

"مقاله پژوهشی"

پهنه‌بندی شدت خشکسالی با استفاده از شاخص‌های زیست محیطی و GIS

نرجس مقبلی^۱ و حسن خسروی^۲

۱- کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران
۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، (نویسنده مسوول: hakhosravi@ut.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۲/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۳
صفحه: ۲۴ تا ۳۴

چکیده

خشکسالی یکی از وقایع محیطی و بخش جدایی‌ناپذیر نوسانات اقلیمی است که می‌تواند در هر منطقه‌ای حادث شود و تأثیرات عمده‌ای بر جای گذارد. در این پژوهش از شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص دمای سطح زمین (LST) و شاخص استاندارد شده بارش (SPI) به دلیل مزایایی که در پایش شرایط توأم اقلیمی، هیدرولوژیکی و کشاورزی دارد، در تحلیل خشکسالی‌های استان سیستان و بلوچستان استفاده گردید. برای بدست آوردن شاخص‌های NDVI و LST، از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در ماه‌های فصول رشد (شهریور تا مهر) سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ استفاده گردید. سه ایستگاه ایران‌شهر، زاهدان و زابل در سطح استان با توجه به داشتن آمار طولانی مدت، نواقص آماری کم و پراکنش مناسب با طول دوره ۱۹ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۹) برای محاسبه شاخص SPI انتخاب گردید. جهت پهنه‌بندی رخداد خشکسالی از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) استفاده شد. در این راستا پس از بررسی انواع مدل‌های درونیابی روش IDW برای تهیه نقشه‌های رستری بکار برده شد. سپس نقشه‌های بدست آمده با استفاده از نظر کارشناسان علوم جغرافیا به ترتیب از مقدار SPI زیاد به کم کلاس‌بندی و نقشه پهنه‌بندی خشکسالی برای استان سیستان و بلوچستان بدست آمد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد شاخص‌های NDVI و LST از سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ دارای بیشترین شدت و سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ کم‌ترین شدت خشکسالی را تجربه کرده‌اند. بر اساس شاخص SPI روند تغییرات خشکسالی در کل منطقه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ در کلاس نزدیک به خشکسالی متوسط و در بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ در کلاس خشکسالی شدید قرار دارد. نتایج بیانگر آن است که منطقه مورد مطالعه نسبت به خشکسالی‌های میان مدت و کوتاه مدت حساس است. بیشتر خشکسالی‌هایی که در این منطقه اتفاق افتاده است، خشکسالی ملایم و متوسط بوده و احتمال وقوع پدیده خشکسالی در مناطق مرکزی و شمالی استان بیشتر است.

واژه‌های کلیدی: خشکسالی، سیستان و بلوچستان، شاخص پوشش گیاهی، شاخص دمای سطح زمین، SPI، GIS

مقدمه

خشکسالی از مخاطرات طبیعی و اجتناب‌ناپذیری است که از دیرباز، در پهنه‌های وسیع کشورهای مختلف به‌ویژه کشورهای مستقر در مناطق گرم و خشک به کرات وقوع یافته و می‌یابد (۱۱). طبق مطالعات و آمارهای گزارش‌شده، ایران نیز با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی خود با میانگین بارشی معادل یک‌سوم متوسط کل جهان و همچنین یک‌سوم آسیا، در وضعیت نامناسبی قرار دارد. این مسئله، بیانگر احتمال وقوع خشکسالی‌ها و متعاقباً مخاطرات جانبی بیشتری در آینده نسبت به گذشته است (۱۵). به همین دلیل، تشخیص وقوع خشکسالی، تعیین شدت، پایش و پیش‌بینی آن می‌تواند برای برنامه‌ریزی در استفاده از منابع موجود و کاهش مخاطرات ناشی از این بالای طبیعی مؤثر باشد. هرچند که، تشخیص این پدیده و پایش دائمی آن یکی از مشکلات اصلی سازمان‌های مرتبط با این پدیده است (۱۷).

ایران کشور پهناوری است که به علت موقعیت خاص و ویژگی‌های توپوگرافی، از آب و هوای متفاوتی برخوردار است (۲۱). وقوع خشکسالی در کشور امری اجتناب‌ناپذیر محسوب می‌شود. از طرفی کشور ایران با توجه به قرار گرفتن در منطقه خشک و نیمه‌خشک و کمبود منابع آبی بیشتر با این پدیده اقلیمی و تبعات آن روبرو است (۱۷). لذا مطالعه بیشتر در این زمینه در مناطق مختلف کشور ایران به منظور شناسایی تغییرات زمانی و مکانی این پدیده اقلیمی و ارائه راهکارهای

مدیریتی مناسب جهت مقابله و مدیریت آن بسیار ضروری می‌باشد (۲۵). اما متأسفانه با وجود اهمیت موضوع کمتر به این مهم پرداخته شده است و اکثر مطالعات صورت گرفته در این زمینه یا بر اساس داده‌های محدود زمینی و یا مختص مناطقی خاص و زمانی محدود بوده است (۱۰). در نتیجه لزوم به‌کارگیری روش‌های نوین و استفاده از تکنیک جدید سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای جهت ارزیابی زمانی و مکانی خشکسالی، وجود دارد، نواقص موجود در داده‌های عناصر جوی و پراکندگی نامناسب ایستگاه‌های هواشناسی، دلایلی می‌باشند که لزوم توجه به روش‌های نوین با قابلیت داده‌پردازی و مدل‌سازی بالا و بازخوانی داده‌های نقاط مختلف را نشان می‌دهند. بطوریکه در سال‌های اخیر در مدیریت و ساماندهی مناسب اثرات خشکسالی علاوه بر شاخص‌ها و روش‌های آماری، داده‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای یک نقش مهم روزافزونی در پایش خشکسالی مرتبط با شرایط محیطی ایفا می‌کنند (۷). داده‌های سنجش از دور ماهواره‌ای که از قابلیت‌های خوب مکانی و زمانی برخوردار هستند، می‌توانند به‌عنوان ابزار مناسبی در پایش مکانی-زمانی خشکسالی نقش اساسی ایفا کند. از سال ۱۹۸۱ از شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI)^۱ و درجه حرارت سطح زمین (LST) مورد استفاده قرار گرفته‌اند (۵).

کارهای اولیه در خصوص پایش خشکسالی عمدتاً با تحلیل فراوانی منطقه‌ای خشکسالی در مقیاس کوچک آغاز شد (۲۸)

1- Normalized Difference Vegetation Index

این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته است شناسایی خشکسالی و پهنه‌بندی آن با استفاده از داده‌های LST، NDVI، SPI و GIS است (۱).

با توجه به مطالب گفته شده در این زمینه، با استفاده از تکنیک سنجش از دور می‌توان خشکسالی را از طریق اثراتی که بر روی گیاهان دارد و محاسبه دمای سطح زمین بررسی نمود و در نتیجه به نتایج دقیق‌تر و مؤثرتری پیرامون اثرات خشکسالی دست یافت. با توجه به این موضوع که استان سیستان و بلوچستان، به عنوان منطقه خشک و نیمه‌خشک ایران محسوب می‌شود و بروز خشکسالی در آن دور از انتظار نیست، هدف از این مطالعه پهنه‌بندی و بررسی خشکسالی در این استان در دوره آماری ۱۹ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۹) با استفاده از پارامترهای زیست محیطی است.

