

ارزیابی کارایی شاخص‌های خشکسالی گیاهی (VDI) و دمایی (TDI) مبتنی بر تصاویر ماهواره‌ای در محدوده ایران مرکزی

۱- یعقوب نبازی، دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۲- علی طالبی، دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

talebisf@yazd.ac.ir

۳- محمد حسین مختاری، استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد

۴- مجید وظیفه دوست، استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۷

چکیده

افزایش دما و تغییر الگوهای بارش منجر به رخداد‌های آب و هوایی شدید مثل خشکسالی شده است که به شدت در حوزه‌های کشاورزی، زیست محیطی، اجتماعی و اقتصادی تأثیرگذار است. اطلاعات درباره زمان، شدت و وسعت خشکسالی می‌تواند به برنامه‌ریزی و تصمیم‌گیری کمک کند. شاخص‌های خشکسالی حاصل از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالایی دارند بنابراین تعیین شرایط خشکسالی در زمان واقعی با استفاده از آنها برای مناطق وسیع بسیار سخت است. از این‌رو شاخص‌های خشکسالی حاصل از داده‌های سنجنده از دوری امروزه به طور گسترده برای پایش خشکسالی استفاده می‌شود. در این پژوهش دو شاخص خشکسالی گیاهی (VDI) و دمایی (TDI) مبتنی بر سنجنده از دور بر اساس شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI) مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های زمینی مورد ارزیابی قرار گرفته است. داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra و داده‌های بارش ۵۰ ایستگاه سینوپتیک در محدوده ایران مرکزی در طی دوره آماری ۲۰۰۴-۲۰۰۱ است. ارزیابی دقت دو شاخص خشکسالی جدید VDI و TDI با استفاده از معیارهای ارزیابی R و RMSE در سطح اطمینان ۹۵٪ و بر اساس مقایسه با نقشه توزیع مکانی خشکسالی مبتنی بر شاخص SPI انجام شد. نتایج معیارهای ارزیابی نشان داد که شدت خشکسالی برآورد شده به وسیله شاخص‌های VDI و TDI در انطباق با مقادیر شاخص SPI به ترتیب دارای ضریب همبستگی معنی‌دار (۰/۶۹) و (۰/۶۶) است. از این‌رو این شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های سنجنده از دوری به خوبی می‌تواند در سیستم‌های هشدار سریع خشکسالی استفاده شود.

واژگای کلیدی: خشکسالی؛ شاخص VDI؛ شاخص TDI؛ سنجنده از دور؛ ایران مرکزی.

مقدمه

پشت سر گذاشته است [۱۶]. با توجه به پیامدهای منفی و ناخواسته این پدیده چند بعدی بر رشد توسعه جوامع از یک سو و بالا بودن امکان وقوع خشکسالی در ایران، از دیگر سو تدبیر، سازوکارهای برنامه‌مند برای مقابله، مهار و مدیریت بحران خشکسالی ضروری است [۲۳]. برای مطالعه و ارزیابی خشکسالی، شاخص‌های متعددی ارائه شده است که هر یک قوت‌ها و ضعف‌های خود را دارند [۸، ۱۲، ۱۳، ۲۰، ۲۲، ۲۴ و ۲۸]. بیشتر شاخص‌هایی که در این زمینه به کار می‌روند، بر پایه

خشکسالی فاجعه زیست‌محیطی است که در یک دوره پیوسته و پایدار مقدار آب موجود در منابع آبی منطقه به حد قابل توجهی کاهش می‌یابد و دچار کمبود می‌شود [۲۶]. نمونه‌های زیادی از خشکسالی در جهان و اثرهای آن در کشورهایی که از نظر اقلیمی شرایط بهتر از کشور ما دارند، گزارش شده است [۱۵]. بیشتر قاره‌ها در سه دهه اخیر دچار خشکسالی شده‌اند و این موضوع با افزایش تقاضای آب در برابر منابع محدود آن اهمیت می‌یابد [۱۵]. ایران در ۲۲ سال گذشته ۱۳ دوره خشکسالی را

مردن MODIS را پیشنهاد می‌کند. در پژوهشی از شاخص NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای AVHRR، برای پایش بیابان‌زایی در سطح منطقه‌ای و جهانی استفاده کردند [۱۰]. نتایج نشان داد که بین بارندگی و NDVI همبستگی بالایی در بیشتر مناطق خشک دنیا وجود دارد. برای برآورد خشکسالی در جزیره‌ی جاوای اندونزی از تصاویر MODIS برای محاسبه شاخص‌های EVI و دمای سطح زمین (LST) استفاده شد [۲۰]. شاخص VHI با استفاده از VCI و TCI به دست می‌آید و با استفاده از نقشه‌ی VHI سلامت پوشش گیاهی در جزیره‌ی جاوا به دست آمد. در منطقه آروالی هند، خشکسالی با به‌کارگیری شاخص‌های NDVI، VCI، TCI و VHI حاصل از ماهواره AVHRR-NOAA در مقایسه با شاخص‌های آماری SPI و SWI حاصل از ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد مطالعه قرار گرفت. در این مطالعه ضریب همبستگی بالایی بین VCI و TCI با میزان بارندگی ماهانه مشاهده نشد. 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 شبه جزیره ایبری استفاده شد [۲۱]. اثر خشکسالی در قسمت‌های مختلف منطقه مورد مطالعه، متفاوت و به نوع پوشش اراضی و مکان رویش آنها بستگی دارد. قابلیت داده‌های سنجنده AVHRR در برآورد خشکسالی با دو شاخص NDVI و VCI مورد بررسی قرار گرفت [۱۷]. نتایج نشانگر همبستگی بالا بین شاخص VCI و مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های سینوپتیک بود. ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی دشت سراب و تحلیل دو دوره خشکسالی و ترسالی به کمک تصاویر سنجنده ETM+ و ماهواره‌ی SPOT و شاخص‌های SPI، NDVI و شاخص VHI انجام شد [۱۱]. نتایج نشانگر بالا بودن تغییرات وضعیت سلامت پوشش گیاهی، به‌ویژه در مناطق تحت کشت دیم است. در مطالعه تطبیقی شاخص‌های خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای و زمینی در استان کرمانشاه به مقایسه شاخص SPI و چهار شاخص استخراج شده از تصاویر

معیارهای هواشناسی بوده و متغیرهایی مانند میزان رطوبت خاک، دما یا به ویژه میزان بارش را مورد بررسی قرار می‌دهند. این روش‌ها به علت استفاده از آمار ایستگاه‌های هواشناسی به صورت نقطه‌ای و از طرفی پراکندگی ایستگاه‌ها به ویژه در مناطق خشک محدودیت‌هایی را در بررسی خشکسالی به وجود آورده است. با فراهم شدن داده‌های ماهواره‌ای متفاوت و فراگیر شدن استفاده از آنها، امکان مطالعه خشکسالی با استفاده از این فناوری فراهم شده است [۹]. در چهار دهه اخیر، سنجش از دور ابزار پایش خشکسالی را به صورت وسیع و گسترده فراهم آورده و مدل‌های پایش خشکسالی زیادی ارائه شده است [۵، ۱۹ و ۲۷]. در پژوهشی به ردیابی و تحلیل خشکسالی با شاخص‌های NDVI، VCI^۱ و VHI^۲ در منطقه‌ی بیابانی و خشک کاشان پرداخته شد [۲۳]. با توجه به نتایج، بهره‌گیری از داده‌های سنجش از دور در مطالعات محیطی مناطق خشک و بیابانی توصیه می‌شود. نتایج بررسی شاخص NDVI در تحلیل خشکسالی استان اصفهان به کمک تصاویر ماهواره‌ای NOAA و داده‌های بارش ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که در بین دوره‌های زمانی شاخص SPI^۳، دوره‌های زمانی سه‌ماهه، همبستگی بالایی نشان داد [۱]. نتایج همبستگی نشان داد که NDVI می‌تواند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های اقلیمی در ارزیابی خشکسالی‌ها باشد. در پژوهشی کارآیی داده‌های سنجنده MODIS^۴ در برآورد خشکسالی حوضه آبریز دریاچه ارومیه را مورد ارزیابی قرار گرفت [۱۸]. در این پژوهش از شاخص‌های VCI، TCI و SPI استفاده شده با توجه به نتایج، شاخص VCI و سنجنده MODIS می‌توانند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی در ارزیابی خشکسالی باشند. در منطقه‌ی جنوب غربی آسیا به کمک شاخص‌های VHI، TCI، VCI، NDVI، Dev و شاخص‌های ارزیابی شد [۲۵]. این پژوهش روش‌هایی برای پایش خشکسالی با استفاده از اتصال داده‌های تاریخی سنجنده AVHRR با داده‌های روزانه سنجنده

1- Vegetarian Condition Index (VCI)

2- Vegetarian Health Index (VHI)

3- Standardized Precipitation Index (SPI)

4- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

می‌شود، که مهمترین آن‌ها به خصوص دشت‌های پهناور کویری چون دشت لوت و دشت کویر است، این دشت‌ها دارای زمستانی سرد با دمای 15°C است. تابستان این دشت‌ها خشک و سوزان است و دما به 50°C می‌رسد. رطوبت نسبی این دشت‌ها پایین بوده و به طور متوسط ۳۰ تا ۴۰٪ است، اما در دوره‌های گرم سال تا ۱۵٪ و در موارد استثنایی می‌تواند تا ۱۰٪ و کمتر برسد. ریزش‌های جوی این حوزه اندک بوده و متوسط سالیانه آن به کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر در سال می‌رسد. برعکس تبخیر سالانه در این حوزه بالا بوده و در موارد زیادی به بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال هم می‌رسد. این حوزه با مساحت ۸۳۷.۱۸۴ کیلومترمربع، ۵۰/۸ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. در این پژوهش برای ارزیابی و مقایسه نقشه توزیع مکانی خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای با داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه، محدوده ایران مرکزی شامل ۵۰ ایستگاه سینوپتیک انتخاب شد. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های بارش ماهانه ۵۰ ایستگاه سینوپتیک و محصولات دمایی و پوشش گیاهی سنجنده MODIS ماهواره Terra با دوره آماری ۴ ساله از ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ می‌باشند. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش مکانی ایستگاه‌های انتخابی در شکل ۱ و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در جدول ۱ ارائه شده است.

معرفی شاخص‌های خشکسالی VDI و TDI مبتنی

بر داده‌های سنجش از دوری

محاسبه خشکسالی در این پژوهش با استفاده از مؤلفه‌های پوشش گیاهی و دما انجام شده است. مؤلفه پوشش گیاهی به عنوان نماینده کمبود رطوبت خاک مورد استفاده قرار می‌گیرد و مقدار کم NDVI و تداوم این کاستی را مورد توجه قرار می‌دهد؛ و مؤلفه دما، دمای بالا و تدام این دمای بالا را مورد توجه قرار می‌دهد. شاخص خشکسالی اساس مؤلفه پوشش گیاهی به عنوان شاخص خشکسالی پوشش گیاهی و بر اساس مؤلفه دما به عنوان شاخص خشکسالی دمایی نام‌گذاری شده است.

NOAA-AVHRR شاخص اختلاف نرمال شده پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص شرایط دمایی (TCI)، شاخص نمایه نسبت پوشش گیاهی (RVI)، شاخص استاندارد شده گیاهی (SVI) با استفاده از روش تجزیه و تحلیل بردار تغییر (CVA) پرداخته شد [۶]. نتایج نشان داد بهترین پاسخ به خشکسالی در سال‌های مورد بررسی با شاخص SVI به دست می‌آید. کمترین تطابق SPI در سال‌های نرمال و تر با شاخص TCI است. در تحقیقی با عنوان پایش خشکسالی با بهره‌گیری از شاخص ترکیبی خشکسالی در کنیا روشی برای پایش تکامل و شدت خشکسالی با استفاده از یک شاخص ترکیبی جدید ارائه شد [۲]. به کارگیری این روش در نقاط انتخاب شده از نواحی مختلف آب و هوایی و مقایسه نتایج آن با سوابق رویدادهای خشکسالی در دسترس، نشان می‌دهد که ارتباط بین این دو مثبت است. علاوه بر این، مشخص شد که شاخص ترکیبی خشکسالی قادر به تحلیل تغییرات آب و هوایی مربوط به خشکسالی بوده، احتمال وقوع آن را هشدار می‌دهد. محاسبات مربوط به تعیین خشکسالی نیازمند اندازه‌گیری متغیرهایی است که مهمترین آن‌ها پوشش گیاهی و دما است. این موضوع در محدوده ایران مرکزی که با کمبود جدی آمار و اطلاعات مشاهداتی روبرو هستیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از این رو لازم است منابع داده‌ای، که بتوانند این کمبودها را رفع کنند، ارزیابی نموده و مورد استفاده قرار گیرند. هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی شاخص‌های خشکسالی گیاهی^۱ (VDI) و دمایی^۲ (TDI) حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS برای تهیه نقشه شدت خشکسالی در محدوده ایران مرکزی است. دقت نتایج به دست آمده با استفاده از نقشه شدت خشکسالی SPI مبتنی بر بارش ایستگاه‌های زمینی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

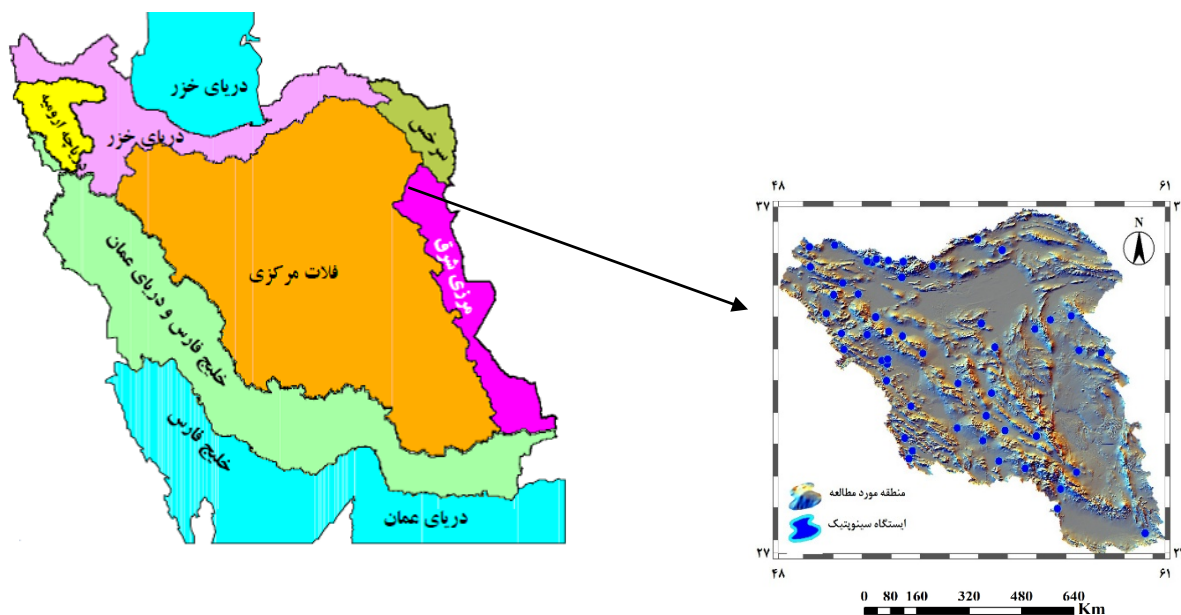
حوزه ایران مرکزی محدوده اقلیمی مربوط به دشت‌های خشک تا کویری فلات مرکزی ایران را شامل

1- Vegetation Drought Index (VDI)

2- Temperature Drought Index (TDI)

جدول ۱- ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در محدوده ایران مرکزی

