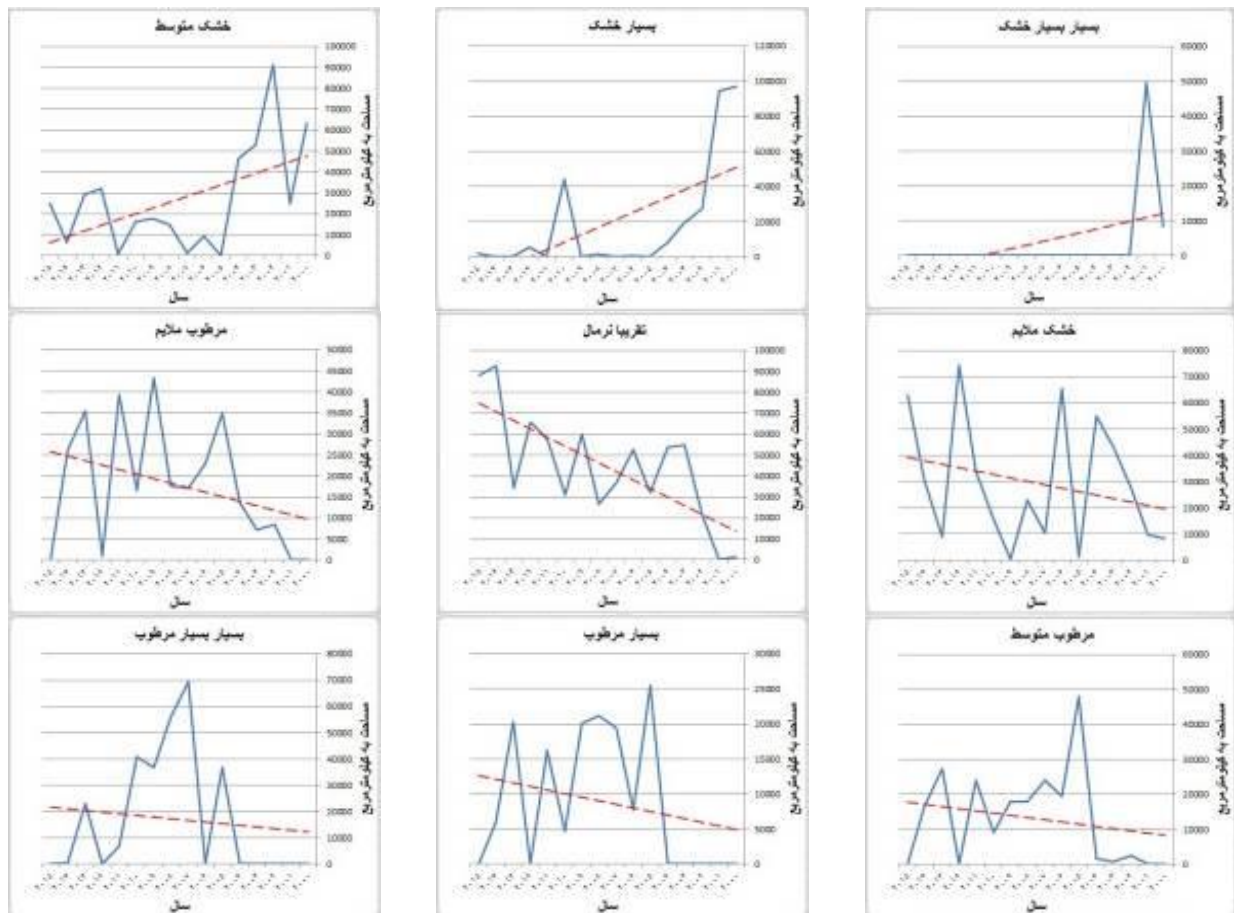
طبقات خشکسالی	فراخشک	بسیار خشک	خشک متوسط	خشک ملایم	تقریباً نرمال	مرطوب ملایم	مرطوب متوسط	بسیار مرطوب	فرامرطوب
مقدار SPI	$-2 \leq$	-۱/۹۹ تا -۱/۵	-۱/۴۹ تا -۱	-۰/۹۹ تا -۰/۵	-۰/۴۹ تا -۰/۴۹	۰/۹۹ تا ۰/۵	۱/۴۹ تا ۱	۱/۵ تا ۱/۹۹	$2 \geq$
۲۰۰۰	۸۴۷۰/۷۶	۹۶۷۳۹/۵۸	۶۳۲۱۹/۳۲	۸۴۰۷/۶۴	۱۳۸۷/۳۸	-	-	-	-
۲۰۰۱	۴۹۵۱۱/۱۰	۹۴۴۴۷/۵۲	۲۴۵۳۰/۰۹	۹۷۳۲/۲۷	-	-	-	-	-
۲۰۰۲	-	۲۷۳۲۳/۳۵	۹۰۹۱۵/۴۵	۲۷۷۵۶/۹۱	۲۱۲۷۷/۷۸	۸۵۴۲/۶۷	۲۴۰۵/۶۰	-	-
۲۰۰۳	-	۱۹۵۲۲/۳۷	۵۲۹۷۸/۹۸	۴۳۰۷۶/۷۱	۵۴۶۰۴/۲۸	۷۲۱۰/۹۶	۸۲۸/۹۸	-	-
۲۰۰۴	۲۸/۹۴	۸۰۳۷/۵۷	۴۶۳۱۱/۸۶	۵۴۹۲۳/۷۹	۵۳۶۹۶/۹۴	۱۳۶۹۱/۰۳	۱۵۳۳/۴۲	-	-
۲۰۰۵	-	-	-	۱۳۴۳/۹۲	۳۱۸۳۷/۵۱	۳۴۸۶۶/۷۲	۴۸۰۳۵/۱۰	۲۵۴۶۲/۷۶	۳۶۶۷۴/۹۲
