

ارائه یک شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS-SMDI) در محدوده ایران مرکزی

یعقوب نیازی^۱

علی طالبی^۲

محمد حسین مختاری^۳

مجید وظیفه دوست^۴

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۳/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۲/۱۷

چکیده

در سال‌های اخیر مقوله خشکسالی به یک معضل جهانی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک جهان تبدیل شده است. بدون شک شناسایی و پایش خشکسالی را می‌توان گامی مهم در جهت مبارزه و کاهش خسارات ناشی از آن دانست. رطوبت خاک و تغییرات زمانی و مکانی آن یکی از مهمترین متغیرهای محیطی است که به دلیل اندازه‌گیری‌های دشوار، پرهزینه و وقت‌گیر میدانی، تاکنون به طور گسترده در شاخص‌های خشکسالی استفاده نشده است. در سال‌های اخیر با رشد فزاینده پایگاه‌های داده جهانی مبتنی بر برآوردهای ماهواره‌ای و همچنین افزایش توانایی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در مدلسازی فرایندهای پیچیده حاکم بر بیلان آب در سطح زمین، کوشش زیادی به منظور استفاده مناسب از این ابزارهای نوین جهت کاهش مشکلات موجود در این زمینه به عمل آمده است. تحقیق حاضر، یک روش جدید برای پایش سیر تکاملی و شدت خشکسالی با شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS-SMDI) ارائه می‌دهد. شاخص فوق براساس این واقعیت استوار است که رطوبت خاک، فراسنجی تعیین‌کننده در بسیاری از فرایندهای پیچیده زیست-محیطی محسوب می‌گردد که نقش مهمی در وقوع خشکسالی دارد. در این تحقیق، از خروجی رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی جهت تهیه نقشه توزیع مکانی خشکسالی در طی دوره آماری ۲۰۰۴-۲۰۰۱ در محدوده ایران مرکزی استفاده شده است. ارزیابی دقت این شاخص با استفاده از معیارهای ارزیابی R و RMSE در مقایسه با نقشه توزیع مکانی خشکسالی مبتنی بر شاخص SPI حاصل از داده‌های بارش ماهانه ۵۰ ایستگاه سینوپتیک انجام گرفته است. نتایج حاصل از بررسی معیارهای ارزیابی نشان داد که شدت خشکسالی برآورد شده به وسیله شاخص GLDAS-SMDI از همبستگی معنی‌داری با نقشه شدت خشکسالی SPI در سطح اطمینان ۹۵٪ برخوردار بوده است. از این‌رو شاخص خشکسالی GLDAS-SMDI به خوبی می‌تواند در سیستم‌های هشدار سریع خشکسالی مورد استفاده قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: پایش خشکسالی، رطوبت خاک، سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی، شاخص GLDAS-SMDI، ایران مرکزی

۱- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد (نویسنده مسئول) niaz8127@gmail.com

۲- استاد گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد talebisf@yazd.ac.ir

۳- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه یزد m_h_mokhtari@yahoo.com

۴- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان majid.vazifedoust@yahoo.com