ایستگاه شماره	نام	موقعیت جغرافیایی			متوسط بارش (mm)	متوسط دما (°C)
		طول (°)	عرض (°)	ارتفاع از سطح دریا (m)		
۱	ایران‌شهر	۶۰/۷۲	۲۷/۲۱	۵۹۱/۱۰	۵۴/۴۲	۲۶/۸
۲	کهنوج	۵۷/۷۲	۲۷/۹۷	۴۶۹/۷۰	۱۳۵/۰۲	۲۶/۹
۳	میان ده جیرفت	۵۷/۸۲	۲۸/۵۹	۶۰۱	۱۰۵/۵۶	۲۵/۱
۴	بم	۵۸/۳۷	۲۹/۱۱	۱۰۶۶/۹۰	۳۶/۶۲	۲۳
۵	بافت	۵۶/۵۹	۲۹/۲۴	۲۲۸۰	۲۱۷/۲۶	۱۵
۶	سیرجان	۵۵/۶۹	۲۹/۴۷	۱۷۳۹/۴۰	۱۰۹/۹۸	۱۷/۴
۷	شیراز	۵۲/۶۱	۲۹/۵۴	۱۴۸۴	۱۴۳/۰۸	۱۷/۸
۸	زرقان	۵۲/۷۳	۲۹/۷۹	۱۵۹۶	۳۵۵/۹۲	۱۶/۴
۹	شهر بابک	۵۵/۱۴	۳۰/۱۰	۱۸۳۴/۱۰	۱۴۹/۷۲	۱۵/۳
۱۰	سد درودزن	۵۲/۴۶	۳۰/۱۹	۱۶۵۲	۵۴۹/۰۶	۱۷/۷
۱۱	کرمان	۵۶/۹۸	۳۰/۲۵	۱۷۵۳/۸۰	۱۱۲/۷۸	۱۵/۹
۱۲	رفسنجان	۵۵/۹۱	۳۰/۴۲	۱۵۸۰/۹۰	۷۴/۵۲	۱۸/۶
۱۳	مروست	۵۴/۲۶	۳۰/۵۰	۱۵۴۶/۶۰	۷۷/۵۴	۱۷/۸
۱۴	انار	۵۵/۲۶	۳۰/۸۹	۱۴۰۸/۸۰	۵۷/۰۶	۱۸/۲
۱۵	آباده	۵۲/۶۸	۳۱/۱۹	۲۰۳۰	۱۶۴/۹۶	۱۴/۴
۱۶	بافق	۵۵/۴۴	۳۱/۶۰	۹۹۱/۴۰	۵۲/۰۲	۲۱/۴
۱۷	یزد	۵۴/۲۹	۳۱/۹۰	۱۲۳۷/۲۰	۵۱/۱۶	۱۹/۲
۱۸	شهرضا	۵۱/۸۴	۳۱/۹۹	۱۸۴۵/۲۰	۱۴۳/۰۸	۱۴/۷
۱۹	کبوترآباد	۵۱/۸۶	۳۲/۵۲	۱۵۴۵	۱۱۱/۴۲	۱۵/۴
۲۰	اصفهان	۵۱/۶۸	۳۲/۶۲	۱۵۵۰/۴۰	۱۳۶/۴۴	۱۶/۳
۲۱	شرق اصفهان	۵۱/۸۸	۳۲/۶۷	۱۵۴۳	۹۶/۹۸	۱۵/۱
۲۲	نائین	۵۳/۰۹	۳۲/۸۵	۱۵۴۹	۶۹/۹۶	۱۶/۸
۲۳	بیرجند	۵۹/۲۱	۳۲/۸۷	۱۴۹۱	۱۳۷/۰۲	۱۶/۵
۲۴	خور بیرجند	۵۸/۴۴	۳۲/۹۴	۱۱۱۷/۴۰	۱۰۱/۶۴	۱۹/۹
۲۵	داران	۵۰/۳۸	۳۲/۹۷	۲۲۹۰	۳۷۲/۷۴	۱۰/۹
۲۶	رباط پشت	۵۵/۵۶	۳۳/۰۴	۱۱۸۸	۱۰۷/۷۶	۱۹/۱
۲۷	اردستان	۵۲/۳۹	۳۳/۳۹	۱۲۵۲/۴۰	۱۰۵/۰۸	۱۹
۲۸	میامه	۵۱/۱۸	۳۳/۴۴	۱۹۸۰	۱۷۵/۷۶	۱۲/۳
۲۹	گلپایگان	۵۰/۲۹	۳۳/۴۷	۱۸۷۰	۲۹۲/۸۸	۱۴/۲
۳۰	نطنز	۵۱/۹۱	۳۳/۵۴	۱۶۸۴/۹۰	۱۸۹/۴۸	۱۵/۵
۳۱	طبس	۵۶/۹۳	۳۳/۶۰	۷۱۱	۸۵/۶۴	۲۱/۹
۳۲	خور بیابانک	۵۵/۰۹	۳۳/۷۹	۸۴۵	۷۹/۰۰	۲۰/۵
۳۳	بشروییه	۵۷/۴۶	۳۳/۹۰	۸۸۵	۸۰/۸۲	۱۹/۱
۳۴	کاشان	۵۱/۴۶	۳۳/۹۹	۹۸۲/۳۰	۱۴۰/۷۰	۱۹/۱
۳۵	فردوس	۵۸/۱۸	۳۴/۰۲	۱۲۹۳	۱۱۰/۳۶	۱۷/۳
۳۶	اراک	۴۹/۷۸	۳۴/۱۰	۱۷۰۸	۳۱۵/۱۲	۱۳/۹
۳۷	تفرش	۵۰/۰۳	۳۴/۶۹	۱۹۷۸/۷۰	۳۹۹/۴۲	۱۳/۵
۳۸	قم	۵۰/۸۶	۳۴/۷۰	۸۸۷/۴۰	۱۵۸/۰۸	۱۸/۲
۳۹	ساوه	۵۰/۳۴	۳۵/۰۵	۱۱۰۸	۲۰۷/۵۲	۱۸/۲
۴۰	قمصر	۵۲/۳۶	۳۵/۲۴	۸۹۹/۹۰	۱۳۷/۲۴	۱۴
۴۱	اوج	۴۹/۲۳	۳۵/۵۷	۲۰۳۴/۹۰	۳۹۹/۴۲	۱۰/۶
۴۲	سمنان	۵۳/۴۳	۳۵/۵۹	۱۱۲۷	۱۴۷/۵۲	۱۸/۲
۴۳	فیروزکوه	۵۲/۴۱	۳۵/۷۲	۲۹۸۵/۷۰	۴۱۶/۹۲	۹
۴۴	چیتگر	۵۱/۱۸	۳۵/۷۴	۱۳۰۵/۲۰	۲۹۳/۱۶	۱۷/۴
۴۵	آبعلی	۵۱/۸۹	۳۵/۷۵	۲۴۶۵/۲۰	۵۶۵/۵۶	۸/۶
۴۶	شمال تهران	۵۱/۴۹	۳۵/۸۰	۱۵۴۹/۱۰	۴۶۱/۵۸	۱۵/۶
۴۷	بیارجمند	۵۵/۸۱	۳۶/۰۹	۱۰۹۹/۳۰	۱۲۸/۳۶	۱۶/۱
۴۸	خرم دره	۴۹/۱۹	۳۶/۱۹	۱۵۷۵	۲۷۹/۳۴	۱۲/۱
۴۹	قزوین	۵۰/۰۶	۳۶/۲۶	۱۲۷۹/۲۰	۳۱۷/۰۶	۱۴/۱
۵۰	شاهرود	۵۴/۹۶	۳۶/۴۲	۱۳۴۹/۱۰	۱۳۹/۸۴	۱۶/۷



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش ایستگاه‌های سینوپتیک انتخابی

محاسباتی با اضافه کردن مقدار عددی ۱ به حداکثر مقدار دما و طول دوره اجرای شاخص خشکسالی و کم کردن مقدار ۰/۰۱ از کمترین مقدار شاخص پوشش گیاهی با هدف جلوگیری از تقسیم شدن مقادیر شاخص‌های خشکسالی به صفر براساس رابطه‌های ۲ و ۳ صورت می‌گیرد. این اصلاحات تنها برای آسان‌سازی در فرآیند محاسباتی این شاخص‌ها است و هیچ‌گونه تغییری در ماهیت داده‌ها و نتایج ایجاد نمی‌کند [۳]:

$$NDVI^* = NDVI - (NDVI_{min} - 0.01) \quad (2)$$

$$T^* = (T_{max} + 1) - T \quad (3)$$

متغیرهای مورد استفاده در روابط بالا در ادامه معرفی شده است.

محاسبه شاخص خشکسالی پوشش گیاهی (VDI)

شاخص خشکسالی مبتنی بر NDVI به دست آمده از سنجنده MODIS در این پژوهش بر اساس رابطه ۴ محاسبه شده است [۳]:

$$VDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=0}^{IP-1} NDVI_{i,(m-j)}^*}{\frac{1}{(n * IP)} \sum_{k=1}^n \left[\sum_{j=0}^{IP-1} NDVI_{(m-j),k}^* \right]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}^{(NDVI^*)}}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}^{(NDVI^*)}}}$$

که در آن:

این شاخص‌های جدید، آماری بوده و شرایط پوشش گیاهی و دمای حاضر را با میانگین ویژگی‌های دراز مدت آن در زمان مورد نظر در طول سال مقایسه می‌کنند. این شاخص برای مؤلفه‌های دما و پوشش گیاهی به صورت کلی به کمک رابطه ۱ محاسبه می‌شوند [۳]:

$$(1) \quad \text{شاخص خشکسالی} = \frac{\text{متوسط واقعی برای IP}}{\text{LTM برای IP}}$$

این رابطه عبارتست از تقسیم مقدار متوسط واقعی یا کنونی مؤلفه‌های مؤثر در وقوع خشکسالی (دما و پوشش گیاهی) برای IP که معرف دوره انتخابی مورد نظر به عنوان مثال گام‌های زمانی ۳، ۴، ۵ ماهه یا دهه‌ای است بر LTM که معرف مقدار میانگین طولانی مدت همان مؤلفه‌ها در همان دوره انتخابی است. از اصطلاح کمبود یا نقصان برای مؤلفه پوشش گیاهی به معنی مقدار کمتر پوشش گیاهی نسبت به مقدار متوسط طولانی مدت این مؤلفه و اصطلاح مازاد یا اضافی برای مقدار بیش از متوسط طولانی مدت مؤلفه دما استفاده می‌شود. از آن‌جا که شاخص‌های خشکسالی حاصل از هر یک از مؤلفه‌های دما و پوشش گیاهی از مقایسه وضعیت کنونی خشکسالی به شرایط طولانی مدت آن به دست می‌آید اغلب استانداردهای داده‌های ورودی جهت تفسیر ریاضی همگن از شرایط خشکسالی اجتناب‌ناپذیر است. این فرآیند

محاسبه شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI، نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان مقیاس دارد و برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. این روش به وسیله مک‌کی و همکاران (۱۹۹۳) اعضای مرکز اقلیمی کلرادو، با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. شاخص SPI از رابطه ۶ به دست می‌آید [۱۲]:

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{S} \quad (۶)$$

که در آن:

P_i : مقدار بارش در دوره مورد نظر؛ \bar{P} : میانگین درازمدت بارش برای دوره مورد نظر، و S : انحراف معیار مقدار بارش است.

