

ارائه یک روش نوین برای ارزیابی ریسک خشکسالی استان فارس با تلفیق داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM و داده‌های

شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده Terra/MODIS

مهدی عرفانیان* - استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
نسرین وفایی - کارشناس ارشد رشته آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه
مهدی رضاییانزاده - دانشجوی دکترای هیدرولوژی، دانشگاه آبرن، ایالات متحده

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۵/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۰۲/۰۱

چکیده

این پژوهش با هدف تهیه نقشه خطر خشکسالی استان فارس با ترکیب روش شاخص خشکسالی هواشناسی SPI و روش آنومالی NDVI انجام گرفته است. ابتدا به کمک داده‌های ماهانه بارندگی از ۴۴ ایستگاه استان فارس طی دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰، شاخص خشکسالی SPI فصل رشد گیاهان محاسبه شد. سپس نقشه‌های SPI را با استفاده از روش کریجینگ معمولی تهیه شده و در پنج کلاس از نظر شدت خشکسالی (در هر سال) قرار گرفتند. پس از اعتبارسنجی داده‌های ماهواره TRMM، نقشه SPI فصل رشد گیاهان در هر سال به دست آمد. نتایج پژوهش بیانگر انطباق قابل قبول نقشه‌های SPI داده‌های زمینی و SPI مبتنی بر داده‌های TRMM است. در مرحله بعد، نقشه‌های آنومالی شاخص NDVI فصل رشد گیاهان با استفاده از لایه‌های NDVI سنجنده MODIS در دوره ۱۰ ساله تهیه شد و در پنج کلاس شدت خشکسالی (در هر سال) طبقه‌بندی شدند. نقشه فراوانی خشکسالی از روی نقشه‌های باینری سالانه (بودن یا نبودن خشکسالی) استخراج شده است. از ترکیب وزنی خطی نقشه‌های احتمال وقوع خشکسالی دو روش شاخص SPI و آنومالی NDVI، نقشه ریسک خشکسالی به دست آمد. براساس این نقشه، تقریباً بیشتر استان فارس مستعد خشکسالی بوده و خشکسالی با شدت‌های مختلف را در دوره آماری مذکور تجربه کرده است.

کلیدواژه‌ها: آنومالی NDVI، خشکسالی، فارس، MODIS، TRMM.

مقدمه

پدیده خشکسالی و کمبود بارش در هر منطقه جغرافیایی و در هر اقلیمی، حتی در مناطق مرطوب رخ می‌دهد (غفوری، ۱۳۸۷). برای ارزیابی خشکسالی می‌توان از شاخص‌های هواشناسی مختلف مبتنی بر آمار مشاهده‌ای باران، تبخیر و تعرق

پتانسیل و رطوبت خاک استفاده کرد. از سویی در بیشتر مناطق ایران، مشکل نبود یا شمار اندک ایستگاه‌های هواشناسی و ثبت باران وجود دارد. امروزه سامانه اطلاعات جغرافیایی و فنون سنجش از دور، به‌طور وسیعی در ارزیابی و پایش خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرند. داده‌های سنجش از دور، شامل تصاویر و داده‌های مختلف مربوط به سطح زمین از گذشته و حال یک منطقه هستند. در دهه گذشته استفاده از شاخص‌های گیاهی استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای، برای ارزیابی وضعیت خشکسالی با استفاده از داده‌های سنجش از دور، توسعه پیدا کرده است (چایچی و شهایی‌فر، ۱۳۸۷). شاخص‌های ماهواره‌ای در مقایسه با شاخص‌های اقلیمی مزایای زیادی دارند؛ داده‌های ماهواره‌ای دارای دیدی جامع و پیوسته از نواحی مختلف زمین بوده و با فواصل منظم جمع‌آوری می‌شوند. همچنین از طریق سنجش از دور، می‌توان تغییرات زمانی و مکانی پوشش گیاهی سطح زمین را پایش کرد. مطالعات زیادی در خارج از کشور در زمینه استفاده از داده‌های سنجش از دور در پایش خشکسالی انجام شده است که در اینجا به مهم‌ترین آنها اشاره می‌شود. ویسنته سرانو (۲۰۰۶) از شاخص بارش استاندارد شده (SPI)، شاخص‌های پوشش گیاهی (NDVI) و (VCI) استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای (AVHRR) دوره ۲۰۰۰-۱۹۸۷، برای بررسی اثر خشکسالی روی فعالیت‌های پوشش گیاهی در یک منطقه نیمه‌خشک، واقع در شمال شرقی شبه‌جزیره ایبری^۵ استفاده کرد. او نشان داد که اثر خشکسالی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، متفاوت بوده و به نوع پوشش اراضی و مکان رویش آنها بستگی دارد. بین (۲۰۰۷) نشان داد که ارزیابی و پایش خشکسالی با استفاده از شاخص‌های هواشناسی که اساس آنها استفاده از داده‌های هواشناسی است، به دلیل عدم دسترسی آسان، مشکل و زمان‌بر است. همچنین نامبرده نشان داد، نقشه‌های خشکسالی هواشناسی به تعداد ایستگاه‌های هواشناسی و پراکنش آنها بستگی دارد. هلدن و کریستین (۲۰۰۸) از شاخص NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای AVHRR، برای پایش بیابان‌زایی در سطح منطقه‌ای و جهانی استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که بین بارندگی و NDVI همبستگی بالایی در بیشتر مناطق خشک دنیا وجود دارد. ماهواره (TRMM)^۶ مقادیر بارندگی ساعتی، ماهانه و فصلی را برای بیشتر مناطق کره زمین (عرض‌های جغرافیایی ۸۰- تا ۸۰+) از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۲ و با قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر در اختیار محققان قرار می‌دهد. با اعتبارسنجی و کالیبراسیون (واسنجی) داده‌های TRMM در هر منطقه، امکان تهیه نقشه خشکسالی SPI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای امکان‌پذیر است. کاراسوا، پراکاشا و گایرولا (۲۰۱۱) اعتبارسنجی سری داده‌های ماهانه بارندگی (سری داده‌های 3B43) ماهواره TRMM را در قرقیزستان انجام دادند. نتایج آنها نشان داد بین داده‌های ماهواره‌ای و مقادیر مشاهده‌ای، همبستگی و تطابق بالایی در بیشتر نقاط قرقیزستان وجود دارد.

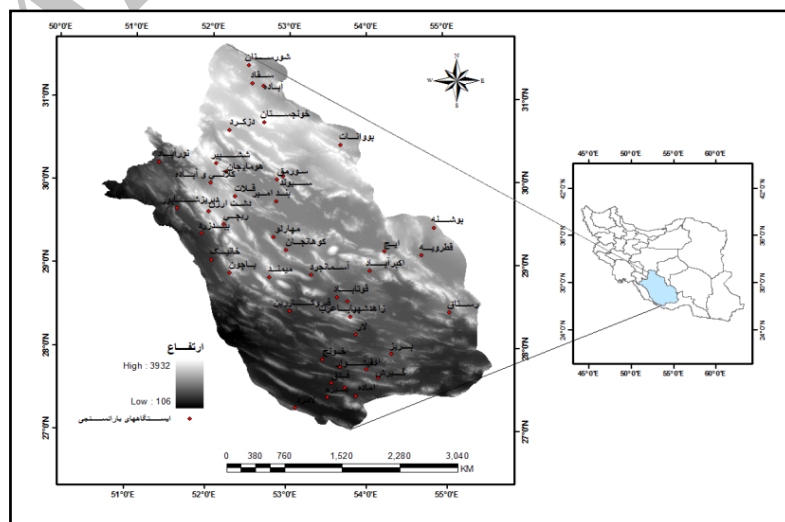
در ایران نیز مطالعات زیادی در زمینه خشکسالی انجام شده است که بیشتر آنها از شاخص‌های خشکسالی هواشناسی، مانند SPI و بر اساس داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنج زمینی بوده است. استفاده از سنجش از دور (داده‌های

1. Standardized Precipitation Index
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Vegetation Condition Index
4. Advanced Very High Resolution Radiometer
5. Iberian Peninsula
6. Tropical Rainfall Measuring Mission