مواد و روش‌ها

استان سیستان و بلوچستان با وسعتی حدود ۱۷۸۴۳۱ کیلومتر مربع، ۴/۱۱ درصد از مساحت کل کشور را تشکیل داده و از پهناورترین استان‌های کشور به‌شمار می‌رود و با قرار گرفتن در بین ۲۵ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۸ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۶۳ درجه و ۲۱ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ از نظر جمعیتی از کم تراکم‌ترین استان‌های کشور است (۱۸). این استان از شمال به استان خراسان جنوبی و کشور افغانستان، از شرق به کشورهای پاکستان و افغانستان، از جنوب به دریای عمان و از مغرب به استان‌های کرمان و هرمزگان محدود می‌شود (شکل ۱). بر اساس تقسیمات کشوری در سال ۱۳۸۱، استان سیستان و بلوچستان دارای ۳۶ بخش، ۳۱ شهر و ۹۸ دهستان می‌باشد (۲۶). استان سیستان و بلوچستان به لحاظ نزولات جوی ناچیز و داشتن آب و هوای صحرایی، از جمله استان‌های بسیار خشک کشور است (۲۱).

به منظور ایجاد سری‌های زمانی NDVI برای ارزیابی خشکسالی، محصولات NDVI مربوط به سنجنده MODIS ماهواره Terra با قدرت تفکیک مکانی اسمی ۲۵۰ متر (حقیقی ۲۲۶ متر) و قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روز، سطح ۳ (MOD13Q1) مربوط به ماه‌های فروردین تا شهریور سال‌های (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) از سایت NASA (landsweb) دریافت گردید. پیش‌پردازش‌هایی مانند تصحیح پراکنش مولکولی، جذب ازن و گرد و غبار و اصلاح نادیر و زوایای تابش خورشیدی از طریق مدل BRDF بر روی این محصول صورت گرفته است. این تصاویر مربوط به روزهای ۰۸۱ تا ۲۷۳ هر سال (۲ فروردین تا ۸ مهر) بوده و برای این ۱۵ سال تعداد ۱۹۵ تصویر NDVI دریافت گردید. محصول LST نیز از سنجنده MODIS ماهواره Terra با قدرت تفکیک مکانی اسمی ۱ کیلومتر (حقیقی ۸۵۵ متر) و قدرت تفکیک زمانی ۸ روز سطح ۳ (MOD11A2) برای ماه‌های فروردین تا شهریور سال‌های (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹) دریافت گردید. تصحیحاتی مانند ژئورفرنس کردن، کالیبراسیون تابش، حذف اثر ابر، درجه حرارت اتمسفری و بخار آب بر روی این محصول توسط NASA صورت گرفته است. محصول LST

و سپس توسط سایر محققین برای ایالاتی از آمریکا، که بیشتر در معرض خشکسالی بودند، مانند ایالات غرب و جنوب‌غربی دنبال شد (۴ و ۵). هیاس و همکاران (۱۳) خشکسالی گسترده سال ۱۹۹۶ در سطح آمریکا را با استفاده از شاخص SPI^۱ پایش نمودند. نقشه‌ها به گونه‌ای تهیه شد که وضعیت عمومی هر کدام از ایالات به طور یکجا تعیین و نهایتاً نقشه کل کشور تهیه شد. رضی و همکاران (۲۳) نیز پدیده خشکسالی را در استان‌های اصفهان و یزد با استفاده از شاخص SPI و برای دوره‌های زمانی ۳، ۶، ۱۲ و ۲۴ ماهه برای سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ مورد مطالعه قرار دادند.

ری (۲۴) به بررسی عملکرد شاخص‌های NDVI، VCI، NDWI، NMDI، NDDI و SDCI^۲ در پایش خشکسالی چهار ایالت از ایالات متحده آمریکا با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و TRMM پرداختند. نتایج بیان می‌کند که شاخص SDCI نسبت به سایر شاخص‌های ارائه شده در تعیین شرایط خشکسالی مؤثرتر است.

سورتی و همکاران (۲۶) با استفاده از دو شاخص NDVI و LST به بررسی خشکسالی کشاورزی در منطقه‌ای در هند با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این دو شاخص اطلاعات مفیدی در رابطه با پایش و سیستم هشدار اولیه خشکسالی فراهم می‌کنند.

ژائو و همکاران (۲۹) در مطالعه پاسخ تولیدات گیاهی حاصل از سنجنده مودیس به خشکسالی در بازه زمانی مختلف بیان کردند که بیش از ۷۹ درصد منطقه تحت تأثیر خشکسالی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۱۹۸۲ بوده است و همچنین بیشتر تغییرات مکانی و فصلی در فصل پاییز تحت تأثیر خشکسالی سه ماهه می‌باشد و بیشترین همبستگی در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ درصد بین شاخص NDVI و خشکسالی در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز در منطقه مورد مطالعه است.

نازاد و همکاران (۱۹) به بررسی شدت خشکسالی و اثر آن بر روی شاخص پوشش گیاهی (NDVI) با استفاده از سنجنده مودیس در مغولستان پرداختند نتایج تحقیق آن‌ها حاکی از آن است که این کشور در طی بازه زمانی ۱۷ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۶) انواع طبقه خشکسالی از خفیف تا شدید را تجربه نموده است، به گونه‌ای که در طی این خشکسالی ۴۱ تا ۵۷ درصد از پوشش گیاهی از بین رفته است.

خشکسالی بر اساس زمان وقوع به سه نوع هواشناسی، کشاورزی و آبی تقسیم می‌شود (۱۸). مهمترین نوع، یعنی خشکسالی هواشناسی حالتی از خشکی ناشی از کمبود بارندگی است که برای کمی‌سازی شدت آن از شاخص‌هایی استفاده می‌شود که به دو دسته کلی شاخص‌های هواشناسی و سنجش از دور تقسیم می‌شود. رایج‌ترین شاخص هواشناسی، شاخص بارش استاندارد (SPI) و در سنجش از دور نیز شاخص‌های مرتبط با شاخص پوشش گیاهی (NDVI) و شاخص دمای سطح زمین (LST) است (۲۹، ۱۵). پیش‌بینی خشکسالی پر از مشکلات و مسائل خاص است. به طور کلی، روش‌هایی را که توسط آن‌ها می‌توان پیش‌بینی‌هایی برای رخدادهای آبی خشکسالی نمود، روش‌های آماری، آماری-فیزیکی، سنجش از دور و سینوپتیکی هستند (۲۱، ۵). آنچه در

1- Standard Precipitation Index

2-Vegetation Condition Index

3-Normalized Difference Water Index

4- Normalized Multiband Drought Index

5-Normalized Dust Difference Index

6-Scaled Drought Condition Index

7- Land Surface Temperature

نیز مربوط به روزهای ۰۸۱ تا ۲۷۳ هر سال بوده که برای ۱۵ سال تعداد ۳۷۵ تصویر LST دریافت گردید. داده‌های اصلی این پژوهش راه شاخص‌های LST، NDVI و SPI (۳ ایستگاه سینوپتیک استان سیستان و بلوچستان در طول دوره