برای محاسبه این نمایه، از توزیع گاما برای برازش داده‌های بارش استفاده می‌شود. سپس محاسبه‌های لازم و تعیین متغیرهای مربوط به نمایه SPI انجام می‌گیرد. پس از محاسبه مقدار SPI در هر بازه زمانی، وضعیت رطوبتی به طبقات مختلف (جدول ۳) تقسیم می‌شود [۱۳].

جدول ۳- طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص

SPI [۱۳]

مقدار شاخص	شدت خشکسالی
$SPI > 2$	کاملاً مرطوب
$1/5 < SPI < 2$	خیلی مرطوب
$1 < SPI < 1/5$	نسبتاً مرطوب
$0 < SPI < 1$	مرطوب ملایم
$-1 < SPI < 0$	خشکسالی ملایم
$-1/5 < SPI < -1$	خشکسالی متوسط
$-2 < SPI < -1/5$	خشکسالی شدید
$SPI < -2$	خشکسالی خیلی شدید

ارزیابی شاخص خشکسالی VDI و TDI

به منظور ارزیابی دقت مقادیر برآورده شده شاخص خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای پوشش گیاهی و دما، یک مقایسه تطبیقی با نقشه توزیع مکانی خشکسالی مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های

NDVI* مقدار شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده ماهانه است که از رابطه ۲ به دست می‌آید، IP دوره انتخابی مورد نظر (به عنوان مثال گام‌های زمانی ۳، ۴، ۵ ماهه یا دهه‌ای)، $RL^{(NDVI)}$ طول دوره اجرا که برابر با حداکثر تعداد دهه‌های متوالی یا ماه‌هایی با مقدار کمتر از متوسط طولانی مدت شاخص پوشش گیاهی در دوره انتخابی است، n تعداد سال، z مجموع پارامترهای محاسبه شده برای IP و k مجموع پارامترهای محاسبه شده برای سال‌هایی است که داده‌های مرتبط با آن‌ها در دسترس است، i بیانگر سال و m بیانگر واحد زمانی شامل ماه یا دهه مورد نظر است.

محاسبه شاخص خشکسالی دمایی (TDI)

شاخص خشکسالی مبتنی بر دمای به دست آمده از سنجنده MODIS در این پژوهش به کمک رابطه ۵ محاسبه شده است [۳]:

$$TDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=0}^{IP-1} T_{i,(m-j)}^*}{\frac{1}{(n * IP)} \sum_{k=1}^n \left[\sum_{j=0}^{IP-1} T_{(m-j),k}^* \right]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}^{(T^*)}}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}^{(T^*)}}} \quad (۵)$$

که در آن:

T^* مقدار دمای اصلاح شده ماهانه است که از رابطه $(T_{max} + 1) - T$ به دست می‌آید، $RL^{(T)}$ طول دوره اجرا که برابر با حداکثر تعداد دهه‌های متوالی یا ماه‌هایی با مقدار بیشتر از متوسط طولانی مدت دما در دوره انتخابی است. سایر متغیرهای مشابه موارد ذکر شده برای شاخص VDI است.

طبقه‌بندی شدت خشکسالی مبتنی بر مقادیر شاخص VDI و TDI در جدول ۲ ارائه شده است:

جدول ۲- طبقه‌بندی مقادیر شاخص خشکسالی (VDI و

TDI) [۳]

مقدار شاخص	شدت خشکسالی
> 1	بدون خشکسالی
$1 - 0/8$	خشکسالی ملایم
$0/8 - 0/6$	خشکسالی متوسط
$0/6 - 0/4$	خشکسالی شدید
$< 0/4$	خشکسالی خیلی شدید

زمینی با استفاده از معیارهای آماری خطا انجام شد که در ادامه شرح داده می‌شود.

ضریب همبستگی پیرسون (R)

ضریب همبستگی پیرسون، یکی از رایج‌ترین و مفیدترین روش‌های آماری است که درجه همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین -۱ و +۱ است و از طریق رابطه ۷ محاسبه می‌شود [۲۷]:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (7)$$

که در آن:

O_i مقدار شاخص خشکسالی مبتنی بر ایستگاه‌های سینوپتیک، P_i مقدار شاخص خشکسالی متنی برداده‌های ماهواره‌ای، \bar{O} و \bar{P} به ترتیب متوسط مقدار شاخص خشکسالی حاصل از ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای و n تعداد کل داده‌ها هستند.

ریشه دوم میانگین مربعات خطا (RMSE)

ریشه دوم میانگین مربعات خطا، میانگین خطاهای کوچک و بزرگ را نشان داده و در مقایسه با MAE برای خطاهای بزرگ نسبت به خطاهای کوچک، وزن بیشتری را در نظر می‌گیرد. محاسبه این معیار آماری بر اساس رابطه ۸ است [۲۷]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2} \quad (8)$$

میانگین خطا (ME)

میانگین خطا، میزان اربیی یا انحراف داده‌های برآوردی را از مقادیر مشاهده‌ای به‌طور متوسط نشان می‌دهد. معیار ME مثبت بیانگر این است که مقادیر برآوردی بیشتر از مقادیر مشاهده‌ای است ولی ME منفی بیانگر برآورد کمتر مقادیر برآوردی در مقایسه با میانگین مقادیر مشاهده‌ای است. محاسبه این معیار آماری بر اساس رابطه ۹ است [۲۷]:

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_i) \quad (9)$$

میانگین خطای مطلق (MAE)

میانگین خطای مطلق، متوسط مقدار مطلق خطاها را نشان می‌دهد. این معیار آماری از رابطه ۱۰ زیر بدست می‌آید [۲۷]:

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |P_i - O_i| \quad (10)$$

اربیی (Bias)

اربیی، خطای سیستماتیک یک طرفه‌ای است که برای تعیین صحت برآورد مدل‌های رگرسیونی استفاده می‌شود:

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n O_i} - 1 \quad (11)$$

نتایج

نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های TDI و VDI

پس از ارزیابی دقت روش درون‌یابی کریجینگ معمولی که نتایج آن برای دو شاخص VDI و TDI در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه شده است، نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس این شاخص‌ها و روش مذکور از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۴ برای محدوده ایران مرکزی به‌دست آمد (شکل ۲). بیشترین مقدار شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های VDI و TDI به ترتیب مربوط به سال ۲۰۰۴ و ۲۰۰۲ به میزان ۰/۳۹۲ و ۰/۲۷۲ و کمترین مقدار آن بر اساس شاخص‌های مذکور ۲/۱۵۰ و ۲/۳۰۲ به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۲ بوده است.

نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI

با استفاده از داده‌های زمینی ۵۰ ایستگاه سینوپتیک در دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۴ و بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ معمولی (جدول ۶)، نقشه‌های شدت خشکسالی شاخص SPI برای محدوده ایران مرکزی به‌دست آمد (شکل ۳). کمترین و بیشترین مقدار شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI مربوط به سال ۲۰۰۱ و به ترتیب برابر با ۱/۷۴۴ و ۱/۰۵۴- است.

ارزیابی نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس

شاخص‌های VDI و TDI

نمودار پراکنش، رابطه رگرسیون خطی و ضریب همبستگی بین نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های خشکسالی VDI و TDI با مقادیر شاخص خشکسالی SPI در دوره ۴ ساله (۲۰۰۱-۲۰۰۴) در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج معیارهای آماری ارزیابی انطباق نقشه توزیع مکانی خشکسالی حاصل از شاخص‌های VDI و TDI و MODIS با مقادیر شاخص خشکسالی SPI، در جدول‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. بیشترین ضریب همبستگی در ارتباط با شاخص VDI (۰/۷۵) مربوط به سال ۲۰۰۴ و کمترین (۰/۶۲) مربوط به سال ۲۰۰۱ است. کمترین و بیشترین مقدار میانگین خطا

به مقدار ۰/۷۲ و ۰/۹۹ به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۱ است. در ارتباط با شاخص TDI، بیشترین ضریب همبستگی (۰/۷۱) مربوط به سال ۲۰۰۳ و کمترین (۰/۶۳) مربوط به سال ۲۰۰۴ است. کمترین و بیشترین مقدار میانگین خطا به مقدار ۰/۵۶ و ۰/۸۹ به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۱ است. مقدار میانگین خطا هر چه به عدد صفر نزدیک‌تر باشد، بیان‌گر شباهت بیشتر مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای است. نتایج معیارهای آماری ارزیابی و خطای محاسبه شده نشان می‌دهد که نقشه شدت خشکسالی حاصل از شاخص‌های VDI و TDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای، از دقت و انطباق قابل قبولی با داده‌های زمینی در سطح اطمینان ۹۵٪ برخوردار است.