ماهواره‌ای) در پایش خشکسالی، در شمار اندکی از پژوهش‌های اخیر دیده می‌شود. خواجه (۱۳۸۶) برای پایش خشکسالی در استان اصفهان از شاخص NDVI استفاده کرد. نتایج پژوهش وی، بیانگر کارایی مناسب این شاخص برای پایش خشکسالی است. محمودزاده (۱۳۸۷)، ضرایب همبستگی بین شاخص خشکسالی هواشناسی SPI شش‌ماهه و شاخص پوشش گیاهی NDVI را در منطقه فریدون‌شهر مورد بررسی قرار داد. نتایج نامبرده نشان داد که همبستگی بالایی بین NDVI و SPI وجود دارد. رحمان‌زاده باجگیران، درویش‌صفت، خلیلی و مخدوم (۲۰۰۸) از شاخص‌های گیاهی ماهواره‌ای NDVI و VCI برای پایش خشکسالی در بخش شمال غربی ایران استفاده کردند. آنها نتیجه گرفتند که NDVI به خوبی نوسانات بارندگی را در منطقه نشان می‌دهد و از آن می‌توان برای پایش خشکسالی استفاده کرد. همان‌طور که گفته شد، مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی و پایش خشکسالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای انجام شده است و بیشتر آنها بر قابلیت داده‌های سنجش از دور تأکید کرده‌اند. در پژوهش پیش رو، برای نخستین بار نقشه ریسک خشکسالی از طریق ترکیب نقشه‌های شاخص هواشناسی SPI (مبتنی بر داده‌های ماهانه بارندگی ماهواره TRMM) و نقشه‌های آنومالی NDVI (مبتنی بر داده‌های ماهانه سنجنده MODIS ماهواره Terra)، برای فصل رشد گیاهان (آوریل - سپتامبر) استان فارس در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰، انجام شده است. هدف نهایی پژوهش، تهیه نقشه ریسک خشکسالی استان فارس با ترکیب داده‌های ماهانه ماهواره‌های TRMM و MODIS است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه (استان فارس) با مساحت ۱۲۲۶۶۱ کیلومترمربع، حدود ۱/۸ درصد از وسعت ایران را به خود اختصاص داده و پنجمین استان کشور از نظر مساحت است. این استان بین عرض‌های ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه شمالی و طول‌های ۵۰ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۶ دقیقه شرقی قرار گرفته است و از شمال به استان اصفهان، از جنوب به هرمزگان، از شرق به استان‌های کرمان و یزد و از غرب به استان‌های بوشهر و کهگیلویه و بویراحمد محدود شده است. شکل ۱ موقعیت جغرافیایی استان فارس و ایستگاه‌های باران‌سنجی انتخاب شده را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی استان فارس و ایستگاه‌های باران‌سنجی

مواد و روش‌ها

در این پژوهش از داده‌های زمینی و داده‌های سنجش از دور استفاده شده است. داده‌های زمینی، شامل آمار بارندگی ۴۴ ایستگاه باران‌سنجی است (شکل ۱). داده‌های ماهواره‌ای، شامل لایه‌های رستری ماهانه شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده MODIS (ماهواره Terra) با فرمت GeoTiff و قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر، از پایگاه اینترنتی مربوطه^۱ و لایه‌های رستری بارندگی ماهانه ماهواره TRMM (سری داده TRMM-3B43 V6) با فرمت NetCDF و قدرت تفکیک مکانی ۲۵ کیلومتر، از تارنمای میرادر^۲ برای دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ استان فارس دریافت شد. گفتنی است، چون قدرت تفکیک مکانی لایه‌های رستری سنجنده MODIS و لایه‌های رستری باران ماهواره TRMM به ترتیب برابر ۲۵۰ متر و ۲۵ کیلومتر هستند، لذا کلیه لایه‌های رقومی برای تهیه نقشه ریسک با ابزار Resample در نرم‌افزار ArcGIS 9.3 با قدرت تفکیک مکانی یکسان و برابر ۲۵۰ متر تهیه شده است. یادآوری این نکته ضروری است که داده‌های TRMM، فقط از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۸ و داده‌های NDVI سنجنده MODIS از سال ۲۰۰۰ به بعد در دسترس هستند؛ بنابراین به دلیل محدودیت دسترسی به داده‌های ماهواره‌ای، دوره آماری نه‌ساله (۲۰۰۰-۲۰۰۸) انتخاب شده است. محصولات این سنجنده را می‌توان پس از انجام تصحیحات رادیومتری و هندسی روی تصاویر اصلی ماهواره Terra، به صورت رایگان از تارنمای مربوطه دریافت کرد.

تهیه نقشه شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI

با استفاده از داده‌های ماهانه بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی، مقدار مجموع بارندگی در فصل رشد گیاهان استان فارس (آوریل - سپتامبر) برای هر ایستگاه در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۰۸ محاسبه شد. سپس در هر ایستگاه، مقدار میانگین و انحراف معیار بارندگی همان فصل در دوره آماری مذکور محاسبه شد. در پژوهش حاضر، نتایج آزمون آماری کلموگروف - اسمیرنوف برای متغیر مجموع بارندگی فصل رشد در یک دوره سی ساله، منتهی به سال ۲۰۰۸ برای تمام ایستگاه‌ها، نشان داد که این متغیر (بارندگی فصل رشد) در تمام ایستگاه‌ها از توزیع نرمال پیروی می‌کند (نتایج ارائه نشده است). از سویی با توجه به محدودیت زمانی محصولات سنجنده MODIS (۲۰۰۰-۲۰۰۸)، فرض شده است که سری داده‌های بارندگی شش‌ماهه ایستگاه‌ها در دوره آماری نیز، از توزیع نرمال استاندارد Z پیروی کرده و این شاخص را می‌توان معادل یا هم‌ارز شاخص هواشناسی SPI فصل رشد گیاهان فرض کرد، ولی در دوره‌های زمانی ماهانه، به‌خصوص مناطق خشک و نیمه خشک، شاخص هواشناسی SPI را باید براساس توزیع گمبل (گیزاچوا، ۲۰۱۰) برآورد کرد (رابطه ۱).

$$Z_i = SPI_i = \frac{P_i - \bar{P}}{S_p} \quad \text{رابطه ۱}$$

که P_i : مجموع بارندگی ایستگاه در فصل رشد گیاهان در سال i (میلی‌متر)؛ \bar{P} و S_p : به ترتیب برابر مقدار میانگین و انحراف از معیار (میلی‌متر) داده‌های بارندگی ایستگاه در فصل رشد گیاهان است.

1. <http://daac.ornl.gov/MODIS>

2. <http://mirador.gsfc.nasa.gov>

مقدار استاندارد شده مجموع بارندگی فصل رشد هر ایستگاه هواشناسی در یک سال معین (در اینجا برابر شاخص هواشناسی SPI فصل رشد در سال معین)، بر اساس رابطه ۱ محاسبه شد. سپس نقشه رستری SPI استان فارس برای هر سال با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ معمولی در نرم افزار ArcGIS 9.3 (مناسبت‌ترین روش منتخب برای این پژوهش) استخراج شد و با استفاده از جدول ۱ بار دیگر طبقه‌بندی شدند. به گفته دیگر، نقشه رستری کلاس‌های شدت خشکسالی در فصل رشد گیاهان برای هر سال (شامل پنج کلاس شدت) به دست آمد. براساس داده‌های بارندگی ماهانه ماهواره TRMM به روش مشابه، نقشه کلاس‌های شدت خشکسالی استان فارس برای هر سال استخراج شد.

جدول ۱. کلاس‌های شدت خشکسالی در روش شاخص Z (توزیع نرمال استاندارد)

| مقدار شاخص Z | کلاس شدت خشکسالی |
|--------------|--------------------------------|
| > ۰ | بدون خشکسالی (نرمال یا ترسالی) |
| ۰ ~ -۰/۹۹ | خشکسالی اندک |
| -۱ ~ -۱/۴۹ | خشکسالی متوسط |
| -۱/۵ ~ -۱/۹۹ | خشکسالی شدید |
| < -۲ | خشکسالی خیلی شدید |

اعتبارسنجی داده‌های TRMM از طریق مقایسه سری میانگین منطقه‌ای (میانگین ایستگاه‌ها) با داده‌های ماهواره‌ای و با محاسبه معیارهای آماری خطا، مانند ضریب همبستگی (R)، ضریب تعیین (R^2)، ریشه دوم میانگین توان دوم خطا (RMSE) و میانگین خطای ME در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه انجام شده است (روابط ۲، ۳ و ۴). هرچه مقدار RMSE و ME کمتر باشد، مدل اعمال شده دارای دقت آماری بالاتری خواهد بود و هرچه R^2 به یک نزدیکتر باشد، ماهواره TRMM دارای مهارت تخمین بهتر مقدار بارندگی (ماهانه، فصلی یا سالانه) در مقایسه با مقادیر مشاهده‌ای است.

$$R^2 = \frac{[\sum (S - S') (G - G')]^2}{\sum (S - S')^2 \sum (G - G')^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2 / n} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$ME = \sum_{i=1}^n (X_i - Y_i) / n \quad \text{رابطه ۴}$$

در این روابط؛ S: مقادیر برآورده شده ماهواره TRMM؛ G: مقادیر مشاهده‌ای باران؛ S': میانگین مقادیر برآورده شده؛ G': میانگین مقادیر مشاهده‌ای و N: تعداد مشاهدات در سری زمانی است.