۲۰۰۶	-	۵۱۷/۷۱	۹۴۳۸/۱۵	۶۵۵۸۸/۲۳	۵۲۵۸۵/۶۶	۲۲۹۹۴/۳۵	۱۹۳۲۹/۰۵	۷۶۹۲/۳۸	۷۶/۷۲
۲۰۰۷	-	-	۱۳۸۹/۰۷	۱۰۳۱۹/۵۷	۳۶۸۲۸/۰۱	۱۷۰۶۱/۴۳	۲۴۰۳۵/۰۹	۱۹۳۵۱/۸۱	۶۹۲۳۳/۸۳
۲۰۰۸	-	۱۴۸۸/۱۴	۱۴۷۷۱/۸۸	۲۲۸۶۲/۷۷	۲۶۳۹۸/۴۳	۱۷۷۴۳/۷۲	۱۷۹۴۱/۸۵	۲۱۱۰۹/۵۷	۵۵۹۰۶/۱۰
۲۰۰۹	-	-	۱۷۸۷۵/۴۲	۳۶۰/۲۴	۵۹۸۰۰/۵۷	۴۳۳۲۴/۰۱	۱۷۸۷۵/۴۲	۲۰۰۰۵/۴۸	۳۶۸۵۹/۲۲
۲۰۱۰	-	۴۴۱۹۶/۲۸	۱۶۲۷۳/۲۲	۱۵۷۶۰/۹۹	۳۰۷۸۶/۳۹	۱۶۵۱۵/۶۴	۹۱۳۴/۴۵	۴۶۷۰/۸۷	۴۰۸۸۵/۳۸
۲۰۱۱	-	-	۹۲۳/۵۵	۳۳۷۶۹/۹۶	۵۷۲۴۷/۴۹	۳۹۲۲۹/۶۲	۲۴۰۴۰/۵۳	۱۶۱۵۶/۸۳	۶۸۵۵/۱۹
۲۰۱۲	-	۵۳۴۵/۰۳	۳۱۹۴۸/۷۰	۷۴۲۳۵/۹۱	۶۵۶۵۷/۷۸	۱۰۳۳/۷۶	-	-	-
۲۰۱۳	-	۱۱۷/۲۰	۲۹۱۶۸/۴۲	۸۸۱۸/۲۳	۳۴۰۵۱/۶۶	۳۵۳۸۳/۷۴	۲۷۲۷۰/۶۰	۲۰۳۳۰/۱۶	۲۳۰۷۸/۸۸
۲۰۱۴	-	-	۶۴۳۶/۷۴	۳۰۱۹۲/۸۲	۹۲۷۰۵/۱۹	۲۶۱۵۶/۷۷	۱۶۶۶۰/۶۷	۵۸۱۸/۶۸	۲۵۳/۰۹
۲۰۱۵	-	۱۷۲۴/۰۸	۲۵۰۳۲/۸۷	۶۲۹۶۸/۵۰	۸۸۱۰۶/۵۵	۳۹۱/۶۳	-	-	-