جدول ۱- ایستگاه‌های سینوپتیک مورد مطالعه و مشخصات جغرافیایی آن‌ها
Table 1. The studied synoptic stations and their geographical characteristics

نام ایستگاه	عرض جغرافیایی		طول جغرافیایی		ارتفاع از سطح دریا (متر)
	دقیقه	درجه	دقیقه	درجه	
ایران‌شهر	۱۲	۲۷	۴۲	۶۰	۵۹۱/۱
زابل	۰۲	۳۱	۲۹	۶۱	۴۸۹/۲
زاهدان	۲۸	۲۹	۵۳	۶۰	۱۳۷۰



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های سینوپتیک و منطقه مورد مطالعه
Figure 1. Geographical location of synoptic stations and study area

شاخص SPI

برای تعیین شاخص استاندارد شده بارش از مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه در طول دوره آماری ۱۹ ساله (۲۰۱۹-۲۰۰۰) استفاده شده است. ابتدا مقادیر بارندگی ماهانه هر ایستگاه برای هر یک از مقایسه‌های زمانی مورد نظر محاسبه و سپس مقادیر بارندگی‌های تجمعی در هر ماه به توزیع گاما برازش داده شده است. در نهایت این توزیع به یک توزیع نرمال تبدیل شده است. تابع توزیع گاما با استفاده از تابع چگالی احتمالی زیر محاسبه می‌شود (۱۶):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (۱)$$

در این رابطه:

$g(x)$: تابع چگالی احتمالاتی

x : مقادیر بارندگی تجمعی در هر مقایسه زمانی و هر ماه از سال و برای هر ایستگاه هواشناسی مورد نظر (بر حسب صدم اینچ) می‌باشد.
 $\tau(\alpha)$: تابع گاما
 α و β : نیز پارامتر شکل و پارامتر مقیاس هستند که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad (۲)$$

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (۳)$$

$$A = \ln \bar{x} - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (۴)$$

در روابط بالا:

$\bar{x}$: میانگین بارندگی‌های تجمعی محاسبه شده در تمام ماه‌های مشابه در هر ایستگاه و در هر مقیاس زمانی
 x : بارندگی تجمعی در هر مقیاس زمانی و در هر ماه

$$Z = SPI = -(T - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}) \quad (7) \quad \text{برای } 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$Z = SPI = +(T - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}) \quad (8) \quad \text{برای } 0.5 < H(x) \leq 1$$

$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(H(x))^2})} \quad (9) \quad \text{برای } 0 < H(x) \leq 0.5$$

$$t = \sqrt{\ln(\frac{1}{(1-H(x))^2})} \quad (10) \quad \text{برای } 0.5 < H(x) \leq 1$$

مقدار SPI مثبت نمایانگر بارش بیشتر از متوسط و مقدار SPI منفی بیانگر بارش کمتر از مقدار متوسط است. زمانی که مقدار SPI محاسبه شده منفی باشد، نشانه شروع خشکسالی است و هنگامی که این شاخص مثبت باشد، پایان خشکسالی را نوید می‌دهد (۴). شدت یک دوره خشکسالی، مجموع مقادیر SPI مثبت برای همه ماه‌ها در همان دوره خشکسالی است. جهت تعیین درجه خشکسالی با استفاده از این شاخص از جدول ۲ استفاده می‌شود (۸):

Table 2. Classification of SPI values

بزرگتر از ۲	ترسالی خیلی شدید
۱/۵ تا ۱/۹۹	ترسالی شدید
۱ تا ۱/۴۹	ترسالی متوسط
۰ تا ۰/۹۹	ترسالی کم
۰ تا -۰/۹۹	خشکسالی کم
-۱/۴۹ تا -۱	خشکسالی متوسط
-۱/۹۹ تا -۱/۵	خشکسالی زیاد
کوچکتر از -۲	خشکسالی خیلی زیاد

زمانی NDVI و LST ایجاد گردیدند. رابطه شاخص‌های ترکیبی به صورت زیر است (۱۴):

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \times 100 \quad (12)$$

$$TCI = \frac{LST_{max} - LST_i}{LST_{max} - LST_{min}} \times 100 \quad (13)$$

در آن $NDVI_{min}$ ، $NDVI_{max}$ و $NDVI_i$ به ترتیب NDVI که میانگین حداقل طولانی مدت، میانگین حداکثر طولانی مدت و ماه مورد نظر برای هر پیکسل و LST_{min} ، LST_{max} و LST_i به ترتیب میانگین حداقل دمای طولانی مدت، میانگین حداکثر دمای طولانی مدت و دمای سطح زمین در ماه مورد مطالعه است (۲۰).

شاخص VCI بر اساس ارتباط میان مقدار واقعی NDVI و مقادیر NDVI در بهترین ($NDVI_{max}$) و بدترین ($NDVI_{min}$) شرایط رطوبتی فصل رشد گیاهی ایجاد گردیده درحالی که شاخص TCI بر اساس ارتباط میان درجه حرارت واقعی سطح زمین و درجه حرارت شرایط پتانسیل (LST_{min}) تنش گیاهی (LST_{max}) ایجاد گردیده است (۷). برای بررسی اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی، میانگین شاخص NDVI

n : تعداد بارندگی‌های مخالف صفر ماه‌های مشابه در سری زمانی بارندگی‌های تجمعی در هر مقیاس زمانی توزیع احتمال تجمعی داده‌ها با انتگرال گیری روی توزیع گاما به دست می‌آید.

$$g(x) = \int_0^x g(x) dx = \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} \int_0^x x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (5)$$

$g(x)$: احتمال تجمعی توزیع گامای ناقص
با توجه به این که توزیع احتمال تجمعی گاما برای $x = 0$ تعریف نشده است و مسلماً در سری داده‌های بارندگی هر ایستگاه، مقادیر بارندگی صفر نیز وجود دارد، لذا احتمال تجمعی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$H(x) = q + (1 - q)g(x) \quad (6)$$

q : احتمال وقوع بارندگی صفر در هر مقیاس زمانی، برای هر ماه و هر ایستگاه

$H(x)$: توزیع احتمال تجمعی گاما
پس از محاسبه احتمال تجمعی گاما در هر مقیاس زمانی و برای هر ماه از سال، این احتمال به یک متغیر تصادفی نرمال استاندارد Z با میانگین صفر و واریانس ۱ تبدیل می‌شود که این متغیر تصادفی در حقیقت همان مقدار SPI مورد نظر است (۲۲):

جدول ۲- کلاس‌بندی مقادیر SPI

شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI) و درجه حرارت سطح زمین (LST)

شاخص NDVI به عنوان معروف‌ترین شاخص پوشش گیاهی، از طریق سنجش تغییرات جذب تابش کلروفیل گیاهی، برای ارزیابی سلامت و تراکم پوشش گیاهی استفاده می‌شود (۲۷). در سال‌های اخیر از این شاخص برای تعیین و ارزیابی خشکسالی در مناطق مختلف جهان استفاده فراوانی شده است. رابطه این شاخص نسبت اختلاف طیف مادون قرمز نزدیک و طیف قرمز به مجموع آن‌ها است که به شرح ذیل است (۶):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (11)$$