تهیه نقشه شدت خشکسالی با روش آنومالی NDVI

از شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، می‌توان وضعیت پوشش گیاهی را با محاسبه درصد آنومالی NDVI برای هر پیکسل، به کمک رابطه ۵ بررسی کرد.

$$NDVI_{An.} = \frac{NDVI_{max,i} - \overline{NDVI}}{NDVI_{max}} \times 100 \quad (\text{رابطه ۵})$$

در رابطه ۵؛ $NDVI_{An.}$: درصد آنومالی NDVI؛ $NDVI_{max,i}$: مقدار حداکثر NDVI پیکسل در سال i ؛ \overline{NDVI} : میانگین NDVI پیکسل و \overline{NDVI}_{max} میانگین مقادیر حداکثر NDVI پیکسل در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ است. گفتنی است که مقادیر ماهانه NDVI پیکسل‌ها در طول فصل رشد گیاهان (آوریل - سپتامبر) در هر سال، مبنای محاسبه در نظر گرفته شده است. بنابراین برای هر پیکسل، ۵۴ مقدار ماهانه NDVI، یک مقدار \overline{NDVI} و یک مقدار \overline{NDVI}_{max} در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ وجود دارد. رابطه ۵ میزان درصد انحراف استاندارد شده مقدار حداکثر NDVI یک پیکسل در یک سال معین را نسبت به مقدار میانگین بلندمدت NDVI آن پیکسل نشان می‌دهد. بنابراین برای هر سال، لایه رستری آنومالی NDVI برای منطقه استخراج شد. همان‌طور که پیش از این بیان شد، درصد آنومالی NDVI، بیانگر انحراف لایه رستری حداکثر NDVI، نسبت به لایه رستری میانگین حداکثر NDVI طی ماه‌های فصل رشد گیاهان در دوره آماری انتخابی (۹ سال) است. براساس جدول ۲ و به کمک نرم‌افزار ArcGIS 9.3، نقشه شدت خشکسالی مبتنی بر آنومالی NDVI در فصل رشد گیاهان برای هر سال (شامل پنج کلاس شدت) تهیه شد. یادآوری می‌شود که شاخص NDVI هر پیکسل، از -۱ تا +۱ متغیر است. مقادیر کمتر از صفر به منزله فقدان پوشش گیاهی و مقادیر نزدیک به +۱ به منزله وجود پوشش گیاهی انبوه یا متراکم است.

جدول ۲. کلاس‌های شدت خشکسالی در روش آنومالی NDVI

| کلاس شدت خشکسالی | درصد آنومالی NDVI |
|--------------------------------|-------------------|
| بدون خشکسالی (نرمال یا ترسالی) | > ۰ |
| خشکسالی اندک | -۱۰ ~ ۰ |
| خشکسالی متوسط | -۲۵ ~ -۱۰ |
| خشکسالی شدید | -۵۰ ~ -۲۵ |
| خشکسالی خیلی شدید | < -۵۰ |

ارزیابی صحت نقشه‌های شدت خشکسالی

در این پژوهش، ارزیابی صحت یا میزان تطابق بین نقشه‌های شدت خشکسالی به دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای (SPI) مبتنی بر داده‌های TRMM یا آنومالی NDVI با نقشه شدت خشکسالی مرجع (SPI مبتنی بر داده‌های زمینی) از طریق محاسبه ضریب کاپا انجام شده است. راسل (۱۹۹۱) روش‌های مختلف ارزیابی صحت در سنجش از دور را مورد

بحث قرار داده است. هرچه این ضریب به عدد یک نزدیکتر شود، به معنای انطباق بیشتر نقشه‌های مستخرج از داده‌های سنجش از دور با نقشه مرجع زمینی (رفرنس) است، مقدار صفر نیز به منزله عدم انطباق تلقی می‌شود.

تهیه نقشه ریسک خشکسالی

برای تهیه نقشه ریسک خشکسالی، از مفهوم فراوانی (احتمال وقوع) خشکسالی استفاده شد. به منظور محاسبه فراوانی خشکسالی در هر پیکسل، ابتدا لایه‌های رستری آنومالی NDVI و SPI طبقه‌بندی دودویی (بولین) شدند. بر مبنای تعریف، به هر پیکسل که دارای مقدار SPI یا درصد آنومالی برابر یا بزرگتر از صفر باشد، مقدار صفر (به منزله وقوع ترسالی) و در غیر این صورت، مقدار یک (به منزله وقوع خشکسالی) اختصاص داده شد. بنابراین در هر سال، یک لایه صفر-یک (بولین) بر اساس روش SPI و یک لایه صفر-یک (بولین) بر اساس روش آنومالی NDVI تهیه شد. به گفته دیگر در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰، به تعداد نه لایه صفر-یک (۱ و ۰) بر اساس روش SPI و نه لایه صفر-یک (۱ و ۰) بر اساس روش آنومالی NDVI استخراج شد. اگر مقدار یک پیکسل در نه لایه برابر ۱ باشد، به این معناست که در تمام سال‌ها خشکسالی در آن رخ داده است، هر چند شدت خشکسالی در سال‌های مختلف، متفاوت باشد.

در مرحله بعد با جمع لایه‌های صفر-یک در هر روش، نقشه فراوانی وقوع خشکسالی در دوره نه‌ساله آماری به دست آمد. با توجه به تعریف گونفا (۱۹۹۶)، احتمال وقوع خشکسالی در یک منطقه مشخص را می‌توان به احتمال وقوع کم، متوسط و زیاد طبقه‌بندی کرد. بدین معنا که اگر خشکسالی در بیش از ۵۰ درصد دوره آماری رخ داده باشد، احتمال وقوع خشکسالی زیاد؛ اگر وقوع خشکسالی در ۳۰ تا ۵۰ درصد دوره باشد، احتمال وقوع خشکسالی متوسط و اگر خشکسالی در کمتر از ۳۰ درصد اتفاق افتاده باشد، به معنای احتمال کم است. بر این اساس، برای هر روش نقشه ریسک یا خطر خشکسالی (۲-۰ عدم خشکسالی، ۳-۲ خشکسالی اندک، ۴-۳ خشکسالی متوسط، ۶-۴ خشکسالی شدید و ۹-۶ خشکسالی خیلی شدید) به دست آمد.