وسعت مناطق بسیار خشک به غیر از بازه ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ که روند صعودی داشته است، در بقیه دوره سیر نزولی را نشان می دهد. مساحت مناطق خشک متوسط با توجه به اینکه از

روند تغییرپذیری مساحت طبقات خشکسالی نشان می دهد که وسعت مناطق فراخشک در ابتدای دوره با شیب تندی صعودی بوده، ولی بعد از آن صفر و ثابت شده است.

افزایش مساحت با شیب تقریباً تند را نشان می‌دهد. طبقات مرطوب متوسط و بسیار مرطوب و فرامرطوب نیز وضعیتی غیریکنواخت دارند که در کل روند صعودی با شیب ملایم را نشان می‌دهد (شکل ۷).

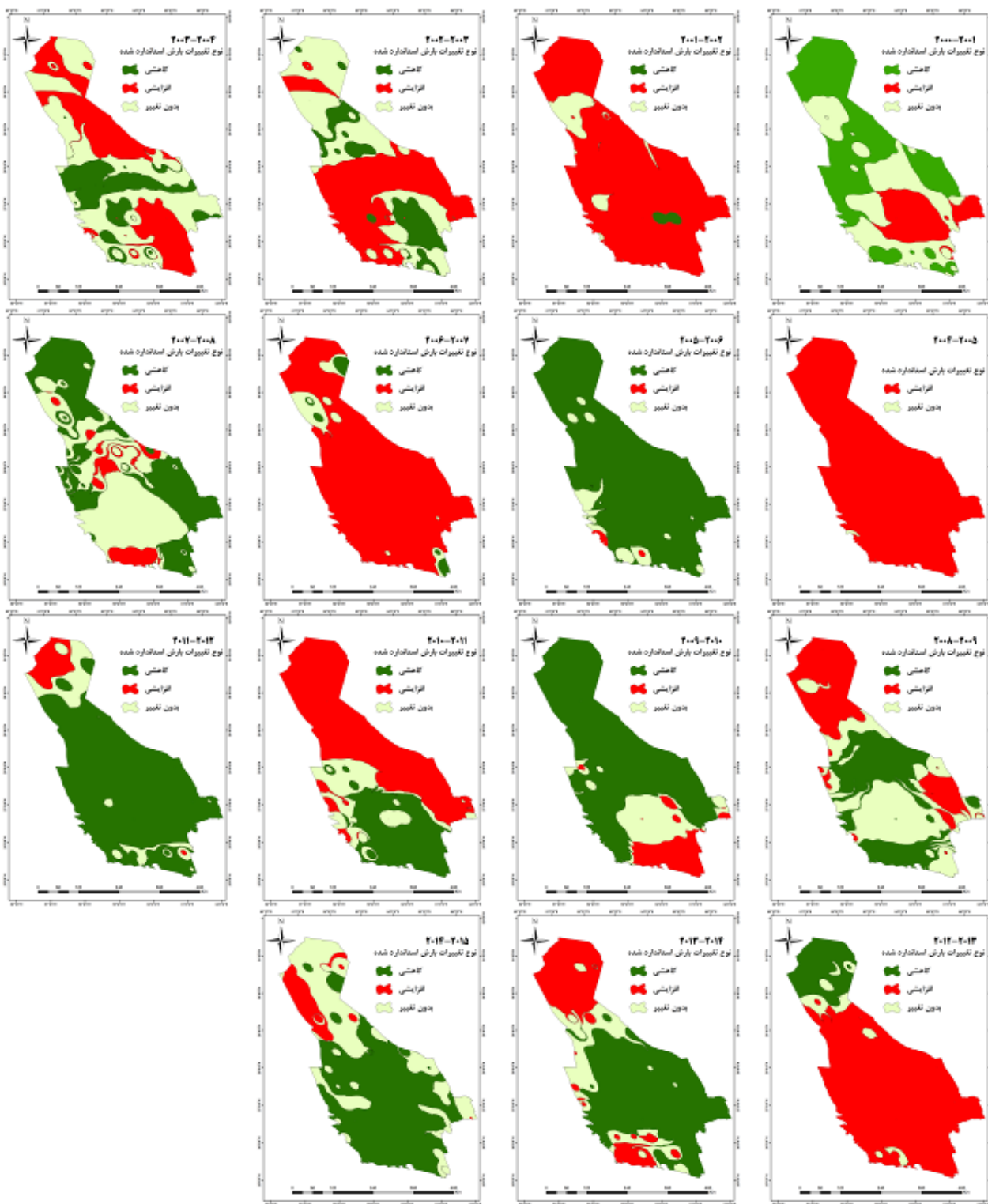
روند ثابت و یکنواختی برخوردار نیست اما به صورت کلی دارای روند نزولی و کاهشی می‌باشد. تغییرات وسعت طبقات خشک ملایم، تقریباً نرمال و مرطوب ملایم نیز روندی غیریکنواخت را دارد، اما روند کلی آنها صعودی بوده و