۱- مقدمه

داشتن داده‌های موجود در دسترس، روش‌های متوسط که پارامترهای بیشتری را برای نشان دادن شدت خشکسالی در نظر می‌گیرند نیز می‌تواند مورد توجه قرار گیرد (کوثری و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۸۵۱). با توجه به تنوع مکانی و زمانی و اثرات متعدد خشکسالی، ضروری است که شاخص یکپارچه برای ارزیابی آسیب پذیری این پدیده طبیعی ایجاد شود (صفوی و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۷۱۶؛ زلیکار و همکاران، ۲۰۱۷: ۴۹۵۱). رطوبت خاک یکی از فراسنج‌های اساسی خاک است که در مطالعات آب و خاک و مدیریت منابع آب، کاربرد زیادی دارد. این متغیر زمانی و مکانی، یکی از اجزای مهم مدل‌های آب و هوایی، بوم‌شناسی و آب‌شناسی است (بایبوردی، ۱۳۷۲: ۷۰۹؛ بدایق جمالی و همکاران، ۱۳۸۱: ۳۷۶؛ ویگنرون و همکاران، ۱۹۹۸: ۲۷؛ رابینسون و همکاران، ۲۰۰۸: ۳۵۹؛ بلوم و همکاران، ۲۰۰۹: ۱۲۱۶؛ زیه و همکاران، ۲۰۱۰: ۳۵۲؛ زی و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۰۲)، که بخش قابل توجهی از مطالعات مربوط به خشکسالی را نیز به خود اختصاص داده است. این پارامتر، به شدت در زمان‌ها و مکان‌های مختلف متنوع و مقدار آن در هر منطقه نسبت به زمان و مکان تغییر می‌کند (روزنباوم و همکاران، ۲۰۱۲: ۲). بدین جهت، پایش مستقیم رطوبت خاک و استخراج داده‌های رطوبت به صورت نقطه‌ای نه تنها پرهزینه و وقت‌گیر است، بلکه در سطوح وسیع، غیر عملی است. این در حالی است که خشکسالی پدیده‌ای منطقه‌ای بوده و برای پایش آن به داده‌های وسیع و منطقه‌ای نیاز است. از اینرو، به ابزاری برای پایش رطوبت در مقیاس زمانی و مکانی نیاز است تا علاوه بر دقت مناسب، امکان کاربرد عملیاتی آن در مناطق مختلف وجود داشته باشد. در سال‌های اخیر با رشد فزاینده پایگاه‌های داده جهانی مبتنی بر برآوردهای ماهواره‌ای و همچنین افزایش توانایی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری در مدلسازی فرایندهای پیچیده حاکم بر بیلان آب در سطح زمین، کوشش‌های زیادی به منظور استفاده مناسب از این ابزارهای نوین در مقایسه با اندازه‌گیری‌های نقطه‌ای به دلیل دقت مکانی و زمانی و استفاده عملیاتی آسان با هدف کاهش مشکلات موجود در این زمینه به عمل

خشکسالی یک فاجعه زیست محیطی شایع است که امروزه توجه بیشتر دانشمندان علوم مختلف از جمله کشاورزی، اکولوژی، محیط زیست، هواشناسی، هیدرولوژی و همچنین زمین‌شناسی را به دلیل اثرات بسیار زیاد آن به خود جلب کرده است. خشکسالی به عنوان کمبود آب موجود تعریف می‌شود که به شدت بر تولید بالقوه محصولات کشاورزی اثر گذاشته و موجب کمبود آب مصرفی انسان و دام شده که بر منابع اقتصاد تجدید شونده تأثیرگذار است (سورندرن و همکاران، ۲۰۱۷: ۳۵۹۴). خشکسالی، پدیده‌ای طبیعی و نامحسوس است که در پی کاهش بارندگی در طی یک دوره ممتد کوتاه یا طولانی روی می‌دهد (هاردی، ۲۰۰۳: ۳۹). این پدیده به عنوان یکی از محدودیت‌های خاص طبیعت برای هر اقلیمی تکرارپذیر و پیش‌آمدنی است، که تقوی و محمدی (۱۳۸۶: ۱۸) از آن به عنوان ناهنجاری اقلیمی یاد کرده‌اند. کردوانی (۱۳۸۰: ۳۰) نمونه‌های زیادی از خشکسالی را در ایران و جهان و اثرهای آن در کشورهایی که از لحاظ اقلیمی شرایط بهتر از کشور ما دارند، ذکر کرده است. اظهار نظر کارشناسان گویای آن است که ایران در ۲۲ سال گذشته ۱۳ خشکسالی را پشت سر گذاشته است (تقوی و محمدی، ۱۳۸۶: ۱۵). شاخص‌های خشکسالی از عناصر مهم پایش و ارزیابی خشکسالی هستند، زیرا ساده‌سازی روابط پیچیده بین بسیاری از پارامترهای مرتبط با آب و هوا و شرایط آب و هوایی را موجب می‌شوند (تساکیریس و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۲۲). توجه به شاخص‌های مختلف به طور کامل به شرایط بستگی دارد. به عبارت دیگر، اطلاعات موجود در زمینه کیفیت، کمیت و تنوع، دانش کارشناسان، محققان و متخصصان، اهمیت موضوع و دسترسی به سخت‌افزار و نرم‌افزار کافی، مهمترین عوامل تعیین کننده گزینه مطلوب است. همچنین لازم به ذکر است که هر روش دارای مزایا و معایب است. گاهی اوقات یک روش ساده می‌تواند مؤثر باشد، زیرا محدودیت دسترسی کافی به داده‌های مورد نیاز در روش‌های پیچیده را ندارد. شکی نیست که در شرایط

رواناب استفاده و با توجه به رابطه رطوبت خاک با سایر متغیرهای هیدرولوژیکی، وضعیت خشکسالی در قاره آفریقا طی دوره ۱۹۵۰ تا ۲۰۰۰ بررسی شد.