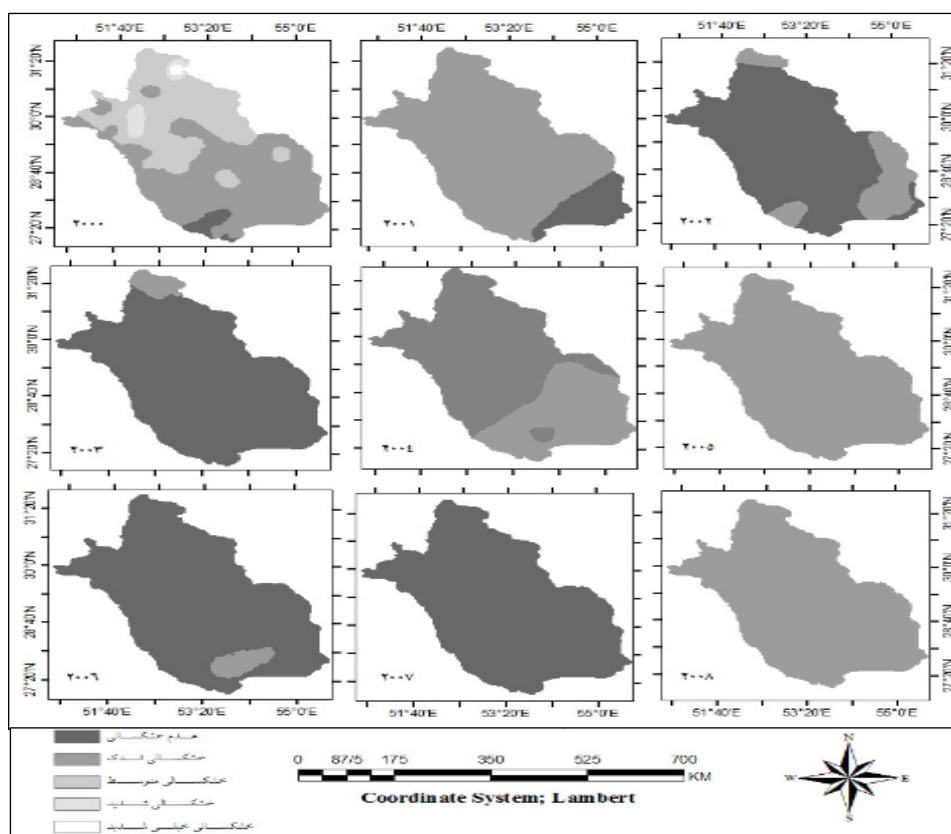
با ترکیب وزنی خطی نقشه‌های فراوانی به دست آمده از دو روش، نقشه نهایی ریسک خشکسالی استان فارس تهیه شد. گفتنی است، به دلیل محدودیت داندود داده‌های ماهواره‌ای، عدد ۹ به منزله حداکثر فراوانی در نظر گرفته شده است. با توجه به دوره آماری نه‌ساله، احتمال وقوع ۰ تا ۱/۱۵ به منزله عدم خشکسالی، ۱/۱۵ تا ۰/۳ به معنای خشکسالی اندک، ۰/۳ تا ۰/۴۶ نماینده خشکسالی متوسط، ۰/۴۶ تا ۰/۷۶ نشان‌دهنده خشکسالی شدید و ۰/۷۶ تا ۱ بیانگر خشکسالی خیلی شدید است.

یافته‌های پژوهش

نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI مبتنی بر داده‌های زمینی

شکل ۲ نقشه‌های رستری به دست آمده با استفاده از روش زمین آماری کریجینگ معمولی و SPI فصل رشد گیاهان (مبتنی بر داده‌های بارندگی مشاهده‌ای ایستگاه‌ها) را در استان فارس نشان می‌دهد. مطابق این نقشه‌ها، در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸، این منطقه خشک‌ترین سال‌ها را تجربه کرده است. با توجه به شاخص SPI، در سال

۲۰۰۰ (در فصل رشد گیاهان) ۳/۱۹، ۵۷/۷۳، ۳۵/۷، ۲/۹۷ و ۰/۴۱ درصد از کل منطقه، به ترتیب تحت تأثیر بدون خشکسالی، خشکسالی اندک، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید بوده است. در سال ۲۰۰۱، ۷/۱۸، ۹۲/۸۲ درصد از منطقه مورد مطالعه، به ترتیب بدون خشکسالی و خشکسالی اندک را نشان می‌دهند. درصد مساحتی از استان فارس که تحت تأثیر پنج کلاس مذکور هستند، در سال ۲۰۰۵ به ترتیب برابر ۰/۳۵، ۹۶/۸، ۲/۶، ۰/۲۵ و ۰/۱ و در سال ۲۰۰۸ به ترتیب برابر ۴/۱۵، ۹۵/۰۸، ۰/۷۵، ۰/۱ و ۰/۱ درصد است.

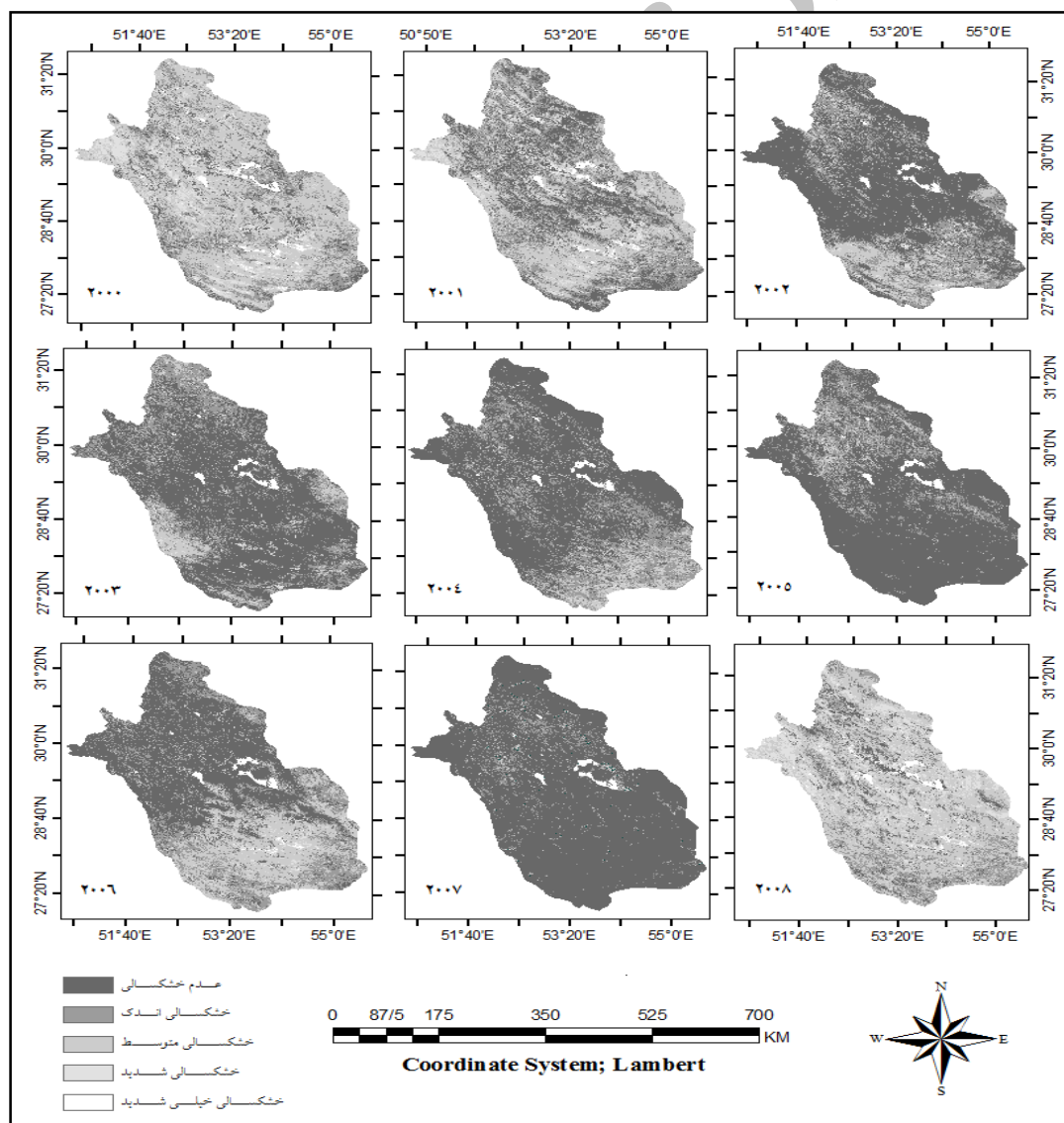


شکل ۲. نقشه‌های شدت خشکسالی سال‌های مختلف بر اساس شاخص SPI داده‌های زمینی

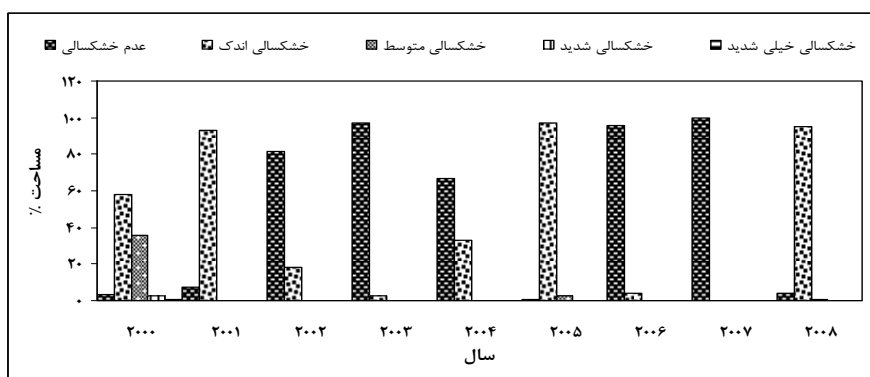
نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس آنومالی NDVI