در رابطه فوق NIR انعکاس باند ۱ (۶۲۰-۶۷۰ نانومتر) Red انعکاس باند ۲ (۸۴۱-۸۷۶) سنجش مودیس است. به دلیل آنکه شاخص NDVI به تنهایی قابلیت نمایش خصوصیات خشکسالی را دارا نیست، استفاده از شاخص‌های ترکیبی با رویکرد به کارگیری سری‌های زمانی NDVI و LST در دهه ۹۰ میلادی مطرح گردید (۱۲). بر این اساس با توجه به اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین، شاخص‌های VCI و TCI مبتنی بر سری‌های

شکل ۲ مشخص است با گذشت زمان و بخصوص در سالیان گذشته شاخص NDVI بطور چشمگیری افزایش داشته است. با توجه به شیب و شکست نمودار مربوط به شاخص NDVI در بازه زمانی بین ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهد که در سال ۲۰۰۹ این استان، خشکسالی شدید را پشت سر گذاشته است. همانطور که از شکل ۲ پیداست با گذشت زمان دمای سطح زمین در استان سیستان و بلوچستان با شیب ملایم رو به افزایش رفته و در بازه زمانی بین ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ شاخص LST بیشترین میزان خشکسالی را تجربه کرده است.

پس از تنظیم NDVI و LST مربوط به ماه‌های رشد (از فروردین تا شهریور)، تصاویر مربوط به هر کدام از ماه‌ها در ۱۹ سال مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۹) تهیه و تصاویر حداقل و حداکثر آن‌ها بدست آمد. در ادامه، مطابق رابطه هر یک از شاخص‌های مذکور برای هر سال متوسط سالانه شاخص‌های NDVI و LST تولید شد. شکل ۳ میانگین شاخص NDVI را نمایش می‌دهد، با توجه به این شاخص در استان سیستان و بلوچستان، شهرهای شمالی در طول مدت ۱۹ ساله در معرض خشکسالی بیشتری قرار گرفته‌اند. شکل ۴ میانگین شاخص LST را نمایش می‌دهد؛ همانگونه که مشخص است شهرهای مرکزی و جنوبی موجود در استان سیستان و بلوچستان بیشترین میزان خطر خشکسالی را تجربه کرده‌اند. شاخص‌های بدست آمده با توزیع مکانی مختلف در تمامی سال‌ها در نواحی مختلف استان کاملاً مشهود است. شرایط دمایی سطحی کم‌نوسان، ولی تفاوت‌های زیاد در میزان پوشش گیاهی در ماه‌های متمایز و زمین‌های با پوشش گیاهی متنوع را می‌توان دلیل این امر دانست. از آنجایی که استان سیستان و بلوچستان جزء نواحی خشک با پوشش گیاهی متوسط تا کم می‌باشد، با استفاده از شاخص NDVI وضعیت پوشش گیاهی مشخص می‌شود. علت تفاوت نتایج حاصل از شاخص NDVI با LST این است که شاخص LST نوسانات کوتاه مدت که مربوط به آب و هواست را از تغییرات بلند مدت جدا می‌کند در نتیجه با استفاده از این شاخص در طول دوره آماری، منطقه مورد مطالعه با شرایط خشکسالی شدیدی مواجه نیست.

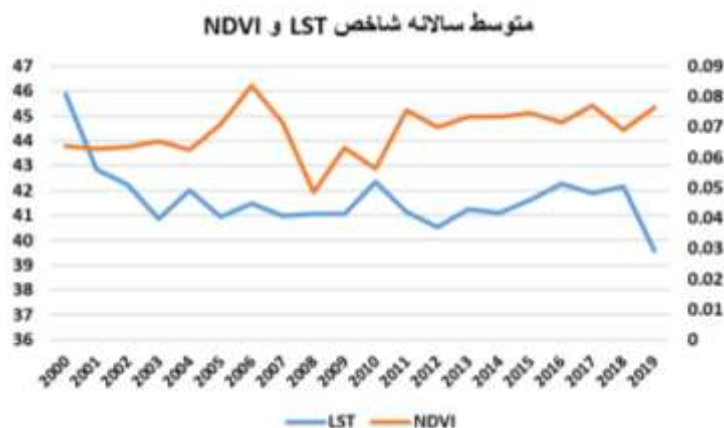
و خشکسالی برای هر سال محاسبه گردید و سپس به بررسی شدت‌های مختلف خشکسالی بر روی پوشش گیاهی و دمای زمین پرداخته شد.

در این پژوهش با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) استخراج و در نرم‌افزار ENVI به بررسی و تجزیه و تحلیل پرداخته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار DMF، شاخص حساسیت به خشکسالی SPI در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹ در مقیاس‌های زمانی مختلف محاسبه گردید و میانگین شاخص SPI برای مقیاس‌های زمانی مختلف استخراج شد. نقشه‌های بدست آمده از شاخص SPI برای سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۹ استان سیستان و بلوچستان با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش IDW بدست آمدند.