بکارگیری داده‌های ماهواره GRACE^۷ و مدل Noah (GLDAS) به منظور بررسی موجودی آب زمین (TWS)^۸ در یکی از زیرحوضه‌های رودخانه زرد، موضوع تحقیق هایللی (۲۰۱۱) بود. نتایج کار وی نشان داد که مقدار TWSC بدست آمده از GRACE نتوانسته سیکل فصلی تغییرات هیدرولوژیکی را در حوضه مورد مطالعه به خوبی نشان دهد. وی این امر را به کم بودن تغییرات هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی مرتبط دانست. در سمت دیگر داده‌های GLDAS نمایش بهتری را از تغییرات فصلی TWS در منطقه مورد مطالعه ارائه نمود. همچنین در بخش دیگری از آن، داده‌های بارش و دمای به کار گرفته شده در مدل GLDAS با داده‌های زمینی مورد مقایسه قرار گرفت که نشان دهنده دقت مناسب داده‌های به کار رفته در شبیه‌سازی‌های GLDAS بود.

فرخ‌نیا و همکاران (۱۳۹۳: ۵۱) نیز به منظور ارزیابی قابلیت‌های مدل‌های سطح زمین در برآورد بیلان آب در حوضه دریاچه ارومیه، با استفاده از مشاهدات تغییرات حجم آب دریاچه ارومیه و اطلاعات GRACE و GLDAS تغییرات سالانه آب زیرزمینی را برآورد نمودند. همچنین این اطلاعات را ابزاری مناسب برای انجام برآوردهای اولیه، سریع و کم‌هزینه در خصوص بیلان آب ذکر کردند. علاوه بر روش‌هایی که در تحقیقات فوق برای ارزیابی داده‌های مدل‌های سطح زمین ذکر گردید، چن و یپینگ (۲۰۰۸: ۳۱۹) مدل شبیه‌ساز بارش-رواناب SWAT^۹ را به منظور ارزیابی مؤلفه‌های بیلان آب مدل VIC شامل بارش، رواناب و تبخیر و تعرق و رطوبت بکار گرفت و نشان داد که هر دو مدل مؤلفه‌های بیلان آب را بخوبی شبیه‌سازی نموده‌اند.

محاسبات مربوط به تعیین خشکسالی نیازمند

7- Gravity Recovery and Climate Experiment

8- Terrestrial Water Storage

9- Soil and Water Assessment Tool

آمده است (واکر و هاوسر، ۲۰۰۴: ۷۸۵). سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS)^۱ نمونه‌ای از پروژه‌های شاخصی است که مطالعه در خصوص امکان استفاده از نتایج آنها جهت برآورد مؤلفه‌های بیلان آب به ویژه رطوبت خاک در مناطق مختلف کره زمین طی چند سال گذشته مورد توجه قرار داشته است.

زیتچک و همکاران (۲۰۱۰: ۴۶) مؤلفه‌های بیلان آب خروجی را برای رودخانه‌های بزرگ جهان با استفاده از سیستم GLDAS شامل تبخیر و تعرق کل، رطوبت خاک، رواناب سطحی و زیرسطحی و ... را برآورد نمودند. در این تحقیق نتایج هر چهار مدل سطح زمین^۲ CLM^۳، Mosaic، Noah^۴ و VIC^۵ با تعدادی از ایستگاه‌های آب‌سنجی مقایسه و مورد ارزیابی قرار گرفت. برای روندیابی اطلاعات رواناب سطحی در پیکسل‌ها از الگوریتم روندیابی منبع-خروجی (STS)^۶ استفاده شد. با وجود نتایج رضایت‌بخش همه مدل‌ها، شبیه‌سازی رواناب مدل Mosaic و VIC دارای مقادیر کمتری نسبت به منطقه بودند. همچنین ملاحظه شد که شبیه‌سازی صورت گرفته از میانگین رواناب سالانه در مدل CLM تطابق بیشتری با واقعیت داشته است. اما در مقابل مدل Noah و VIC بهترین عملکرد را در شبیه‌سازی جریان ماهانه و فصلی داشته‌اند.