مقدار منفی درصد آنومالی NDVI، نشان‌دهنده وقوع خشکسالی در منطقه است. شکل ۳ تغییرات مکانی و زمانی کلاس‌های شدت خشکسالی را در استان فارس بر اساس شاخص آنومالی NDVI نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۸، منطقه مورد مطالعه در فصل رشد گیاهان تحت تأثیر خشکسالی بوده است. در سال ۲۰۰۰، ۷/۶۱، ۲۵/۷۶، ۵۲/۴۸، ۱۲/۰۵ و ۱/۲۸ درصد کل منطقه به ترتیب در کلاس‌های بدون خشکسالی، خشکسالی اندک، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید بوده است. توزیع کلاس‌های خشکسالی در سال ۲۰۰۱، به ترتیب شامل ۲۲/۹۹، ۳۵/۷۴، ۳۳/۷۱، ۷/۰۳ و ۰/۷۱ درصد است. در سال ۲۰۰۶ که خشکسالی فقط بخش جنوبی استان را تحت تأثیر قرار داده است، کلاس‌های خشکسالی به ترتیب برابر ۴۶/۵، ۲۷/۸،

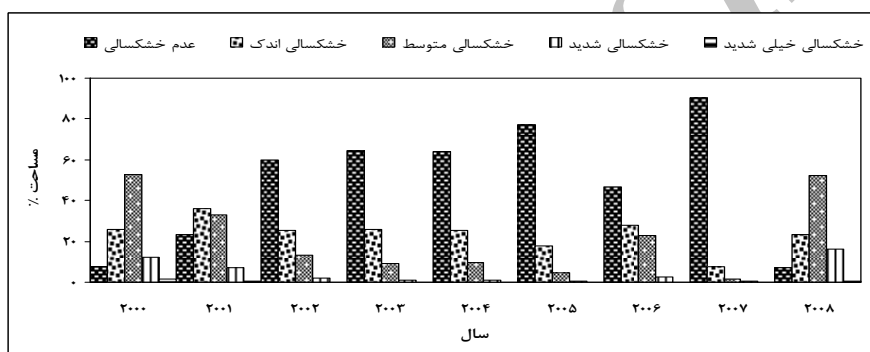
۲۳/۰۷، ۲/۴۲ و ۰/۲ درصد کل استان هستند. در سال ۲۰۰۸ مقدار شدت خشکسالی در هر یک از کلاس‌ها به ترتیب برابر با ۶/۹، ۲۳/۳۴، ۵۱/۹۳، ۱۶/۲۷ و ۰/۷۵ درصد منطقه بوده است. بر اساس شاخص آنومالی NDVI می‌توان گفت که در سال ۲۰۰۰ بیشترین مساحت استان تحت تأثیر خشکسالی بوده و از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۰۷ شدت خشکسالی کاهش یافته است. این استان بار دیگر در سال ۲۰۰۸، خشکسالی با شدت‌های مختلف را تجربه کرده است. شکل‌های شماره ۴ و ۵ به ترتیب درصد مساحت کلاس‌های شدت خشکسالی براساس روش شاخص SPI مبتنی بر داده‌های زمینی و روش شاخص آنومالی NDVI مبتنی بر سنجش از دور را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است، شاخص هواشناسی SPI و شاخص آنومالی NDVI در شناسایی خشکسالی در طول دوره آماری، در بیشتر کلاس‌ها الگو یا رفتار مشابهی دارند. عدم انطباق بالا در برخی از کلاس‌ها را می‌توان به خطای روش‌های زمین‌آماری و پراکنش مکانی ایستگاه‌های هواشناسی نسبت داد.



شکل ۳. نقشه‌های شدت خشکسالی سال‌های مختلف براساس شاخص آنومالی NDVI



شکل ۴. درصد مساحت کلاس‌های خشکسالی در سال‌های مختلف براساس SPI داده‌های زمینی



شکل ۵. درصد مساحت کلاس‌های خشکسالی در سال‌های مختلف براساس شاخص آنومالی NDVI

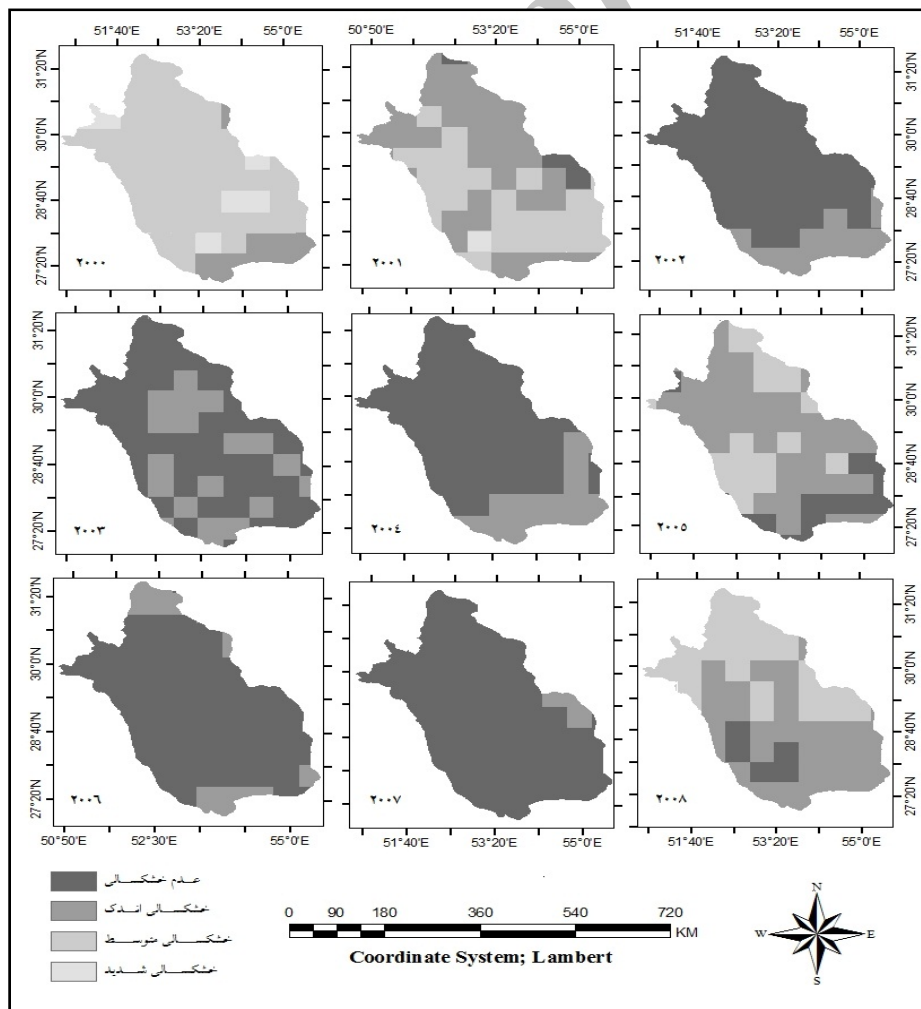
نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI مبتنی بر داده‌های TRMM

اعتبارسنجی داده‌های بارندگی سری 3B43 ماهواره TRMM با استفاده از معیارهای آماری خطا و مقایسه مقادیر برآورده شده ماهواره و مقادیر مشاهده‌ای در هر ایستگاه و میانگین بارندگی منطقه در مقیاس ماهانه، فصلی و سالانه انجام گرفت. نتایج اعتبارسنجی نشان داد که بیشترین میزان همبستگی در مقیاس فصلی (۰/۹۵) است. کمترین مقدار RMSE در مقیاس ماهانه و بزرگترین مقدار آن در مقیاس سالانه است. مقدار میانگین خطا نیز هرچه به عدد صفر نزدیکتر باشد، بیانگر مشابهت بیشتر مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای است. نتایج مقیاس ماهانه TRMM، کارایی قابل قبول آن را بیان می‌کند. بنابراین مقادیر بارندگی دوره فصل رشد گیاهان در هر ایستگاه، از جمع مقادیر ماهانه ماهواره TRMM برآورد شد (جدول ۳).