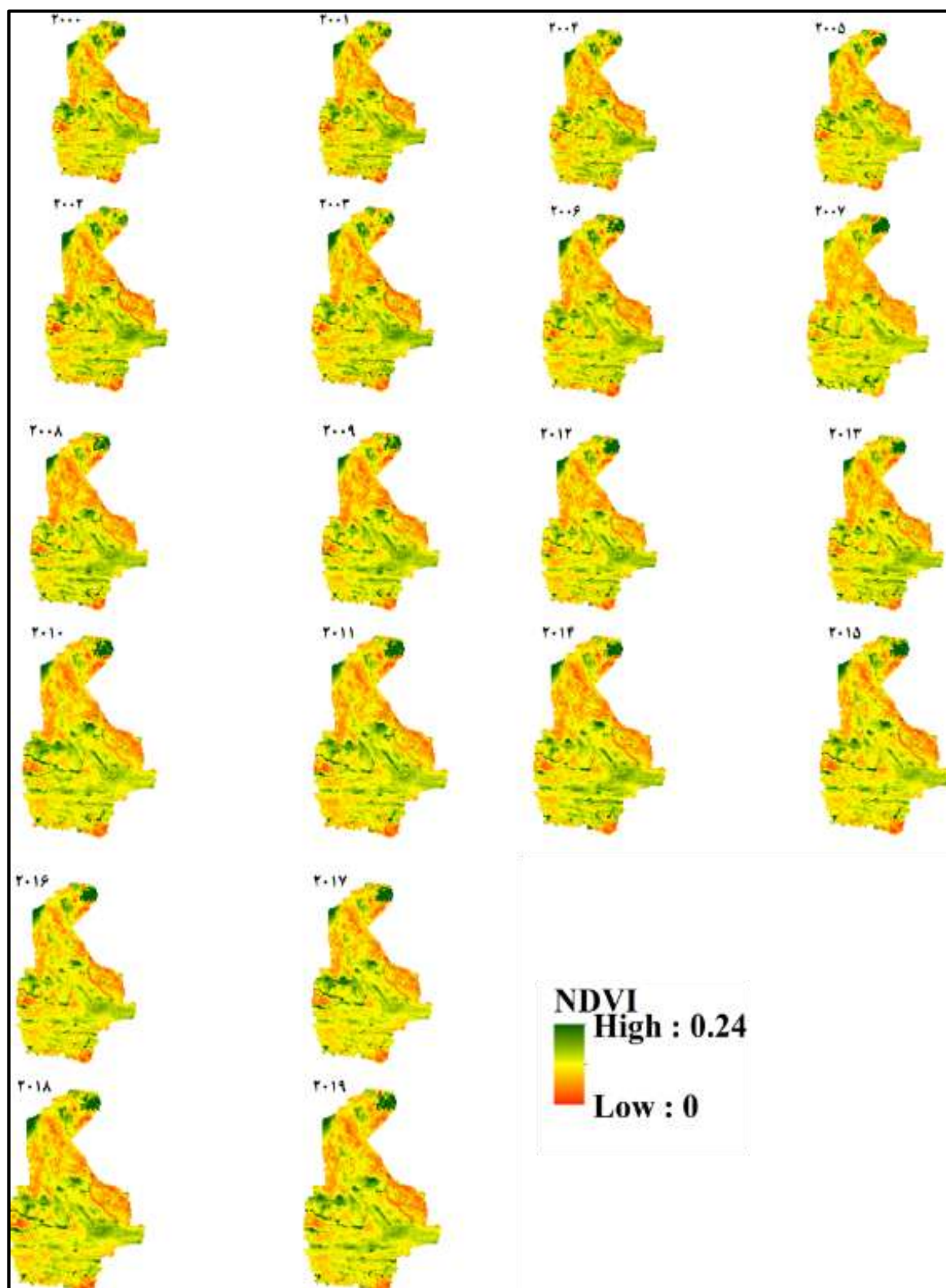
با استفاده از طبقه‌بندی شاخص SPI (جدول ۲)، مقادیر شاخص استاندارد شده بارش، به مقادیر کیفی شدت خشکسالی تبدیل گردید. از طرفی مشخصات ایستگاه‌ها که شامل فیلدهای اطلاعاتی نام ایستگاه، طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا و مقادیر نقطه‌ای SPI ماهانه می‌باشد به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، انتقال داده شد. در این محیط اقدام به پهنه‌بندی و تهیه نقشه‌های شبیه‌سازی مکانی خشکسالی با استفاده از مدل‌های درون‌یابی موجود و تحلیل فضایی داده‌های مکانی گردید. مدل‌های درون‌یابی، جهت افزایش دقت نقشه‌های پهنه‌بندی ارائه شده‌اند. در استفاده از مدل‌های مختلف درون‌یابی، مدل‌های IDW دارای دقت بیشتر نسبت به بقیه مدل‌ها می‌باشند. در نهایت با اعمال وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) نقشه‌های رستری با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.8 تهیه گردید. سپس انجام تحلیل‌های مکانی و کلاس‌بندی شدت‌های خشکسالی، نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی استان سیستان و بلوچستان تهیه و ارائه گردید.

بحث و نتایج

روند تغییرات سالانه میانگین شاخص LST و NDVI به تفکیک سال‌ها در شکل ۲ آورده شده است. همانطور که از

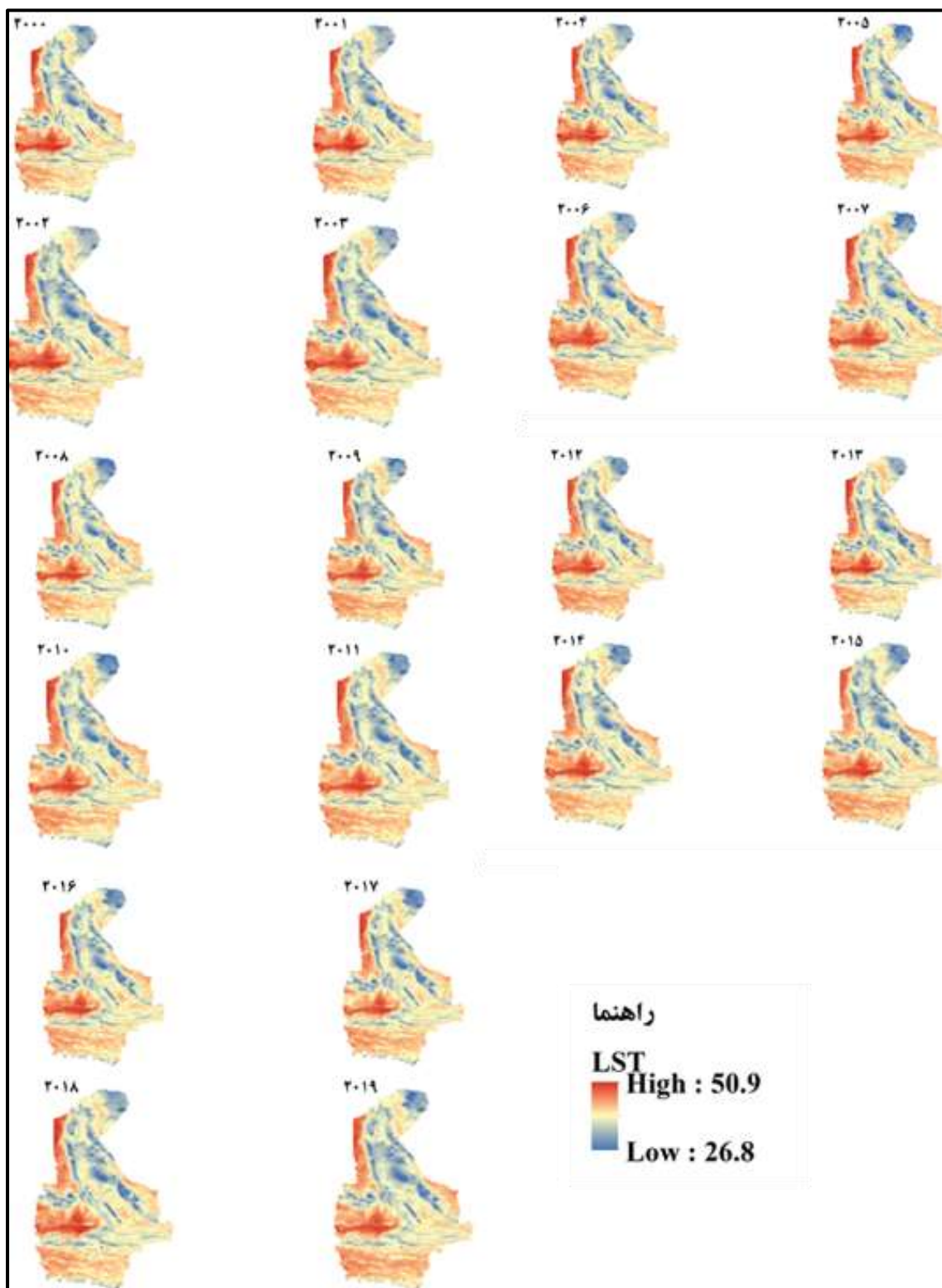


شکل ۲- نمودار مدل‌سازی شده شاخص‌های NDVI و LST به تفکیک سال
Figure 2- Modeled chart of NDVI and LST indices by year