آنها نهایتاً به این نکته اشاره می‌کنند که الگوریتم‌های STS قادر نیست تا به طور کامل مدل‌های سطح زمین را ارزیابی نماید. شفیلد و همکاران (۲۰۱۰: ۱۱۸۹) نیز مشکل کمبود داده‌های هیدرولوژیکی را برای پایش و پیش‌بینی و خشکسالی در آفریقا با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و مدل‌های سطح زمین VIC مرتفع کردند. در تحقیق حاضر از این مدل برای استخراج داده‌های بارش، تبخیر و تعرق، رطوبت خاک و

1- Global Land Data Assimilation System

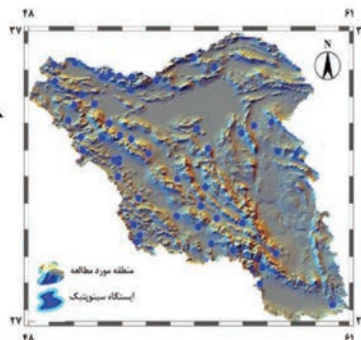
2 - Land Surface Models

3- Community Land Model

4- Noah: N: National Centers for Environmental Prediction (NCEP), O: Oregon State University, A: Air Force (both AFWA and AFRL - formerly AFGL, PL), H: Hydrologic Research Lab.

5- Variable Infiltration Capacity

6- Source-to-Sink (STS) routing algorithm



نگاره ۱: موقعیت
 جغرافیایی منطقه مورد
 مطالعه و پراکنش
 ایستگاه‌های سینوپتیک
 انتخابی

زمستانی سرد با درجه حرارتی تا ۱۵ درجه سانتیگراد زیر صفر می‌باشند. تابستان این دشت‌ها گرم و سوزان است و درجه حرارت تا ۵۰ درجه سانتیگراد بالای صفر می‌رسد. رطوبت نسبی این دشت‌ها پایین بوده و به طور متوسط ۳۰ تا ۴۰ درصد است، اما در دوره‌های گرم سال تا ۱۵ درصد و در موارد استثنایی می‌تواند تا ۱۰ درصد و کمتر برسد. نزولات جوی این محدوده اندک بوده و متوسط سالانه آن کمتر از ۱۰۰ میلی‌متر اغلب ۵۰ میلی‌متر و در مواردی حتی به ۲۵ میلی‌متر در سال می‌رسد. بالعکس تبخیر سالانه در این محدوده بالا بوده و در موارد زیادی به بیش از ۴۰۰۰ میلی‌متر در سال هم می‌رسد. این محدوده با مساحت ۸۳۷,۱۸۴ کیلومترمربع، ۵۰/۸ درصد از مساحت کل کشور را به خود اختصاص داده است. در این تحقیق، به منظور ارزیابی و مقایسه نقشه توزیع مکانی خشکسالی مبتنی بر داده‌های رطوبت خاک با داده‌های زمینی در مقیاس ماهانه، محدوده ایران مرکزی شامل ۵۰ ایستگاه سینوپتیک مجهز به بارانسنج انتخاب شده است. داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های بارندگی ماهانه ۵۰ ایستگاه سینوپتیک و داده‌های سری رطوبت خاک GLDAS با دوره آماری ۴ ساله از ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ می‌باشند. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و پراکنش مکانی ایستگاه‌های انتخابی در نگاره ۱ و مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در جدول ۱ ارائه شده است.

اندازه‌گیری متغیرهایی است که مهمترین آنها رطوبت خاک می‌باشد. این درحالی است که برآورد رطوبت خاک در مقیاس‌های مکانی بزرگ به دلیل عدم در اختیار بودن داده‌های مناسب، همواره با مشکلات فراوانی روبرو بوده است. این موضوع در محدوده ایران مرکزی که با کمبود جدی آمار و اطلاعات مشاهداتی روبرو هستیم از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. در این راستا، از گزینه‌های ممکن، استفاده از اطلاعات و شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در قالب سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی تحت عنوان GLDAS است. در این تحقیق یک شاخص خشکسالی جدید مبتنی بر رطوبت خاک بدست آمده از مدل‌های سطح زمین سیستم جهانی تلفیق اطلاعات برای محدوده ایران مرکزی ارائه شده و دقت داده‌های آن با استفاده از نقشه شدت خشکسالی حاصل از شاخص SPI مبتنی بر بارش ایستگاه‌های زمینی مورد ارزیابی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه و داده‌ها