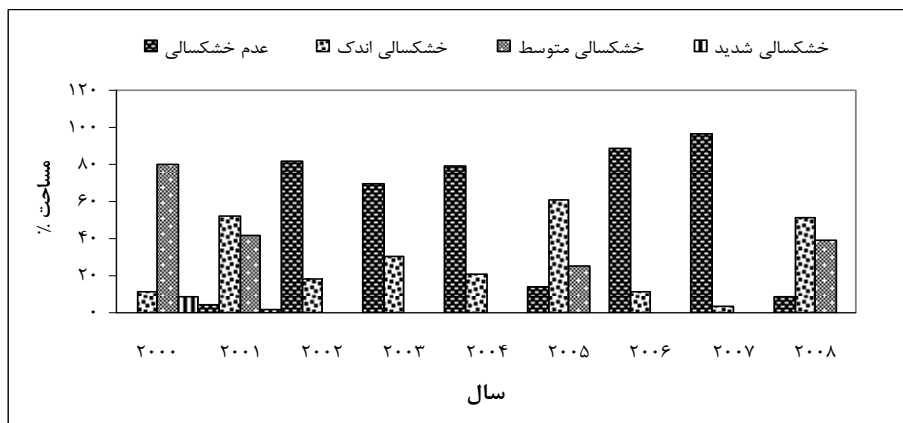
جدول ۳. میانگین معیارهای خطا در مرحله اعتبارسنجی داده‌های TRMM برای تمام ایستگاه‌های انتخابی

| مقیاس زمانی | R | R2 | RMSE | ME |
|-------------|------|------|------|--------|
| ماهانه | ۰/۹۱ | ۰/۸۳ | ۵/۳ | -۴/۲۳ |
| فصلی | ۰/۹۵ | ۰/۸۹ | ۱۲/۸ | -۱۰/۷۲ |
| سالانه | ۰/۸۲ | ۰/۶۷ | ۲۰/۵ | -۵۰/۷۶ |

شکل ۶ نقشه‌های شدت خشکسالی شاخص SPI مبتنی بر داده‌های TRMM را در سال‌های مختلف برای استان فارس نشان می‌دهد. در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۰۱، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۸، خشکسالی در فصل رشد گیاهان، سطح گسترده‌ای از استان فارس را فراگرفته است. در این سال‌ها خشکسالی کمابیش کل استان را تحت تأثیر قرار داده است. درصد مساحتی از استان که در کلاس‌های مذکور تحت تأثیر خشکسالی بوده‌اند، در سال ۲۰۰۱ به ترتیب برابر ۳/۹۴، ۵۲/۳۶، ۴۲/۰۵، ۱/۶۵ درصد کل منطقه، در سال ۲۰۰۵، به ترتیب برابر ۱۳/۷۶، ۶۰/۶۴، ۲۵/۶، صفر درصد از استان فارس و در سال ۲۰۰۸، به ترتیب برابر ۸/۹۷، ۵۱/۵۱، ۳۹/۵۲ و صفر درصد منطقه بوده است. شکل ۷، درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خشکسالی را در سال‌های مختلف بر اساس شاخص SPI مبتنی بر داده‌های TRMM نشان می‌دهد. مقایسه نمودارهای شکل ۷ و شکل ۴ که تغییرات کلاس‌های خشکسالی بر اساس SPI زمینی را نشان می‌دهند، بیانگر انطباق مناسب بین ماهواره TRMM و داده‌های زمینی در تشخیص وقوع خشکسالی است. از آنجایی که لایه رستری SPI مبتنی بر TRMM، دارای اطلاعات پیوسته‌ای از منطقه است، نسبت به لایه رستری SPI زمینی که با استفاده از روش زمین‌آماری و بر مبنای ۴۴ ایستگاه باران‌سنجی به‌دست آمده، از خطای کمتری برخوردار است.



شکل ۶. نقشه‌های شدت خشکسالی سال‌های مختلف بر اساس شاخص SPI داده‌های TRMM



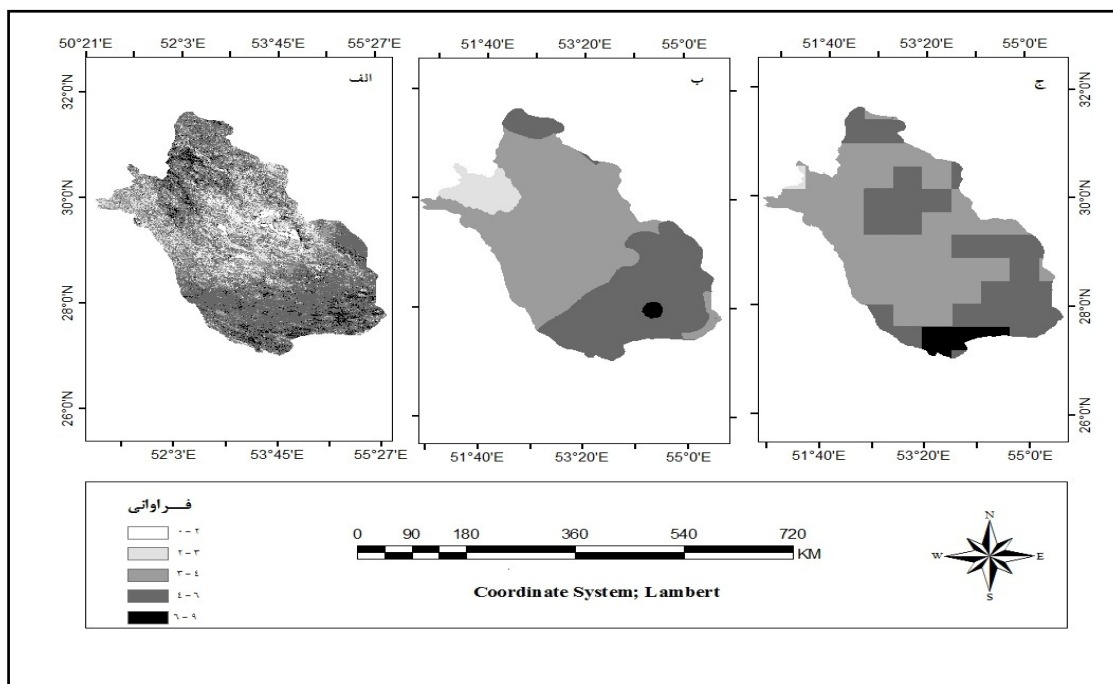
شکل ۷. درصد مساحت کلاس‌های خشکسالی در سال‌های مختلف براساس SPI داده‌های TRMM

نقشه‌های فراوانی وقوع خشکسالی

همان‌طور که پیش از این گفته شد، نقشه فراوانی نشان‌دهنده تعداد تکرار وقوع خشکسالی در دوره آماری ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ است. نقشه‌های فراوانی خشکسالی در شکل ۸ نشان داده شده است. براساس نقشه فراوانی خشکسالی مبتنی بر شاخص آنومالی NDVI (شکل ۸ - الف)، منطقه مورد مطالعه به پنج کلاس فراوانی ۰-۲، ۳-۴، ۴-۶، ۶-۹ و ۹-۶ بار (کلاس‌های بدون خشکسالی، خشکسالی اندک، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید) طبقه‌بندی شده است. براساس روش SPI مبتنی بر داده‌های TRMM (شکل ۸ - ب) و روش SPI مبتنی بر داده‌های TRMM (شکل ۸ - ج)، استان فارس به چهار کلاس فراوانی ۰-۲، ۳-۴، ۴-۶ و ۶-۹ بار طبقه‌بندی شده است که به ترتیب بیانگر خشکسالی اندک، متوسط، شدید و خیلی شدید هستند. گفتنی است، نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس فراوانی وقوع خشکسالی ارائه نشده است. ارزیابی صحت نقشه‌های شدت خشکسالی با محاسبه ضریب کاپا یا تطابق بین نقشه شدت خشکسالی مبتنی بر آنومالی NDVI و نقشه شدت خشکسالی SPI مبتنی بر داده‌های زمینی (نقشه مرجع زمینی) در جدول ۴ برای هر یک از سال‌ها و کل دوره آمده است. از نتایج این جدول درمی‌یابیم روش آنومالی NDVI که مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای سنجنده MODIS است، انطباق قابل قبولی (ضریب کاپای ۰/۷ و بالاتر) را در پایش خشکسالی برای استان فارس دارد. بیان این نکته ضروری است که خطای درون‌یابی با روش زمین آماری کریجینگ معمولی در تهیه نقشه رستری SPI داده‌های زمینی را نباید نادیده گرفت.