جدول ۴- ارزیابی دقت روش درون‌یابی کریجینگ جهت برآورد شدت خشکسالی مبتنی بر شاخص VDI

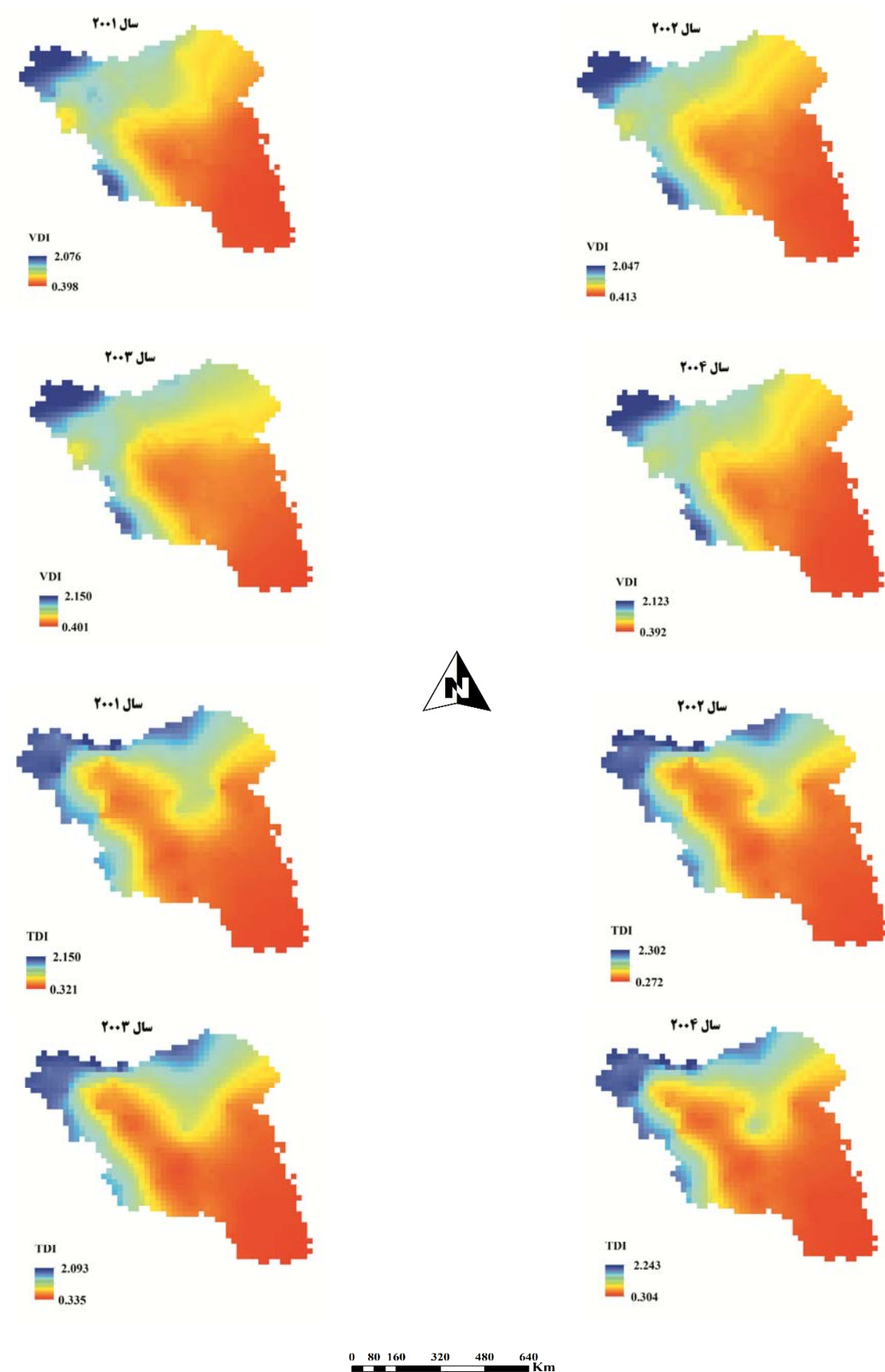
سال	R	معنی‌دار در سطح ٪۵	RMSE	ME	MAE	Bias
۲۰۰۱	۰/۸۶۴	+	۰/۳۶۸	۰/۰۲۳	۰/۳۰۰	۰/۰۲۳
۲۰۰۲	۰/۸۳۹	+	۰/۳۹۹	۰/۰۳۱	۰/۳۱۴	۰/۰۳۰
۲۰۰۳	۰/۸۹۶	+	۰/۳۳۳	۰/۰۳۱	۰/۲۶۶	۰/۰۳۰
۲۰۰۴	۰/۸۶۵	+	۰/۳۸۶	۰/۰۳۲	۰/۳۱۲	۰/۰۳۱

جدول ۵- ارزیابی دقت روش درون‌یابی کریجینگ جهت برآورد شدت خشکسالی مبتنی بر شاخص TDI

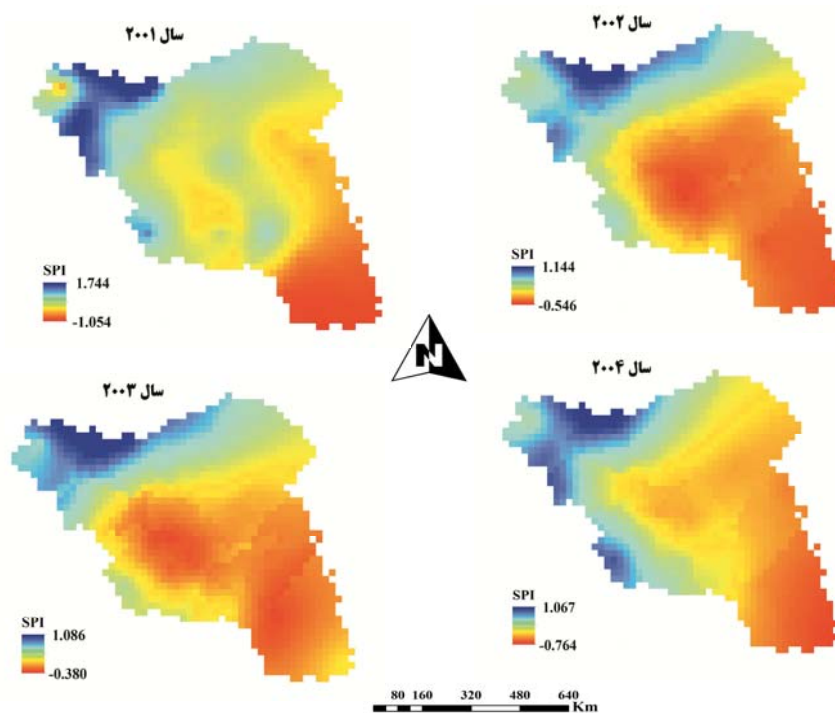
سال	R	معنی‌دار در سطح ٪۵	RMSE	ME	MAE	Bias
۲۰۰۱	۰/۸۹۵	+	۰/۴۰۵	۰/۰۰۳	۰/۲۹۲	۰/۰۲۱
۲۰۰۲	۰/۸۹۵	+	۰/۴۲۱	۰/۰۳۵	۰/۳۴۴	۰/۲۰۴
۲۰۰۳	۰/۸۱۴	+	۰/۴۳۷	۰/۰۳۸	۰/۳۴۰	۰/۱۹۹
۲۰۰۴	۰/۹۱۴	+	۰/۲۲۴	۰/۰۴۷	۰/۱۷۳	۰/۰۴۶

جدول ۶- ارزیابی دقت روش درون‌یابی کریجینگ جهت برآورد شدت خشکسالی مبتنی بر شاخص SPI

سال	R	معنی‌دار در سطح ٪۵	RMSE	ME	MAE	Bias
۲۰۰۱	۰/۹۱۵	+	۰/۲۰۶	۰/۰۳۹	۰/۱۵۸	۰/۰۴۰
۲۰۰۲	۰/۸۹۳	+	۰/۲۵۹	۰/۰۵۰	۰/۱۹۲	۰/۰۴۹
۲۰۰۳	۰/۹۰۸	+	۰/۲۳۴	۰/۰۵۰	۰/۱۷۳	۰/۰۴۹
۲۰۰۴	۰/۹۱۴	+	۰/۲۲۴	۰/۰۴۷	۰/۱۷۳	۰/۰۴۶



شکل ۲- نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های VDI و TDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای



شکل ۳- نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص مبتنی بر داده‌های زمینی

جدول ۷- مقایسه خصوصیات آماری نقشه‌های شاخص خشکسالی VDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای

سال	R	معنی دار در سطح ٪۹۵	RMSE	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۲۰۰۱	۰/۶۲	+	۰/۹۹	۰/۳۹۸	۲/۰۷۶	۰/۸۵۰	۰/۳۶۰
۲۰۰۲	۰/۶۷	+	۰/۸۶	۰/۴۱۳	۲/۰۴۷	۰/۸۴۸	۰/۳۴۸
۲۰۰۳	۰/۷۰	+	۰/۷۲	۰/۴۰۱	۲/۱۵۰	۰/۸۶۲	۰/۳۴۲
۲۰۰۴	۰/۷۵	+	۰/۸۵	۰/۳۹۲	۲/۱۲۳	۰/۸۴۵	۰/۳۶۹

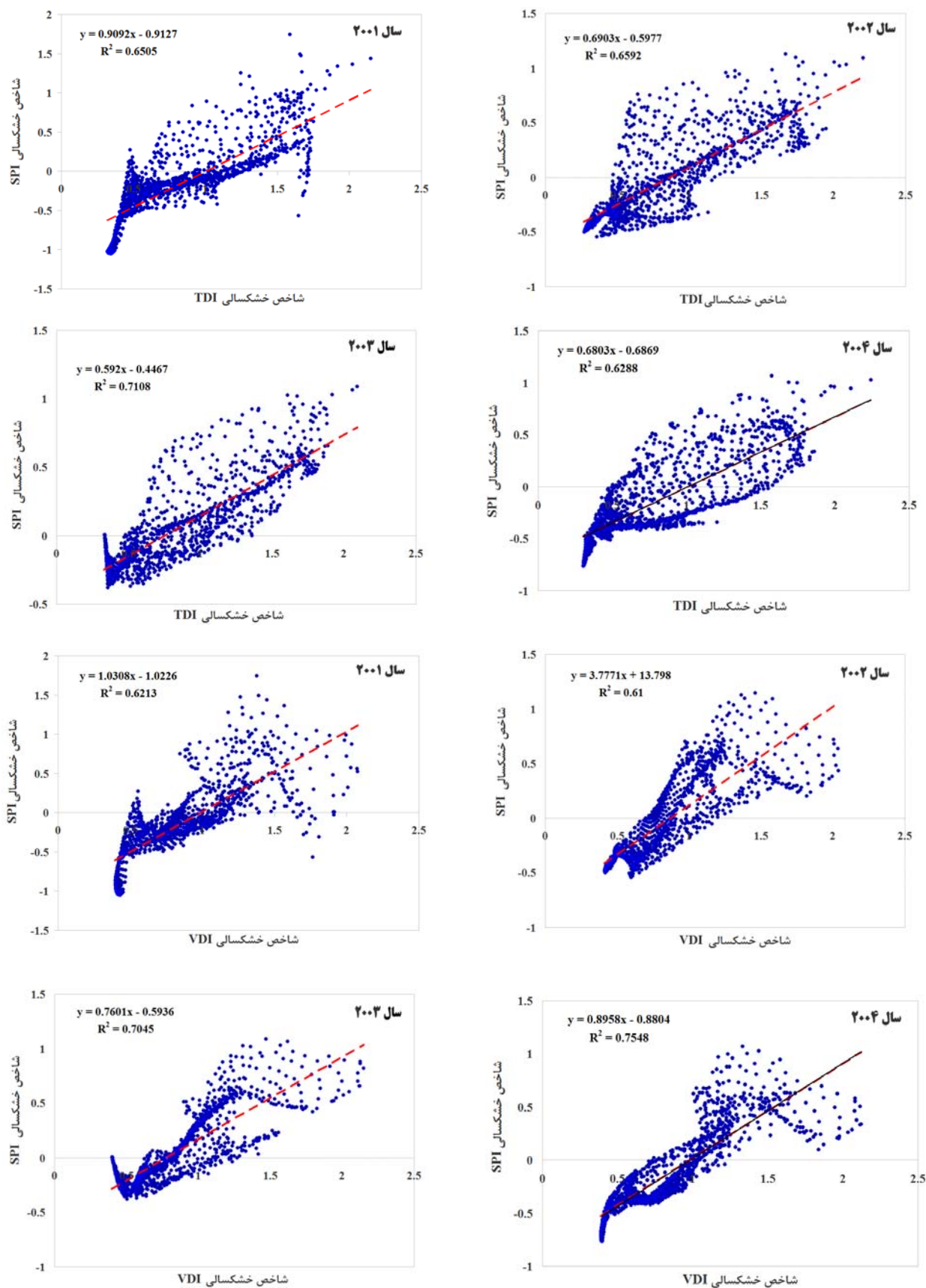
جدول ۸- مقایسه خصوصیات آماری نقشه‌های شاخص خشکسالی TDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای

سال	R	معنی دار در سطح ٪۹۵	RMSE	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۲۰۰۱	۰/۶۵	+	۰/۸۹	۰/۳۲۱	۲/۱۵۰	۰/۸۴۳	۰/۴۱۷
۲۰۰۲	۰/۶۶	+	۰/۶۹	۰/۲۷۲	۲/۳۰۲	۰/۸۳۱	۰/۴۵۳
۲۰۰۳	۰/۷۱	+	۰/۵۹	۰/۳۳۵	۲/۰۹۳	۰/۸۵۸	۰/۴۴۱
۲۰۰۴	۰/۶۳	+	۰/۵۶	۰/۳۰۴	۲/۲۴۳	۰/۸۲۹	۰/۴۴۳

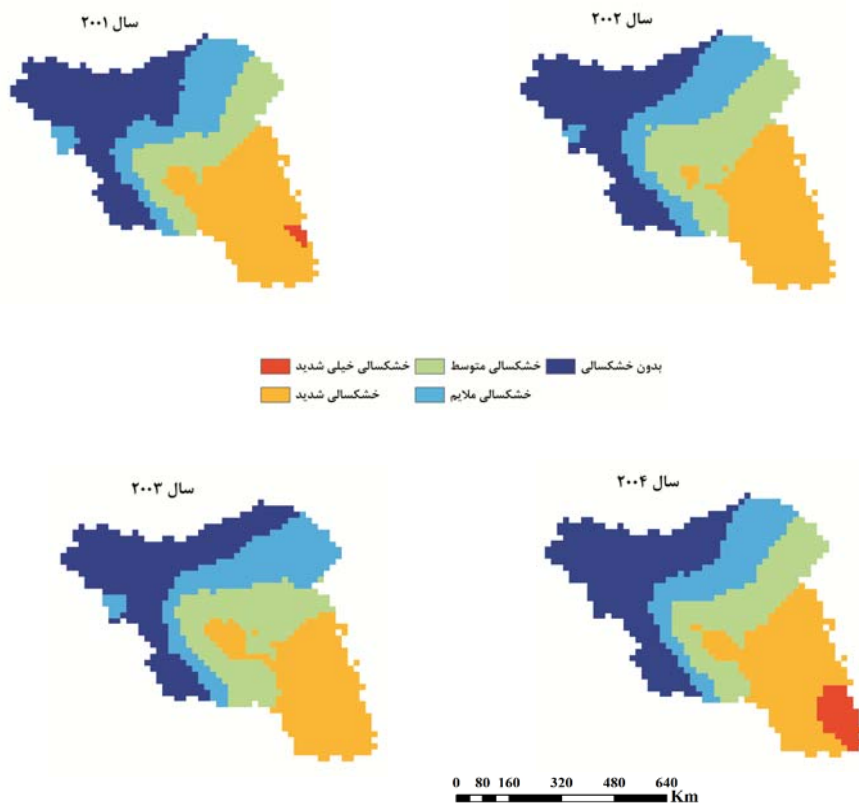
طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های VDI و TDI

مقدار شاخص‌های VDI و TDI بر اساس داده‌های ماهواره‌ای MODIS در ۵۰ ایستگاه سینوپتیک انتخابی در دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۴ در محدوده ایران مرکزی در شکل ۷ نشان داده شده است.