محدوده ایران مرکزی محدوده اقلیمی مربوط به دشت‌های خشک تا بیابانی فلات مرکزی ایران را شامل می‌شود، که مهمترین آنها به خصوص دشت‌های پهناور کویری چون دشت لوت و دشت کویر می‌باشد، این دشت‌ها دارای

فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (مهر)
 ارائه یک شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک ... / ۱۸۳

جدول شماره ۱

کاشان	۵۱/۴۶	۳۳/۹۹	۹۸۲/۳۰
فردوس	۵۸/۱۸	۳۴/۰۲	۱۲۹۳
اراک	۴۹/۷۸	۳۴/۱۰	۱۷۰۸
تفرش	۵۰/۰۳	۳۴/۶۹	۱۹۷۸/۷۰
قم	۵۰/۸۶	۳۴/۷۰	۸۸۷/۴۰
ساوه	۵۰/۳۴	۳۵/۰۵	۱۱۰۸
قمصر	۵۲/۳۶	۳۵/۲۴	۸۹۹/۹۰
آوج	۴۹/۲۳	۳۵/۵۷	۲۰۳۴/۹۰
سمنان	۵۳/۴۳	۳۵/۵۹	۱۱۲۷
فیروزکوه	۵۲/۴۱	۳۵/۷۲	۲۹۸۵/۷۰
چیتگر	۵۱/۱۸	۳۵/۷۴	۱۳۰۵/۲۰
آبعلی	۵۱/۸۹	۳۵/۷۵	۲۴۶۵/۲۰
شمال تهران	۵۱/۴۹	۳۵/۸۰	۱۵۴۹/۱۰
بیارجمند	۵۵/۸۱	۳۶/۰۹	۱۰۹۹/۳۰
خرم دره	۴۹/۱۹	۳۶/۱۹	۱۵۷۵
قزوین	۵۰/۰۶	۳۶/۲۶	۱۲۷۹/۲۰
شاهرود	۵۴/۹۶	۳۶/۴۲	۱۳۴۹/۱۰

جدول ۱: ویژگی‌های جغرافیایی ایستگاه‌های انتخابی در

محدوده ایران مرکزی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا (متر)
کهنوج	۵۷/۷۲	۲۷/۹۷	۴۶۹/۷۰
میان ده جیرفت	۵۷/۸۲	۲۸/۵۹	۶۰۱
بم	۵۸/۳۷	۲۹/۱۱	۱۰۶۶/۹۰
بافت	۵۶/۵۹	۲۹/۲۴	۲۲۸۰
سیرجان	۵۵/۶۹	۲۹/۴۷	۱۷۳۹/۴۰
شیراز	۵۲/۶۱	۲۹/۵۴	۱۴۸۴
زرقان	۵۲/۷۳	۲۹/۷۹	۱۵۹۶
شهر بابک	۵۵/۱۴	۳۰/۱۰	۱۸۳۴/۱۰
سد درودزن	۵۲/۴۶	۳۰/۱۹	۱۶۵۲
کرمان	۵۶/۹۸	۳۰/۲۵	۱۷۵۳/۸۰
رفسنجان	۵۵/۹۱	۳۰/۴۲	۱۵۸۰/۹۰
مروست	۵۴/۲۶	۳۰/۵۰	۱۵۴۶/۶۰
انار	۵۵/۲۶	۳۰/۸۹	۱۴۰۸/۸۰
آباده	۵۲/۶۸	۳۱/۱۹	۲۰۳۰
بافق	۵۵/۴۴	۳۱/۶۰	۹۹۱/۴۰
یزد	۵۴/۲۹	۳۱/۹۰	۱۲۳۷/۲۰
شهرضا	۵۱/۸۴	۳۱/۹۹	۱۸۴۵/۲۰
کبوترآباد	۵۱/۸۶	۳۲/۵۲	۱۵۴۵
اصفهان	۵۱/۶۸	۳۲/۶۲	۱۵۵۰/۴۰
شرق اصفهان	۵۱/۸۸	۳۲/۶۷	۱۵۴۳
نائین	۵۳/۰۹	۳۲/۸۵	۱۵۴۹
بیرجند	۵۹/۲۱	۳۲/۸۷	۱۴۹۱
خور بیرجند	۵۸/۴۴	۳۲/۹۴	۱۱۱۷/۴۰
داران	۵۰/۳۸	۳۲/۹۷	۲۲۹۰
رباط پشت	۵۵/۵۶	۳۳/۰۴	۱۱۸۸
اردستان	۵۲/۳۹	۳۳/۳۹	۱۲۵۲/۴۰
میامه	۵۱/۱۸	۳۳/۴۴	۱۹۸۰
گلپایگان	۵۰/۲۹	۳۳/۴۷	۱۸۷۰
نطنز	۵۱/۹۱	۳۳/۵۴	۱۶۸۴/۹۰
طس	۵۶/۹۳	۳۳/۶۰	۷۱۱
خور بیابانک	۵۵/۰۹	۳۳/۷۹	۸۴۵
بشرویه	۵۷/۴۶	۳۳/۹۰	۸۸۵