شکل ۷- روند تغییرپذیری مساحت طبقات خشکسالی طی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ در استان سیستان و بلوچستان

می‌باشد. نتایج نشان‌دهنده این مطلب است که بیشترین تغییرات افزایشی مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۴-۲۰۰۵ به میزان  $177858/72$  کیلومترمربع و کمترین آن مربوط به بازه زمانی ۲۰۰۵-۲۰۰۶ به میزان  $1233/93$  کیلومترمربع می‌باشد. در کل دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ نیز  $1076125/41$  کیلومترمربع از سطح استان سیستان و بلوچستان با تغییرات افزایشی خشکسالی روبه‌رو بوده است (جدول ۶).

نتایج حاصل از بازسازی تغییرات خشکسالی استان سیستان و بلوچستان که با استفاده از روش تفاضل تصاویر در قالب سه طبقه تغییرات افزایشی، کاهشی و بدون تغییر در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ حاصل شده است، به صورت شکل (۸) می‌باشد. نتایج حاصل از مساحت‌سنجی طبقات تغییر و همچنین روند تغییرپذیری مساحت طبقات خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان به صورت جدول (۶) و شکل (۹)



شکل ۸- نقشه‌های بارزسازی تغییرات خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

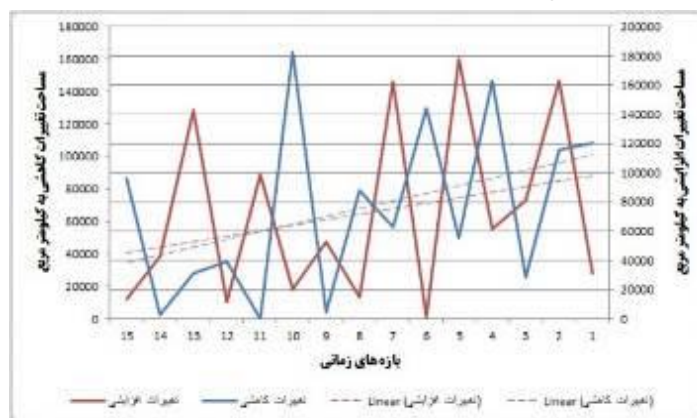


جدول ۶- مساحت طبقات تغییرات بارسازی شده خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به کیلومتر مربع