جدول ۴. ضریب کاپای بین نقشه شدت خشکسالی SPI زمینی و نقشه شدت خشکسالی آنومالی NDVI

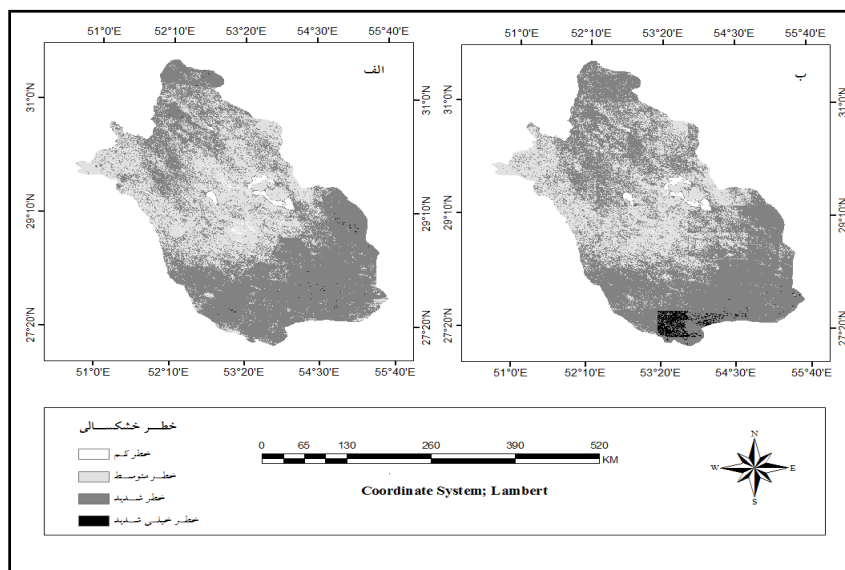
| میانگین | ۲۰۰۸ | ۲۰۰۷ | ۲۰۰۶ | ۲۰۰۵ | ۲۰۰۴ | ۲۰۰۳ | ۲۰۰۲ | ۲۰۰۱ | ۲۰۰۰ |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| ۰/۷ | ۰/۶۴ | ۰/۸۰ | ۰/۴۵ | ۰/۲۳ | ۰/۸۶ | ۰/۹۴ | ۰/۸۰ | ۰/۷۵ | ۰/۷۹ |



شکل ۸. نقشه فرآوانی خشکسالی؛ (الف) آنومالی NDVI؛ (ب) SPI داده‌های زمینی؛ (ج) SPI داده‌های TRMM

نقشه‌های ریسک خشکسالی

نقشه ریسک خشکسالی، از ترکیب وزنی خطی نقشه‌های احتمال وقوع خشکسالی SPI و شاخص آنومالی NDVI به دست می‌آید. در پژوهش حاضر به نقشه‌های به دست آمده از هر روش، وزن ۰/۵ (اهمیت یکسان) اختصاص داده شده است. شکل ۹، نقشه‌های ریسک خشکسالی استان فارس را براساس ترکیب روش SPI مبتنی بر داده‌های زمینی و آنومالی NDVI (الف) و ترکیب روش SPI مبتنی بر داده‌های TRMM و آنومالی NDVI (ب) نشان می‌دهد. مطابق این شکل، استان فارس به چهار منطقه خطرپذیر از نظر خشکسالی (شامل خطر کم، متوسط، شدید و خیلی شدید) طبقه‌بندی شده است. احتمال وقوع کلاس‌های خطر کم تا خیلی زیاد، به ترتیب برابر ۰/۱۵ تا ۰/۳، ۰/۳ تا ۰/۴۶، ۰/۴۶ تا ۰/۷۶ و ۰/۷۶ تا ۱ است. نقشه ریسک نشان می‌دهد که در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰، بخش گسترده‌ای از استان فارس در مناطق شمالی و جنوبی استان (حدود ۵۹/۶ درصد)، در معرض خطر شدید خشکسالی قرار گرفته است. همچنین بخش کوچکی از سطح استان (قسمت‌هایی از شمال شرقی و جنوب) در معرض خطر خیلی شدید خشکسالی قرار دارد. بخش مرکزی استان با مساحتی حدود ۳۹/۸ درصد، خطر خشکسالی متوسط را تجربه کرده است. براساس نقشه ریسک به دست آمده از داده‌های ماهواره‌ای TRMM و MODIS، درصد مساحت مربوط به کلاس‌های خطر کم، متوسط، شدید و خیلی شدید، به ترتیب برابر ۰/۱۸، ۳۷/۱۳، ۶۱/۱ و ۱/۶ درصد از کل استان است. نقشه‌های ریسک تهیه شده از هر دو روش در بیشتر مناطق استان فارس با هم مطابقت دارند. در بخش جنوبی استان (رنگ مشکی در شکل ۹-ب)، به دلیل وجود خطای ماهواره TRMM (تخمین بسیار کم بارندگی) و به تبع آن، خطای تخمین SPI (شدت خشکسالی زیاد)، بین دو نقشه ریسک تفاوت وجود دارد.



شکل ۹. نقشه ریسک خشکسالی استان فارس؛ الف) روش ترکیب SPI داده‌های زمینی و آنومالی NDVI؛ ب) روش ترکیب SPI داده‌های TRMM و آنومالی NDVI

بحث و نتیجه‌گیری

تهیه نقشه ریسک خشکسالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای TRMM و Terra، برای نخستین بار در ایران انجام شده است. در این پژوهش، قابلیت داده‌های ماهواره‌ای شاخص پوشش گیاهی NDVI سنجنده MODIS (ماهواره Terra) و داده‌های بارندگی ماهانه ماهواره TRMM، در تهیه نقشه ریسک خشکسالی استان فارس طی فصل رشد گیاهان (آوریل - سپتامبر)، در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت. ابتدا با استفاده از روش شاخص آنومالی NDVI (شاخص سنجش از دور) و روش شاخص هواشناسی SPI، نقشه شدت خشکسالی در هر سال، برای فصل رشد گیاهان تهیه شد. سپس با ترکیب وزنی خطی نقشه احتمال وقوع خشکسالی روش SPI (مبتنی بر داده‌های زمینی یا داده‌های TRMM) و نقشه احتمال وقوع خشکسالی روش آنومالی NDVI (مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای)، نقشه‌های ریسک خشکسالی برای استان فارس به دست آمد. نتایج این پژوهش نشان داد که داده‌های بارندگی ماهواره TRMM، تا حد زیادی قادر به تشخیص شدت خشکسالی در مقایسه با نقشه شدت خشکسالی روش SPI (مبتنی بر داده‌های زمینی) است. طبق نتایج حاصل از مطالعات رحیم‌زاده (۱۳۸۴)، شاخص NDVI می‌تواند به خوبی نوسانات بارندگی را نشان دهد. یافته‌های پژوهش حاضر نتایج مشابهی را نشان می‌دهد. براساس نقشه ریسک خشکسالی، تقریباً کل استان فارس مستعد خطر خشکسالی است. مناطق شمالی و جنوب استان از نظر وقوع خشکسالی مستعدتر بوده و بیشتر در معرض خشکسالی قرار داشته‌اند. این نتایج با مطالعات پیرمردیان (۱۳۸۷) و کریمی (۱۳۸۰) مطابقت دارد. نقشه شدت خشکسالی SPI با استفاده از داده‌های TRMM نسبت به نقشه شدت خشکسالی SPI مبتنی بر داده‌های زمینی، میزان خشکسالی را با شدت بالاتری تخمین می‌زند. نقشه خطر خشکسالی با روش SPI (داده‌های TRMM) نشان داد که حدود ۶۱/۱ درصد از مساحت استان تحت تأثیر خطر شدید خشکسالی قرار دارد، در حالیکه بر اساس نقشه خطر خشکسالی با روش SPI (داده‌های زمینی)، بیشتر مناطق استان (۵۹/۵۸ درصد) در معرض خطر شدید خشکسالی قرار دارند. نتایج حاصل از

ارزیابی صحت نقشه‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های مشاهده‌ای که براساس ضریب کاپا محاسبه شده، نشان می‌دهد که بین شاخص پوشش گیاهی NDVI و متغیر بارندگی طی فصل رشد گیاهان، همبستگی معناداری وجود دارد که با نتایج پژوهش چوپرا (۲۰۰۶)، سانجی (۲۰۰۹) و گیزاچوا (۲۰۱۰) مطابقت دارد.