شکل ۳- نقشه میانگین سالانه شاخص وضعیت پوشش گیاهی (NDVI) در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹

Figure 3. Annual average map of normalized difference water index (NDVI) in the period 2019-2000



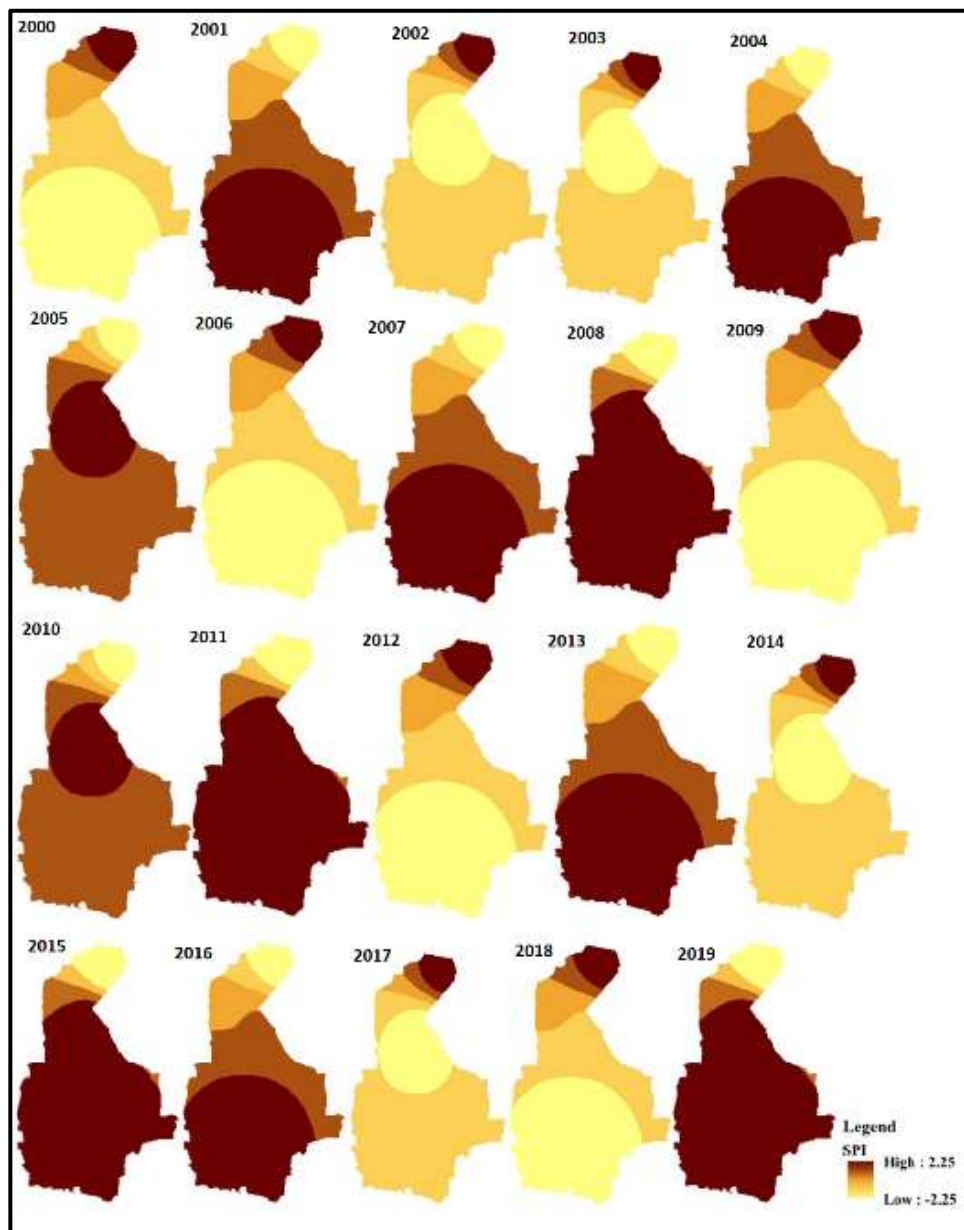
شکل ۴- نقشه میانگین سالانه شاخص دمای سطح زمین (LST) در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹
Figure 4. Map of the average annual land surface temperature (LST) in the period 2019-2000

شاخص SPI در کلاس‌های مختلف در شکل ۵ نشان داده شده است. با توجه به نتایج، روند تغییرات خشکسالی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۶ در کل منطقه در کلاس نزدیک به خشکسالی

مقادیر بدست آمده برای شاخص SPI در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۹ تا ۲۰۰۰ استان سیستان و بلوچستان از ۳ ایستگاه ایرانشهر، زاهدان و زابل در شکل ۶ آمده است. روند تغییرات

کلاس خشکسالی شدید قرار گرفته است. در بازه زمانی ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹ بصورت متناوب استان سیستان و بلوچستان خشکسالی متوسط و ترسالی کم را پشت سر گذاشته است.

متوسط بوده است. اما بین سال‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۸ استان سیستان و بلوچستان یک ترسالی متوسط را تجربه کرده است. بازه زمانی ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۴ با یک شیب ملایم کل منطقه در



شکل ۵- پهنه‌بندی شاخص خشکسالی (SPI) در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹
Figure 5. Drought standard precipitation index (SPI) in the period 2019-2000

هرچه شدت خشکسالی بیشتر می‌شود، فراوانی احتمال وقوع آن نیز کاهش می‌یابد در مقیاس‌های زمانی بلند مدت (۹، ۱۲ و ...) به دلیل افزایش تعداد دفعات ضرب شدن ماتریس فراوانی در خودش، درصد فراوانی انواع خشکسالی‌ها مقداری ثابت می‌شود، در واقع ماتریس تعادل منطقه بدست می‌آید. به طور کلی، منطقه مورد بررسی نسبت به خشکسالی‌های ملایم میان مدت و کوتاه مدت حساس‌تر است، لذا می‌توان گفت که شاخص SPI دارای یک روند منفی است و خشکسالی‌های اخیر باعث کاهش منابع آبی استان شده است. بنابراین

خشکسالی یک فاجعه طبیعی است و نمی‌توان از آن جلوگیری کرد اما اگر ماهیت و خصوصیات آن مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد می‌توان نسبت به پیش‌بینی آن امیدوار بود و به آمادگی از اثرات زیان‌آور آن کاست. خشکسالی پیاپی در فلات ایران که در کمربند بیابانی و نیمه‌بیابانی با بارش‌هایی کمتر از حد نرمال جهان قرار دارد، رخداد عجیبی نیست. با توجه به نتایج بدست آمده از وضعیت خشکسالی در سال‌های گذشته در منطقه مورد مطالعه می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که به طور کلی در یک مقیاس زمانی مشخص