نوع تغییرات خشکسالی		دوره		
کاهش	بدون تغییر	افزایشی	هجری شمسی	میلادی
۸۶۵۵۵/۲۷	۶۰۷۷۴/۵۲	۳۰۸۸۳/۷۴	۱۳۸۰-۱۳۷۹	۲۰۰۰-۲۰۰۱
۲۴۲۲/۸۴	۱۲۶۴۳/۷۶	۱۶۳۱۴۷/۱۱	۱۳۸۱-۱۳۸۰	۲۰۰۱-۲۰۰۲
۲۷۹۱۴/۰۲	۶۹۲۰۶/۴۰	۸۱۰۹۰/۸۰	۱۳۸۲-۱۳۸۱	۲۰۰۲-۲۰۰۳
۳۵۲۰۵/۷۱	۸۱۰۸۳/۴۸	۶۱۹۲۴/۹۹	۱۳۸۳-۱۳۸۲	۲۰۰۳-۲۰۰۴
.	۳۵۶/۹۳	۱۷۷۸۵۸/۷۲	۱۳۸۴-۱۳۸۳	۲۰۰۴-۲۰۰۵
۱۶۴۵۸۶/۴۰	۱۲۳۸۸/۲۱	۱۲۳۳/۹۳	۱۳۸۵-۱۳۸۴	۲۰۰۵-۲۰۰۶
۴۲۶۲/۴۷	۱۱۲۹۵/۸۶	۱۶۲۶۴۷/۵۹	۱۳۸۶-۱۳۸۵	۲۰۰۶-۲۰۰۷
۷۹۴۳۲/۶۸	۸۳۷۸۷/۴۱	۱۴۹۸۸/۲۲	۱۳۸۷-۱۳۸۶	۲۰۰۷-۲۰۰۸
۵۶۷۱۰/۷۸	۶۸۹۲۷/۵۱	۵۲۵۷۰/۶۴	۱۳۸۸-۱۳۸۷	۲۰۰۸-۲۰۰۹
۱۲۹۴۷۰/۲۷	۲۸۵۳۱/۰۴	۲۰۲۱۱/۱۸	۱۳۸۹-۱۳۸۸	۲۰۰۹-۲۰۱۰
۴۹۶۸۸/۶۰	۲۹۸۸۹/۴۹	۹۸۶۳۵/۹۰	۱۳۹۰-۱۳۸۹	۲۰۱۰-۲۰۱۱
۱۴۶۵۴۲/۳۹	۱۹۸۸۶/۲۸	۱۱۷۸۲/۳۴	۱۳۹۱-۱۳۹۰	۲۰۱۱-۲۰۱۲
۲۵۶۰۹/۹۹	۹۹۸۰/۰۵	۱۴۲۶۱۶/۱۲	۱۳۹۲-۱۳۹۱	۲۰۱۲-۲۰۱۳
۱۰۴۳۴۱/۷۸	۳۱۰۰۰/۹۱	۴۲۸۶۵/۲۹	۱۳۹۳-۱۳۹۲	۲۰۱۳-۲۰۱۴
۱۰۸۰۹۳/۶۱	۵۶۴۴۹/۵۴	۱۳۶۶۸/۸۴	۱۳۹۴-۱۳۹۳	۲۰۱۴-۲۰۱۵

اگرچه روند آن منظم نیست اما در مجموع سیر نزولی و کاهش مساحت را نشان می‌دهد (شکل ۹).

تغییرپذیری مساحت طبقه تغییرات افزایشی نشان می‌دهد که از روند یکنواختی پیروی نمی‌کند، بدین صورت که به‌طور نامنظم در دوره‌ای افزایش و در دوره‌ای کاهش مساحت دارد.