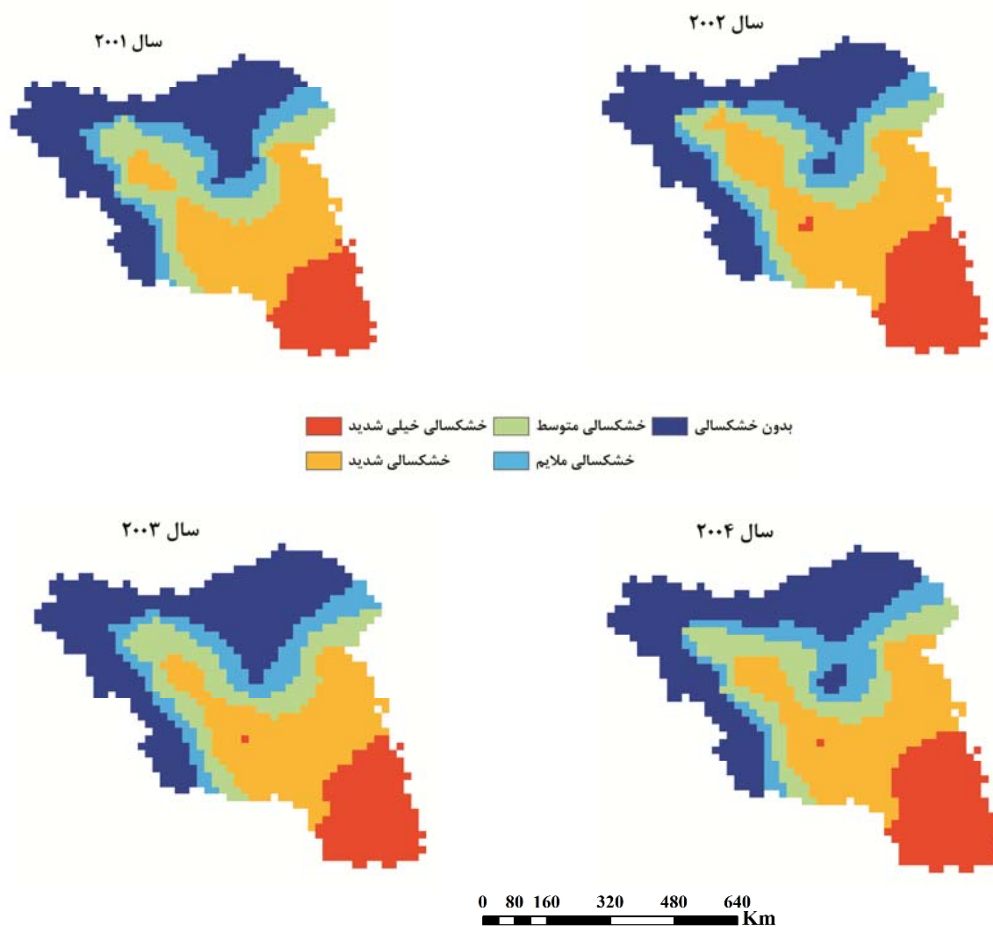
نقشه‌های طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص‌های VDI و TDI حاصل از داده‌های ماهواره‌ای MODIS در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ در محدوده ایران مرکزی در شکل‌های ۵ و ۶ نشان داده شده است. متوسط



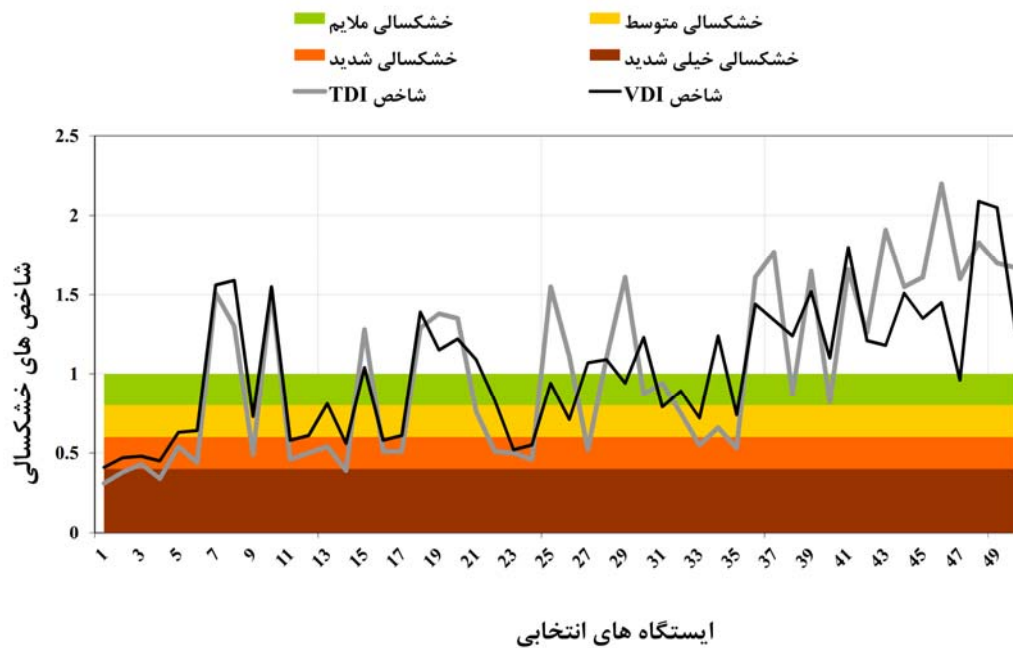
شکل ۴- مقایسه بین مقادیر شاخص خشکسالی VDI, TDI و SPI طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۴



شکل ۵- نقشه طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص VDI



شکل ۶- نقشه طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص TDI



شکل ۷- میانگین شاخص‌های خشکسالی VDI و TDI مبتنی بر داده‌های MODIS در ۵۰ ایستگاه انتخابی

بحث و نتیجه‌گیری

اساس نتایج شاخص خشکسالی VDI، بیشترین سطح خشکسالی خیلی شدید و شدید و همچنین مناطق بدون خشکسالی مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۴ و کمترین مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ است. در حالی که بر اساس نتایج شاخص TDI، بیشترین سطح خشکسالی خیلی شدید و شدید مربوط به سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۴ و کمترین مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۰۳ است. در مورد مناطق بدون خشکسالی، بیشترین سطح مربوط به سال ۲۰۰۳ و کمترین مربوط به سال ۲۰۰۲ است. بیشترین شدت خشکسالی بر اساس دو شاخص VDI و TDI در دوره مورد مطالعه در محدوده ایران مرکزی، در ایستگاه‌های ایرانشهر، کهنوج، میان‌ده جیرفت، بهم، بافت، سیرجان، کرمان، رفسنجان، انار، بافق، یزد، نائین، بیرجند و خور بیرجند رخ داده است. در این پژوهش از سنجنده MODIS که دارای ۳۶ باند است، استفاده شد. بیشتر باندهای طیفی این سنجنده باریک هستند که این ویژگی سبب جلوگیری از جذب طیفی بخار آب در باند مادون قرمز شده و در نتیجه خطایی که به واسطه جذب بخار آب ایجاد می‌شود بسیار کوچک می‌شود. بنابراین دقت محاسباتی در تعیین شاخص‌های

خشکسالی، پدیده‌ای پیچیده با آثار متفاوت است. این رو برای تعیین شدت و وسعت خشکسالی از شاخص استفاده می‌شود. در این پژوهش از محصولات دما و پوشش گیاهی سنجنده مودیس به منظور بررسی خشکی با استفاده از شاخص‌های VDI و TDI در محدوده ایران مرکزی استفاده شد. برای پایش خشکسالی، از شاخص‌های مختلفی با منابع داده مختلفی استفاده می‌شود که این ممکن است نتایج متفاوتی را به همراه داشته باشد، بنابراین باید از یک معیار برای ارزیابی کارایی این شاخص‌ها استفاده شود. شاخص SPI در مقیاس زمانی سه ماهه (ارتباط داشتن با پوشش گیاهی) به عنوان معیار برگزیده شد. نتایج نشان داد که همبستگی شاخص VDI و TDI به ترتیب با شاخص SPI در دوره ۴ ساله (۲۰۰۱-۲۰۰۴) برابر ۰/۶۹ و ۰/۶۶ در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار است. با توجه به همبستگی بالای بین شاخص SPI و داده‌های ماهواره‌ای می‌توان نتیجه گرفت که تصاویر ماهواره‌ای از توانایی بالایی برای پایش و مدیریت خشکسالی برخوردارند و همبستگی بالایی بین آنها در پایه‌های زمانی متفاوت و شرایط مکانی و زمانی متفاوت می‌تواند وجود داشته باشد [۲۳، ۱۴، ۶ و ۷]. بر

ضمن آن که شاخص‌های توسعه یافته جدید نباید جایگزین شاخص‌های قبلی گردد بلکه این شاخص‌ها به عنوان یک منبع اطلاعاتی جدید در کنار منابع دیگر در نظر گرفته شود. پیشنهاد می‌شود جهت مطالعه جامع‌تر ضمن بررسی در دوره‌های زمانی بیشتر در کنار داده‌های پوشش گیاهی و دما از متغیرهای اقلیمی مهم مثل بارش در گام‌های زمانی روزانه و ساعتی که اطلاعات آن با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از قبیل TRMM در دسترس است و همچنین داده‌های رطوبت خاک حاصل از مدل‌های سطح زمین که فراسنجی تعیین‌کننده در بسیاری از فرآیندهای پیچیده زیست-محیطی به شمار می‌آید و نقش مهمی در رخداد خشکسالی دارد به صورت تلفیقی برای مطالعات آینده استفاده شود.