اعتبارسنجی داده‌های بارندگی سری داده‌های 3B43 ماهواره TRMM، بیانگر تطابق بالای داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های بارندگی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های زمینی است. آنیامبا (۲۰۰۵) و آلمازروی (۲۰۱۰) نیز به نتایج مشابه و کارایی داده‌های ماهواره TRMM دست یافتند. همچنین عرفانیان، کاظم‌پور و حیدری (۱۳۹۲) با ارزیابی داده‌های باران TRMM در ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیک واقع در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، نشان دادند که ماهواره TRMM دارای کارایی بالا در تخمین مقادیر بارندگی ایستگاه‌ها در مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و سالانه بوده و با کالیبراسیون داده‌های ماهواره‌ای، ضرایب تصحیح را ارائه کردند. آنها نشان دادند که داده‌های TRMM را پس از ارزیابی خطا و کالیبراسیون (ارائه ضریب تصحیح در صورت خطا)، می‌توان برای اهداف مختلفی چون، تهیه نقشه شدت خشکسالی در مناطق فاقد ایستگاه‌های باران‌سنجی یا دارای پراکنش مکانی نامناسب استفاده کرد. بنابراین می‌توان به‌منظور افزایش دقت مکانی وضعیت کنونی بارش، از تلفیق اطلاعات بارش ماهواره‌ای با مقادیر ایستگاه‌های زمینی استفاده کرد و با افزایش قدرت تفکیک اطلاعات، زمینه را برای مطالعات دقیق‌تر فراهم آورد.

نقشه ریسک خشکسالی به‌دست آمده، در مدیریت محصول و روش‌های حفاظت از منابع آب هر منطقه مفید است. آگاهی از نوع و میزان خطر خشکسالی برای برنامه‌ریزان و مدیران، این امکان را فراهم می‌کند تا با انتخاب صحیح نوع محصول زراعی، روش‌های کشاورزی و آبیاری در هر کلاس خطر خشکسالی، میزان خسارات ناشی از وقوع خشکسالی را کاهش دهند. در پایان، ارزیابی روش پژوهش حاضر از سوی محققان و کارشناسان در دیگر مناطق ایران توصیه می‌شود.

منابع

- پیرمردیان، ن.؛ شمس‌نیا، س. ا. و شاهرخ‌نیا، م. ع. (۱۳۸۶). پایش و تحلیل پراکندگی مکانی شدت خشکسالی سال زراعی ۸۰-۱۳۷۹ استان فارس با استفاده از شاخص معیارشده بارش (SPI) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، مجله مهندسی آب، دوره ۱، شماره ۱، صص. ۶۱-۷۰.
- چاپچی، م. و شهبازی‌فر، م. (۱۳۸۷). پایش خشکسالی کشاورزی با استفاده از شاخص‌های ماهواره‌ای در استان تهران، اولین کنفرانس بین‌المللی بحران آب، ۲۰-۲۲ اسفند ماه ۱۳۸۷، دانشگاه زابل.
- خواجه، ف. (۱۳۸۶). پایش خشکسالی با استفاده از شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) در استان اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- رحیم‌زاده، پ. (۱۳۸۴). بررسی امکان استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR برای پایش خشکسالی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده محیط زیست.
- عرفانیان، م.؛ کاظم‌پور، س. و حیدری، ح. (۱۳۹۲). ارزیابی و کالیبراسیون داده‌های باران ماهواره TRMM در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران، فصلنامه علمی - پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای). سال سوم، شماره ۳، صص. ۸۵-۹۳.
- غفوری، س. (۱۳۸۷). توسعه و مدیریت منابع آب در ایران جهت مقابله با خشکسالی‌ها، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، ۲۳-۲۵ مهر ماه ۱۳۸۷، دانشگاه تبریز.
- کریمی، و.؛ کامکار، ع. ا.؛ سپاهخواه، ع. ر. و خلیلی، د. (۱۳۸۰). بررسی خشکسالی هواشناسی استان فارس، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، سال پنجم، شماره ۴، صص. ۱۲-۱.

- محمودزاده، ع. (۱۳۸۷). بررسی همبستگی شاخص خشکسالی SPI و شاخص NDVI در منطقه فریدون‌شهر، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشکده مهندسی عمران، ۲۳-۲۵ مهر ماه ۱۳۸۷، دانشگاه تبریز.
- Almazroui, M., 2010, **Calibration of TRMM Rainfall Climatology over Saudi Arabia during 1998-2009**, Atmospheric Research, Vol. 99, No. 3-4, PP. 400-414.
- Anyamba, A., Tucker, C.J., 2005, **Analysis of Sahelian Vegetation Dynamics Using NOAA-AVHRR NDVI Aata from 1981-2003**, Journal of Arid Environments, Vol. 63, No. 3, PP. 596-614.
- Beyene, E., 2007, **Drought Assessment for Nile Basin Using Meteosat Second Generation Data with Special Emphasis on the Upper Blue Nile Region**, Master Thesis, ITC, Enschede, Netherlands.
- Chaichi, M., Shabbifar, M., 2008, **Agricultural Drought Monitoring Using Satellite Indices in Tehran Province**, The First International Conference of Water Crisis, Zabol University, Iran, March 10-12/2008.
- Chopra, P., 2006, **Drought Risk Assessment Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Gujarat**, M.Sc. Thesis, ITC, Enschede, Netherlands.
- Erfanian, M., Kazempour, S., Haidari, H., 2013, **Evaluation and Calibration of TRMM Rainfall Data in Arid and Semi-arid Regions of Iran**, Quarterly Journal of Geography (Regional Planning), Vol. 3, No. 3, PP. 85-93.
- Ghafori, S., 2008, **Development and Management of Water Resources in Iran for Drought Combating**, The Third National on Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran, October 14-16/2008.
- Gizachewa, L., 2010, **Agriculture Drought Assessment Using Remote Sensing and GIS Techniques**, M.sc. Thesis, Addis Ababa University.
- Gonfa, L., 1996, **Climate Classification of Ethiopia**, In: Meteorological Research Report Series, Vol. 3, PP. 1-8.
- Hellden, U., Christian, T., 2008, **Regional Desertification: a Global Synthesis**, Global and Planetary Change, Vol. 64, No. 3-4, PP. 169-176.
- Karaseva, M., Prakash, S., Gairola, R.M., 2012, **Validation of High Resolution TRMM-3B43 Precipitation Product Using Rain Gauge Measurements over Kyrgyzstan**, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 108, No. 1-2, PP. 147-157.
- Karimi, V., Kamkar, A.A., Sepahkhan, A., Khalili, D., 2001, **Evaluation of Meteorological Drought in Fars Province**, Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Vol. 5, No. 4, PP. 1-12.
- Khajeh, F., 2007, **Drought Monitoring Using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in Isfahan Province**, M.sc. Thesis, Faculty of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
- Mahmoudzadeh, A., 2008, **Investigation on Correlation Between the SPI and the NDVI in Freidonsahr Region**, The Third National on Water Resources Management, Faculty of Civil Engineering, Tabriz University, Tabriz, Iran.
- Myneni, R., Knyazikhin, Y., Glassy, J., Votava P., shabanov, N., 2003, **User's Guide NDVI 8-day Composite**, NASA MODIS Land Algorithm.
- Pirmoradian, N., Shamsnia, S.A., Shahrokhnia, M.A., 2007, **Monitoring and Analysis of the Spatial Distribution of Drought Intensity of Cropping Year 2000-2001 in Fars Province Using Standard Precipitation Index (SPI) in Geographic Information System (GIS)**, Journal of Water Engineering, Vol. 2, No. 1, PP. 61-70.
- Rahimzadeh Bajgiran, P., Darvishsefat, A.A., Khalili, A., Makhdoum, M.F., 2008, **Using AVHRR-based Vegetation Indices for Drought Monitoring in the Northwest of Iran**, Journal of Arid Environment, Vol. 72, No. 6, PP. 1086-1096.
- Rahimzadeh, P., 2005, **Investigating the Possibility of Using NOAA-AVHRR Data for Monitoring Drought**, Master Thesis, Faculty of Environment, Tehran University, Tehran, Iran.
- Russell, G. C., 1991, **A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data**, Remote Sensing of Environment, Vol. 37, No. 1, PP. 35-46.
- Sanjay, K.J., Kershri, R., Goswami, A., Sarkar, A., 2010, **Application of Meteorological and Vegetation Indices for Evaluation of Drought Impact: a Case Study for Rajathan, India**, Nat Hazards, Vol. 54, No. 3, PP. 643-656.
- Sergio, M., Vicente, S., 2007, **Evaluating the Impact of Drought Using Remote Sensing in a Mediterranean, Semi-arid Region**, Natural Hazards, Vol. 40, No. 1, PP. 173-208.