شکل ۹- روند تغییرپذیری مساحت طبقات تغییر خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵

## بحث

بارش یکی از مهمترین عناصر اقلیمی است که تغییرات آن می‌تواند تبعات منفی محیطی، اجتماعی، اقتصادی و حتی فرهنگی متعددی بر جوامع بشری داشته باشد. از این رو ارزیابی تغییرات بارش یکی از کانون‌های توجه علوم محیط‌زیستی، اتمسفری، منابع طبیعی و بیابان‌زدایی است. به‌ویژه اینکه شناخت نوع تغییر و تعیین شدت تغییرپذیری زمانی و مکانی بارش از اهمیت شایان توجهی برخوردار بوده و می‌تواند نقش مهمی در پیش‌بینی‌های اقلیمی، خشکسالی و خشکی و در نتیجه مدیریت منابع آب و برنامه‌ریزی‌های بهینه منابع محیطی، اقتصادی و کشاورزی داشته باشد. امروزه از تصاویر ماهواره‌ای به‌طور گسترده‌ای برای پایش اثر نوسانهای بارش بر تغییرات خشکسالی و خشکی و به‌تبع آن بیابان‌زایی استفاده می‌شود. این موضوع بیشتر توسط پژوهش‌هایی مانند Singh و همکاران (۲۰۰۳) برای پایش خشکسالی هندوستان از طریق TCI و VCI مستخرج از داده‌های NOAA AVHRR, Shareful Hassan و Mahmud-ul-islam (۲۰۱۳) با هدف بررسی آسیب‌پذیری خشکسالی در شمال‌غرب بنگلادش با استفاده از NDVI و LST سنجنده MODIS و همچنین Damavandi و همکاران (۱۳۹۵) در قالب پایش مکانی خشکسالی از طریق NDVI و LST داده‌های MODIS در استان مرکزی مورد ارزیابی قرار گرفته و آن را تأیید می‌کند. عواملی مانند فقر بارش، تخریب زیاد، وزش بادهای شدید، تداوم رخداد خشکسالی و فقر پوشش گیاهی باعث شده‌اند که خشکی یکی از مشخصه‌های ذاتی استان سیستان و بلوچستان باشد، به‌طوری‌که حدود ۵۰ درصد از کل وسعت استان به‌طور متوسط در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ با پدیده‌های خشکسالی و خشکی روبرو بوده است. این نتایج با یافته‌های پژوهش رحیمی و همکاران (۱۳۸۸) که با بررسی شدت خشکسالی سیستان و بلوچستان از طریق شاخص نرمال بارش، بیان نمودند سال‌های خشک با میزان بارندگی کمتر از میانگین بلندمدت با ۵۶ درصد حالت غالب خشکسالی در استان را نشان می‌دهد، مطابقت دارد. نتایج این پژوهش نشان داد که تغییرپذیری نامنظم و بسیار بالای طبقات