درصد خشکسالی شدید و ۲۶ درصد خشکسالی متوسط بوده است. که با نتایج به دست آمده از تحقیق همخوانی دارد همچنین شاخص NDVI نیز در سال‌های مختلف تغییراتی داشته است و با نتایج عسکری‌زاده (۳) که در تحقیق خود به بررسی تغییر اقلیم و تأثیر آن بر پوشش گیاهی مراتع کوهستانی البرز شمالی پرداختند همخوانی دارد، که این محقق به این نتیجه رسید که پوشش گیاهی تحت تأثیر خشکسالی و تغییرات اقلیمی قرار گرفته است بطوری که ۰/۳۳ درصد از کلاس پوشش گیاهی متوسط کاهش یافته و ۰/۶۰ درصد بر کلاس پوشش گیاهی فقیر در طول بازه زمانی مورد بررسی افزوده شده است. اسکندری دامنه و همکاران (۹) در مطالعه تخریب در استان اصفهان بیان کردند که مقدار NDVI در بازه زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۴ روند افزایشی را نشان داده است. بررسی کلاس‌بندی شاخص NDVI در سال‌های مختلف نشان داد که روند افزایشی مشاهده شده بیشتر در کلاس‌های ۰/۲-۰/۱، ۰/۳-۰/۲ و ۰/۴-۰/۳ بوده که این کلاس بیشتر در کاربری‌های کشاورزی مشاهده شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که با روند خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان افزایشی بوده که با نتایج اسکندری دامنه و همکاران ۱۳۹۷ مطابقت دارد.

تبعات منفی خشکسالی چند سال اخیر همه ابعاد زندگی مردم و توسعه استان را تحت‌الشعاع قرار داده است که این تبعات در مناطق شمالی استان بسیار مشهودتر بود. بحران کمبود آب کشاورزی و شرب در اثر افت شدید سطح آب زیرزمینی که به تبع آن خشک‌شدن باغات و کاهش سطح اراضی کشاورزی در این مناطق را در داشت، کاهش کیفیتی منابع آب زیرزمینی، کاهش دبی رودخانه‌های دائمی و تلفات دام‌ها از دیگر تبعات خشکسالی در این مناطق به‌شمار می‌رود. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان و قرار گرفتن مناطق مذکور در گستره خشکسالی، برنامه‌ریزی در جهت کاهش اثرات خشکسالی در این مناطق بیش از سایر مناطق استان ضروری به‌نظر می‌رسد. از جمله این اقدامات می‌توان به مطالعه طرح جامع آبخیزداری استان و تعیین استراتژی توسعه بر اساس آمایش، کاربری و استعداد اراضی، احیاء سیستم‌های سنتی سطوح آبیگر باران، مدیریت فاضلاب‌ها و پساب‌ها، صرفه‌جویی در مصرف آب از طریق اشاعه فرهنگ صحیح مصرف، جلوگیری از حفر چاه‌های غیرمجاز و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی و حفاظت از عرصه‌های طبیعی اشاره کرد.

شناخت همه جانبه خصوصیات و ویژگی‌های خشکسالی ضرورت دارد تا بتوان به موفقیت برنامه‌ریزی در مدیریت منابع آب کشاورزی امیدوار بود. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی که با استفاده از GIS انجام شده است، مشخص شد که با گذشت زمان شاخص SPI یک روند کاهشی را در پی گرفته و این نشان‌دهنده افزایش خشکسالی در استان سیستان و بلوچستان با گذشت زمان می‌باشد. تحلیل نقشه‌های پهنه‌بندی خشکسالی دیدگاه روشنی از وضعیت خشکسالی حوضه‌های آبریز و محدوده‌های مطالعاتی ارائه می‌دهد. مطالعه نقشه پهنه‌بندی خطر خشکسالی استان سیستان و بلوچستان بیانگر این است که بخش‌های اعظمی از جنوب و مرکز استان سیستان و بلوچستان در معرض خطر خشکسالی قرار دارد. بررسی شاخص SPI نشان داد سال‌های بین ۲۰۰۹-۲۰۱۴ با شیب ملایم رو به بالا به عنوان سال‌های با درجات شدید خشکسالی بوده‌اند.

پژوهش حاضر، تغییرات مکانی ناشی از خشکسالی در قالب شاخص‌های SPI، LST و NDVI با بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۹ را مورد ارزیابی قرار داده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که اثرات خشکسالی بر پوشش گیاهی و درجه حرارت سطح زمین متفاوت بوده و تابع عوامل مختلفی مانند ماه، نوع و خصوصیات پوشش گیاهی و شرایط دمایی آن‌هاست. شاخص LST و NDVI توانایی نمایش اثرات خشکسالی را داراست.

نتایج حاصل از شاخص‌های LST و NDVI نشان می‌دهد سال‌های بین ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۱ به عنوان سال‌های با شدت خشکسالی بالا و سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۸ به عنوان سال‌های با کمترین درجات شدت خشکسالی بوده‌اند. مطالعات تکمیلی برای پایش مکانی خشکسالی به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای از طریق اندازه‌گیری‌های زمینی تغییرات کمی پوشش و درجه حرارت سطح زمین پیشنهاد می‌گردد. محدودیت‌هایی در استفاده کوتاه‌تر از ماه NDVI و LST وجود دارد. استفاده از نقشه‌های حاصل از شاخص‌های پایش و ارزیابی خشکسالی می‌تواند به بهبود برنامه‌های مدیریت خشکسالی کمک نموده و نقشه بسزایی را در کاهش اثرات خشکسالی ایفا کند.

اسدی زارچ (۲)، در مطالعه بر روی پایش خشکسالی ایران در بازه زمانی ۱۹۷۵-۲۰۰۵ بیان کردند که در این بازه زمانی خشکسالی به شدت اکثر قسمت‌های کشور ایران را تحت تأثیر قرار داده است. به‌طوری که در سال ۱۹۹۰-۲۰۰۰ حدود ۲۸ درصد کشور ایران تحت تأثیر خشکسالی خیلی شدید، ۳۱

منابع

1. Aligolia, T., N.R. Majd and A.H. Jaribi. 2019. Evaluation and Comparison of Drought in West Azerbaijan Using the SPI, CZI, PNI Indices and Geographic Information System (GIS). *Irrigation Sciences and Engineering*, 42(1): 175-188.
2. Asadi Zarch, M.A., H. Malekinezhad, M.H. Mobin, M.T. Dastorani and M.R. Kousari. 2011. Drought monitoring by reconnaissance drought index (RDI) in Iran. *Water resources management*, 25(13): 3485.
3. Askarizadeh, D. 2018. Footprint Assessment of Climate Change and Its Impact on the Vegetation Cover of Range Lands in Iran (Case Study: Some Area of Upland Range Land of Northern Alborz) Ph.D. in Rangeland, Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 186 p (In persian).
4. Awchi, T.A. and M.M. Kalyana. 2017. Meteorological drought analysis in northern Iraq using SPI and GIS. *Sustainable Water Resources Management*, 3(4): 451-463.