References

- [1]. Baaghdeh, M., Alijani, B., & Ziaian, P. (2010). Evaluation The Possibility of Using The NDVI of Using The NDVI Index to Analyze and Monitor Droughts in Esfahan Province. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 1(4). 1-16. (in Farsi).
- [2]. Balint, Z., Mutua, F.M., Muchiri, P., & Omuto, C.T. (2013). Monitoring Drought with the Combined Drought Index in Kenya. *Journal of Developments in Earth Surface Processes*, Vol. 16. pp. 341-356.
- [3]. Balint, Z., Mutua, F.M., & Muchiri, P. (2011). Drought Monitoring with the Combined Drought Index. Methodology and Software. *FAO-SWALIM Nairobi, Kenya*, PP. 1-28.
- [4]. Bhuiyan, C., Singh, R.P., & Kogan, F.N. (2006). Monitoring drought dynamics in the Aravalli Region (India) using different indices based on ground and remote sensing data. *Inter. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 8: 289-30.
- [5]. Ebrahimi Khusfi, M., Darvishzade, R., Matkan, A., & Ashourloo, D. (2010). Drought Assessment in Arid Regions Using Vegetation Indices - A Case Study of "Shirkoooh of Yazd" in Central Iran. *Journal of Environmental Sciences*, 7(4), 59-72. (in Farsi).
- [6]. Ebrahimzadeh, S., Bazrafshan, J., & Ghorbani, K.H. (2013). Comparative study of drought index based on satellite data and ground-based techniques using vector analysis (case study: Kermanshah Proninve). *journal of*

گیاهی و دمایی افزایش می‌یابد. بررسی نتایج نشان داد که شاخص‌های VDI و TDI حاصل از تصاویر ماهواره‌ای MODIS با قدرت تفکیک مکانی، زمانی و رادیومتریکی مناسب می‌توانند جایگزین مناسبی برای شاخص‌های هواشناسی برای برآورد خشکسالی باشند. با توجه به این‌که در تصاویر ماهواره‌ای، تعداد نقاط نمونه‌برداری بسیار بیشتر از تعداد ایستگاه‌های زمینی است، استفاده از دانش سنجش از دور پیشنهاد می‌شود. البته این شاخص‌ها منطقه‌ای عمل می‌کنند و در مناطق مختلف نتایج متفاوتی دارند. در پایش خشکسالی باید از اطلاعات منابع مختلف استفاده نمود و پایش جامع خشکسالی زمانی محقق می‌شود که تمامی متغیرهای مؤثر بر انواع خشکسالی‌های هواشناسی، کشاورزی و هیدرولوژیکی در شاخص‌های مورد استفاده منظور گردد.

- water and soil (Agricultural Science and Technology)*, 27: 5. 1045-1034. (in Farsi).
- [7]. Erfanian, M., Vafaei, N., & Rezaianzadeh, M. (2014). A New Method for Drought Risk Assessment by Integrating the TRMM Monthly Rainfall Data and the Terra/MODIS NDVI Data in Fars Province. Iran. *Journal of Physical Geography Research Quarterly*, 46(1). 93-108. (in Farsi).
- [8]. Guttman, N. (1998). Comparing the Palmer Drought Index and the Standardized Precipitation Index. *J. of Am Water Resources Association*, 34, PP.113-121.
- [9]. Heim, R.R. (2002). A Review of Twentieth-century Drought Indices Used in United States. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84: 1149-1165.
- [10]. Hellden, U., Christian, T. (2008). Regional Desertification: a Global Synthesis. *Global and Planetary Change*, 64: 3-4, PP. 169-176.
- [11]. Jahanbakhsh, A., Sarraf, S.S., Khorshiddoust, B., & Rostamzadeh, A.M. (2009). Assessment and analysis of vegetation change in Sarab Plain in drought and wet years. *J. Geograph*, 23: 132-117. (in Farsi).
- [12]. McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In: *Proceedings of the 8th conference on applied climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA, Am Meteor Soc, Boston, MA, 179-184.

- [13]. McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kleist, J.Y. (1995). Drought monitoring with multiple time scales. *Ninth Conference on Applied Climatology. American Meteorological Society: Dallas. TX*, PP 233–236.
- [14]. Mir-Mousavi, H., & Karimi, H. (2013). Effects of drought on vegetation cover using Landsat MODIS images. *J. Geograph. Dev*, 31: 76-57. (in Farsi.)
- [15]. Mishra, A.K., & Singh, V.P. (2010). A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391(1), 202-216.
- [16]. Morid, S., Smakhtin, V., & Moghaddasi, M. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. *International Journal of Climatology*, 26, 971–985.
- [17]. Rahimzadeh, P. (2005). The possibility of using NOAA-AVHRR images to monitor drought. M.Sc. thesis, Tehran University. Faculty of Environment. (in Farsi).
- [18]. Rezaeimoghadam, M.H., Valizadeh Kamran, K.H., Rostamzadeh, H., & Rezaee, A. (2013). Evaluating the Adequacy of MODIS in the Assessment of Drought (Case Study: Urmia Lake Basin). *Journal of Geography and Environmental Sustainability*, 2(5). 37-52. (in Farsi).
- [19]. Rhee, J. (2010). Monitoring Agricultural Drought for Arid and Humid Regions Using Multi-sensor Remote Sensing Data. *Remote Sensing of Environment*, 114, 2875–2887.
- [20]. Roswintiarti, O., Oarwati, S., & Anggraini, N. (2010). Potential drought monitoring over agriculture area in Java Island. *Indonesia, Indonesian National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN), Progress Report of SAFE Prototype Year*, Pp.121-135.
- [21]. Sergio, M., & Vicente, S. (2007). Evaluating the Impact of Drought Using Remote Sensing in a Mediterranean, Semi arid Region. *Natural Hazards*, 40: 1. 173-208.
- [22]. Shakya, N., & Yamaguchi, Y. (2010). Vegetation, water and thermal stress index for study of drought in Nepal and central Northeastern India. *International Journal of Remote Sensing*, 31, 903–912.
- [23]. Shamsipour, A.A., Alavipanah, S.K., Mohammadi, H. (2010). Efficiency of Vegetation and Thermal Indices of NOAA-AVHRR Satellite in Ecological Drought Analysis of Kashan Region. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 3(40). 445-465. (in Farsi).
- [24]. Szinell, C.S., Bussay, A., Szentimrey, T. (1998). Drought tendencies in Hungary. *Int. J. Climatol*, 18, 1479–1491.
- [25]. Thenkabail, P.S., Enclona, E.A., Ashton, M.S., Legg, C., & Jean De Dieu, M. (2004). The use of remote sensing data for drought assessment and monitoring in southwest Asia. International Water Management Institute. PO Box 2075. Colombo. Sri Lanka.
- [26]. Vyas, S.S., Bhattacharya, B.K., Nigam, R., Guhathakurta, P., Ghosh, K., Chattopadhyay, N., & Gairola, R.M. (2015). A combined deficit index for regional agricultural drought assessment over semi-arid tract of India using geostationary meteorological satellite data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 39: 28-39.
- [27]. Wilhite, D.A. (2000). Drought as a natural hazard, In: Wilhite, D. A (Editor), *Drought: A Global Assessment*, Routledge, London.
- [28]. Wu, H., Hayes, M.J., Weiss, A., & Hu, Q. (2001). An evaluation of the standardized precipitation index, the China-z index and the statistical z-score. *International Journal of Climatology*, 21, 745–758.

Assessing the Efficiency of Vegetation Drought Index (VDI) and Temperature Drought Index (TDI) based on Satellite Images in Central Iran

1- Y. Niazi, PhD of Watershed Management Sciences & Engineering, Faculty of Natural Resources, Yazd University

2-A. Talebi, Associate Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University

talebisf@yazd.ac.ir

3- M. H. Mokhtari, Assistant Professor, Faculty of Natural Resources, Yazd University

4- M. Vazifedoust, Assistant Professor, Water Engineering Department, Guilan University

Received: 08 Mar 2017

Accepted: 18 Jul 2017

Abstract

Increasing of temperature and changing in precipitation patterns, leads to extreme climate events such as drought which drastically impact on agricultural, ecological and socio-economic sectors. Knowledge about the timing, severity and extent of drought can aid planning and decision-making. Drought indices derived from in-situ meteorological data have coarse spatial and temporal resolutions. Thus, obtaining a real-time drought condition over a large area is difficult. Therefore, drought indices which is derived from remote-sensing data, has been widely used for drought monitoring. In this study, two new drought indices, Vegetation Drought Index (VDI) and Temperature Drought Index (TDI) derived from remote sensing data are evaluated based on the Standard Precipitation Index (SPI) derived from in-situ meteorological data. The data included the MODIS sensor images from Terra satellite for the 2001 -2004 and rainfalls data from 50 synoptic stations in Central Iran. Accuracy of the two drought indices based on satellite data carried out using evaluation criteria of R and RMSE in 95% confidence levels compared with drought spatial distribution map of the SPI based on rainfalls monthly data. Results indicate significant correlation between VDI (0.69) and TDI (0.66) indices with SPI index. Thus, the drought indices based on remote sensing data could well use in drought early warning systems.

Keywords: Drought Monitoring; Vegetation Drought Index (VDI); Temperature Drought Index (TDI); Remote Sensing; Central Iran.