بارشی و خشکسالی حکایت از وضعیت عدم سلامت در اکوسیستم و ناسالمی اکولوژیکی استان سیستان و بلوچستان دارد. در مجموع تغییرات طبقه افزایشی بارش، روندی نزولی و کاهش مساحت را نشان می‌دهد و در مقابل تغییرات طبقه کاهش‌ی آن روندی صعودی و افزایش مساحت را دارد که نشان از سیر نزولی ریزش‌های جوی در استان طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ می‌باشد. این نتایج با یافته‌های Yan-jun و همکاران (۲۰۱۲) که با تحلیل خشکسالی حوضه رودخانه هوآهی، افزایش شدت خشکسالی را از ابتدای قرن ۲۱ بیان نمودند، همسوست. همچنین Pourkhosravani و همکاران (۲۰۱۸) با تحلیل فضایی خشکسالی حوضه سیرجان از طریق تصاویر MODIS، کاهش بارش و افزایش خشکسالی را در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ تبیین کردند که منطبق بر نتایج این پژوهش مبنی بر روند کاهش بارش و سیر افزایشی خشکسالی سیستان و بلوچستان در همین بازه است. در مجموع یافته‌های این پژوهش حکایت از این موضوع دارد که پدیده خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان یک ویژگی اقلیمی اجتناب‌ناپذیر بوده و رخداد و شدت وقوع آن رو به افزایش است که با توجه به روند کاهش بارش احتمال وقوع رخداد خشکسالی با شدت و مدت بیشتر در این منطقه امکان‌پذیر است. این نتایج با یافته‌های Zarea-Abianeh و همکاران (۲۰۱۵) که با استفاده از شاخص‌های توزیع استاندارد (ZI)، انحراف از میانگین (SDI)، درصد نرمال بارندگی (PNPI)، ناهنجاری بارندگی (RAI) و طبقه‌بندی دامنه بارش (PC) به تحلیل و پایش خشکسالی هواشناسی سیستان و بلوچستان پرداختند، مطابقت دارد. با توجه به مطالب مذکور می‌توان نتیجه گرفت که روند کلی خشکسالی و به‌تبع آن خشکی در استان سیستان و بلوچستان افزایشی و روند نزولات جوی کاهش‌ی است که نیازمند برنامه‌ریزی جامع در زمینه حفاظت از منابع طبیعی و مدیریت خطر و بحران مخاطرات محیطی در جهت احیای اکوسیستم و ابقای آن می‌باشد.



### منابع مورد استفاده

- Journal of Geography and Environmental Planning, 20(4): 43-56.
- Rasouli, A., 2008. Basis of applied remote sensing. University of Tabriz Press, 777p.
  - Shamsipour, A. A., Alavipanah, S. K. and Mohammadi, H., 2010. Assessing efficiency of vegetativs and thermal indices (NOAA-AVHRR) in drought analysis ok Kashan region. Iranian journal of Range and Desert Research, 17(3): 445-465.
  - Shamsnia, S., Pirmoradian, N. and Amiri, S. N., 2008. Drought modeling in Fars Province using time sets analysis. Journal of Geography and Environmental Planning, 28: 165-189.
  - Shareful Hassan, M. D. ad Mahmud-ul-islam, S., 2013. Drought vulnerability assessment in the high barind tract of Bangladesh using MODIS NDVI and land surface temperature (LST) Imageries. International Journal of Science and Research (IJSR), 4(2): 55-60.
  - Singh, R.P., Roy, S. and Kogan. F., 2003. Vegetation and temperature condition indices from NOAA AVHRR data for drought monitoring over India. International Journal of Remote Sensing, 24 (22): 4393-4402.
  - Tralli, D. M., Blom, G., Zlotnicki, V., Donnellan, A. and Evans, D. L., 2008. Satellite remote sensing of earthquake, volcano, flood, landslide and coastal inundation hazards. ISPS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, (29): 102- 190.
  - Vahabi, J., 1990. The Zonation of Flood Hazards Using Remote Sensing and Geographic Information System in Taleghan Watershed. M.Sc. Thesis of Tarbiat Modares University.
  - Yan-jun, I., Xiao-dong, Z., Fan, L. and Jing, M., 2012. Analysis of drought evolvment characteristics based on standardized precipitation index in the Huaihe River Basin. Journal of Procedia Engineering, 28: 437-434.
  - Zarea-Abianeh, H., Sabzy-parvar, A. A. and Maroofy, S., 2015. Monitoring and analysis of meteorological drought in Sistan & Balouchestan region. Journal of Environmental Science and Technology, 17(64): 49-61.
  - Zhang, M., Zhu, X., Fan, J., Li, G. and Zhang, Y., 2008. Monitoring drought dynamics in huanghuai region of China using AVHRR-based vegetation health indices in comparison with ground data. 1131-1145. In: Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems and Hydrology XI. Edited by Christopher M. U. Neale, Antonino Maltese.
  - Alizadeh, A., 2005. Foundation of applied Hydrology. Mashad, Iran, 815p.
  - Ba-aghideh, M., Alijani, B. and Ziaeian, P., 2012. Assessment of possibility of using vegetation index (NDVI) in drought analysis of Esfahan province. Journal of Geographical Studies of Arid Regions, 1(4): 1-16.
  - Bandary, W. and Asgharipour, A., 2010. Investigation of managing methods present solutions for combating against grought phenomenon in Iran. The second Conference on Geography. University of Tehran, Iran. [https://www.civilica.com/Paper-IGSCUT02-IGSCUT02\\_017.html](https://www.civilica.com/Paper-IGSCUT02-IGSCUT02_017.html)
  - Cai, G., Du, M. and Liu, Y., 2011. Regional drought monitoring and analyzing using MODIS Data - A case study in Yunnan Province. In: Li D., Liu Y., Chen Y. (eds) Computer and Computing Technologies in Agriculture IV. CCTA 2010. IFIP Advances in Information and Communication Technology, 345: 243-251.
  - Heidari S.V. and Bakhtary, S., 2015. Investigating solutions to combat drought in rural regions in view of agricultural experts. A case study in Khoozestan province. Iran. Journal of Geography and Environmental Studies, 4(15): 19-34.
  - Jahandideh, M. and Shirvani, A., 2001. Prediction of drought based on SPI 7sing time sets models in Fars province. Iranian Water Researches Journal, 5(3): 19-27.
  - 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, American Meteorological Society, Boston: 179-184.
  - Peters, A., Waltershea, E., Ji, L., Vliia, A., Hayes, M. and Svoboda, M., 2002. Drought monitoring with NDVI-based standardized vegetation index. Journal of Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 68(1): 71-75.
  - Pourkhosravani, N., Mehrabi, A. and Mousavi, S. H., 2018. Drought spatial analysis of Sirjan Basin using remote sensing. Desert Ecosystem Engineerin Journal, 7 (20): 13-22. Iranian Water Researches Journal, 5(9): 19-27.
  - Rahimi, D., Movahedy, S., Barghi, H., 2009. Assesment of drought severity using SPI index. A case study Sistan & Balouchestan province, Iran.