5. Azimi, S. and M.A. Moghaddam. 2020. Modeling Short Term Rainfall Forecast Using Neural Networks, and Gaussian Process Classification Based on the SPI Drought Index. *Water Resources Management*, 1-37.
6. Baeza, S., and J.M. Paruelo. 2020. Land use/land cover change (2000-2014) in the Rio de la Plata grasslands: an analysis based on MODIS NDVI time series. *Remote Sensing*, 12(3): 381.
7. Bagheri, F. 2016. Mapping drought hazard using SPI index and gis (a case study: Fars province, Iran). *International Journal of Environment and Geoinformatics*, 3(1): 22-28.
8. Beg, A.A.F. and A.H. Al-Sulttani. 2020. Spatial assessment of drought conditions over Iraq using the standardized precipitation index (SPI) and GIS techniques. In *Environmental remote sensing and GIS in Iraq* Springer, Cham, 447-462 pp.
9. Eskandari Damaneh, H., R. Jafari and S. Soltani. 2017. Assessment of land degradation indices obtained from remote sensing data. *Journal of desert management*, 10: 43-56.
10. Ghafarian Malamiri, H.R., I. Roustia, H. Olafsson, H. Zare and H. Zhang. 2018. Gap-filling of MODIS time series land surface temperature (LST) products using singular spectrum analysis (SSA). *Atmosphere*, 9(9): 334.
11. Gidey, E., O. Dikinya, R. Sebego, E. Segosebe and A. Zenebe. 2018. Modeling the spatio-temporal meteorological drought characteristics using the standardized precipitation index (SPI) in raya and its environs, northern Ethiopia. *Earth Systems and Environment*, 2(2): 281-292.
12. Guha, S., H. Govil and P. Diwan. 2020. Monitoring LST-NDVI relationship using Premonsoon Landsat datasets. *Advances in Meteorology*, 2020, <https://doi.org/10.1155/2020/4539684>
13. Hayes, M.J. 2000. What is drought? National Drought Mitigation Center, URL: www.drought.unl.edu/whatis/indhces.htm.
14. Kern, A., H. Marjanović and Z. Barcza. 2020. Spring vegetation green-up dynamics in Central Europe based on 20-year long MODIS NDVI data. *Agricultural and Forest Meteorology*, 287: 107969.
15. Khan, J., P. Wang, Y. Xie, L. Wang and L. Li. 2018. Mapping MODIS LST NDVI imagery for drought monitoring in Punjab Pakistan. *IEEE Access*, 6: 19898-19911.
16. Malekinejad, H. and M. Soleimani Motlagh. 2011. Study of the severity of drought, number 9, 72-61 pp (In Persian).
17. Mousavi, S.F. 2005. Agricultural drought management in Iran. In *Water conservation, reuse, and recycling: Proceedings of an Iranian-American workshop* (pp. 106-113). National Academies Press.
18. Mozafari, G., S. Shafiei and Z. Taghizade. 2015. Assessment of Drought Conditions in Sistan and Baluchestan Province during 2012-2031 using Downscaling the Data of Atmospheric General Circulation Model. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(93): 101-114.
19. Nanzad, L., J. Zhang, B. Tuvdendorj, M. Nabil, S. Zhang and Y. Bai. 2019. NDVI anomaly for drought monitoring and its correlation with climate factors over Mongolia from 2000 to 2016. *Journal of Arid Environments*, 164: 69-77.
20. Pereira, O.J.R., L.G. Ferreira, F. Pinto and L. Baumgarten. 2018. Assessing pasture degradation in the Brazilian Cerrado based on the analysis of MODIS NDVI time-series. *Remote Sensing*, 10(11): 1761.
21. Piri, H., V. Rahdari and S. Maleki. 2013. Study and compare performance of four meteorological drought index in the risk management droughts in Sistan and Baluchestan province. *Irrigation and Water Engineering*, 3(3): 96-114.
22. Rahman, M.R. and H. Lateh. 2016. Meteorological drought in Bangladesh: assessing, analysing and hazard mapping using SPI, GIS and monthly rainfall data. *Environmental Earth Sciences*, 75(12): 1-20.
23. Rezaei, T., A. Shokouhi, B. Saghafian and P. Danesh Arasteh. 2003. Drought Monitoring in Central Iran Using SPI Index, *Proceedings of the Regional Conference and the First National Conference on Change Climate* (In Persian).
24. Rhee, J. 2010. Monitoring agricultural drought for arid and humid regions using multi-sensor remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 114: 2875-2887.
25. Shams Nia, S.A. 2007. Determining the optimal classification of standardized precipitation index (SPI) in drought assessment of Fars province. Master's seminar, Islamic Azad University, Firoozabad Branch, 48 p (In Persian).
26. Sruthi, S. and M.M. Aslam. 2015. Agricultural drought analysis using the NDVI and land surface temperature data; a case study of Raichur district. *Aquatic Procedia*, 4: 1258-1264.
27. Statistical Yearbook of the Country. 2002. Statistics and Informatics Center.
28. Zamani, M. 2020. Drought Zoning Using SPI Standard Drought Index (Case Study of Zanjan Province from 2002-2010) M.Sc., Shahid Beheshti University (In Persian).
29. Zhao, A., A. Zhang., S. Cao., X. Liu., J. Liu & D. Cheng, 2018. Responses of vegetation productivity to multi-scale drought in Loess Plateau, China. *Catena*, 163: 165-171.

Drought Severity Zoning using Environmental and GIS Indicators

Narjes Moqbeli¹ and Hassan Khosravi²

1- Master of Desertification, Faculty of Natural Resources, University of Tehran

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Tehran,

(Corresponding author: hakhosravi@ut.ac.ir)

Received: 3 May 2021 Accepted: 25 July 2021

Abstract

Drought is one of the environmental events and an integral part of climate change in any region and has significant effects. Due to the benefits of monitoring the combined climatic, hydrological, and agricultural conditions, vegetation indices (NDVI), land surface temperature index (LST), and standardized precipitation index (SPI) were used for analyzing drought intensity in Sistan and Balochestan province. To obtain NDVI and LST indices, MODIS satellite images were used in the months of growth seasons (September to October) from 2000 to 2019. Three stations of Iranshahr, Zahedan, and Zabol were selected to calculate the SPI index due to their long-term statistics (2000-2019), low statistical deficiencies, and appropriate distribution. A geographic Information System (GIS) was used to zoning the drought intensity. In this regard, after examining the types of interpolation models, the IDW method was used to prepare raster maps. Then, the obtained maps were classified from high to low SPI using the opinion of geography experts, and the drought zoning map was prepared. This study showed that the NDVI and LST indices experienced the highest intensity from 2008 to 2011 and the lowest intensity from 2003 to 2008, respectively. According to the SPI index, the trend of drought changes in the whole region in 2000-2006 and 2009-2014 is in the class close to moderate and high drought, respectively. The results indicate that the study area is sensitive to medium and short-term droughts. Most of the droughts occurring in this region are mild and moderate droughts, and drought is more likely to happen in the central and northern areas of the province.

Keywords: Drought, GIS ,Land Surface Temperature, mapping ,Normalized Difference Vegetation Index, Standard Precipitation Index (SPI), Sistan and Baluchestan