## Assessment of drought dynamics in Sistan and Baluchestan province using MODIS satellite data (2000-2015)

M. S. Kahkhakohan<sup>1\*</sup>, A. Ranjbar Fordoei<sup>2</sup> and S. H. Mousavi<sup>3</sup>

1\*- Corresponding author, M.Sc. of Combat to Desertification, Faculty of Natural Resources and Geosciences, University of Kashan, Kashan, Iran, Email: keykhamohammad@yahoo.com

2- Associate Professor, Department of Desert Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources and Geosciences, University of Kashan, Kashan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Geography and Ecotourism, Faculty of Natural Resources and Geosciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Received: 11/14/2018

Accepted: 06/09/2019

### Abstract

Drought and its effects is one of the world's major concerns. As one of the countries in the dry belt of the earth, Iran has always been and is facing environmental issues and natural hazards caused by drought. Therefore, this study aimed to monitor the aridity in Sistan and Baluchestan using remote sensing data and geographic information system techniques for over a period of 15 years (2000-2015). In this regard, the MODIS satellite images from 2000 to 2015 were analyzed by applying the yearly Precipitation Condition Index (PCI) and Standardized Precipitation Index (SPI). Then, the drought changes were evaluated using supervised classification method and difference images. The results showed that the years 2007 and 2001 with an area of 157383.06 and 306.05 km<sup>2</sup> had the highest and lowest levels of precipitation, and also with an area of 49511.1 and 69233.83 km<sup>2</sup> had the minimum and maximum level of drought, respectively. The most severity change of drought has been in time for the 2002-2001 period and the place also belong to parts of Khash, Iranshahr and Sarbaz who takes 194302.93 km<sup>2</sup> of the province. Finally, the general trend of changes in precipitation and drought is decreasing and increasing, respectively, requiring the major planning of resources conservation and risk and crisis management to rehabilitate and maintain the ecosystem of arid regions.

**Keywords:** Drought, aridity, remote sensing, digital data, MODIS, Sistan and Baluchestan.