۲-۲- مدل جهانی تلفیق اطلاعات زمینی

مدل جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS)، به طور مشترک توسط دانشمندان سازمان ملی هوانوردی و فضا (NASA)، مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)، سازمان ملی اقیانوسی و جوی (NOAA) و مراکز ملی پیش‌بینی محیط زیست (NCEP) در برخی زمین‌ها توسعه داده شده است (ردل و همکاران، ۲۰۰۴). مدل جهانی سطح زمین محدوده عرض جغرافیایی ۶۰- درجه تا ۹۰ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۱۸۰- درجه الی ۱۸۰ درجه شرقی را پوشش می‌دهد.

این سیستم با بکارگیری اطلاعات ماهواره‌ای و داده‌های زمینی از مدل‌های سطح زمین VIC و CLM، Mosaic، Noah و مؤلفه‌های بیلان آب را تعیین می‌نماید. این محصولات به دو دسته وضعیت سطح زمین (به عنوان مثال رطوبت خاک و دمای سطح) و شار سطح زمین (به عنوان مثال تبخیر-تعرق و شار گرمای محسوس) تقسیم می‌شوند. منابع داده‌های

جدول ۲: درجه‌بندی مقادیر شاخص GLDAS-SMDI

شدت خشکسالی	مقدار شاخص GLDAS-SMDI
بدون خشکسالی	>۱
خشکسالی ملایم	۱-۰/۸
خشکسالی متوسط	۰/۸-۰/۶
خشکسالی شدید	۰/۶-۰/۴
خشکسالی خیلی شدید	<۰/۴

۲-۴- محاسبه شاخص خشکسالی بارش استاندارد شده (SPI)

شاخص SPI، نمایه‌ای است که بستگی به احتمال بارش برای هر زمان و قیاس دارد و برای مقیاس‌های زمانی مختلف قابل محاسبه است. این روش به وسیله مک‌کی، دوسکن، جان کلوست، اعضای مرکز اقلیمی کلرادو در سال ۱۹۹۳، با توجه به بررسی تأثیرات متفاوت کمبود بارش بر روی آب‌های زیرزمینی، ذخائر و منابع آب سطحی، رطوبت خاک و جریان آبراهه ارائه شده است. شاخص SPI حاصل برازش توزیع آماری گاما بر سری بارندگی و محاسبات احتمالات توزیع تجمعی گاما است. تابع توزیع گاما به صورت تابع چگالی احتمال یا فراوانی از معادله زیر به دست می‌آید (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۳: ۱۷۹):

$$g(x) = \frac{1}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-x/\beta} \quad (2)$$

در این رابطه x ، α و β به ترتیب ضریب بارش، شکل و مقیاس است. هر سه پارامتر همواره بزرگتر از صفر هستند. تابع $\Gamma(\alpha)$ نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^\infty y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad (3)$$

برای برازش داده‌ها به تابع توزیع یاد شده، نیاز به محاسبه ضرایب α و β است که از روابط زیر قابل محاسبه است:

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

$$\beta = \frac{\bar{x}}{\alpha} \quad (5)$$

فعلی شامل مجموعه‌ای از داده‌ها با وضوح ۱ درجه که از چهار مدل تشکیل شده است و از سال ۱۹۷۹ تا حال حاضر را پوشش می‌دهد و یک داده با وضوح ۰/۲۵ درجه که از مدل NOAA تولید شده است و از سال ۲۰۰۰ تا حال حاضر را پوشش می‌دهد. قدرت تفکیک زمانی برای محصولات GLDAS، ۳ ساعت است. فرآورده‌های ماهیانه از طریق میانگین‌گیری زمانی از محصولات ۳ ساعته تولید می‌شوند، این محصولات در فرمت شبکه دودویی (GRIB) می‌باشد که از طریق تعدادی از رابطه‌ها قابل دسترسی است (فنگ و همکاران، ۲۰۰۹).

۲-۳- محاسبه شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی (GLDAS-SMDI)

شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی در این مطالعه بر اساس رابطه زیر محاسبه شده است (بالینت و همکاران، ۲۰۱۱):

$$GLDAS - SMDI_{i,m} = \frac{\frac{1}{IP} \sum_{j=0}^{IP-1} SM_{i,(m-j)}^*}{\frac{1}{(n * IP)} \sum_{k=1}^n \left[\sum_{j=0}^{IP-1} SM_{(m-j),k}^* \right]} * \sqrt{\frac{RL_{m,i}(SM^*)}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n RL_{m,k}(SM^*)}}$$

که در آن SM^* مقدار رطوبت خاک اصلاح شده ماهانه است که از رابطه $SM + 1$ به دست می‌آید، IP دوره انتخابی مورد نظر، $RL(SM)$ طول دوره اجرا که برابر با حداکثر تعداد ماه‌های زیر متوسط رطوبت خاک طولانی مدت در دوره انتخابی است، n تعداد سال‌ها با داده‌های مرتبط است، j مجموع پارامترهای اجرایی پوشش دهنده P و k مجموع پارامتر پوشش دهنده سال‌هایی است که داده‌های مرتبط با آنها در دسترس است. طبقه‌بندی شدت خشکسالی مبتنی بر مقادیر شاخص GLDAS-SMDI به صورت جدول شماره ۲ است:

مقادیر ثابت در روابط فوق به شرح زیر هستند:

$$C_0 = 2.515517, C_1 = 0.802853, C_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432888, C_2 = 0.189269, d_3 = 0.001308$$

بدین ترتیب، مقادیر شاخص SPI در هر نقطه بر اساس آمار بارندگی موجود قابل تعیین است. مقادیر مثبت بیشتر از میانگین بارش و مقادیر منفی کمتر از میانگین بارش هستند. برای دسته‌بندی خشکسالی و ترسالی بر اساس این شاخص، از معیارهایی تعریف شده در جدول (۳) استفاده می‌شود. مطابق این جدول، هرگاه مقادیر SPI منفی باشد و مقدار آن به -۱ یا کمتر برسد معرف وقوع خشکسالی است. همچنین، مقادیر مثبت آن نشان‌دهنده خاتمه دوره خشکسالی است (مک‌کی و همکاران، ۱۹۹۵: ۲۳۳):

جدول ۳: طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس مقادیر شاخص SPI

شدت خشکسالی	مقدار شاخص SPI
کاملاً مرطوب	SPI > 2
خیلی مرطوب	1/5 < SPI < 1/99
نسبتاً مرطوب	1 < SPI < 1/49
مرطوب ملایم	0 < SPI < 0/99
خشکسالی ملایم	-0/99 < SPI < 0
خشکسالی متوسط	-1/49 < SPI < -1
خشکسالی شدید	-1/99 < SPI < -1/5
خشکسالی خیلی شدید	SPI < -2

۲-۵-۵- ارزیابی شاخص خشکسالی GLDAS-SMDI

به منظور ارزیابی دقت مقادیر برآورده شده شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی، یک مقایسه تطبیقی با نقشه توزیع مکانی خشکسالی SPI مبتنی بر داده‌های اندازه‌گیری شده ایستگاه‌های زمینی با استفاده از معیارهای آماری خطا انجام شد که در ادامه شرح داده می‌شود.

۲-۵-۱- ضریب همبستگی پیرسون (R)

ضریب همبستگی پارامتری پیرسون، یکی از رایج‌ترین

$$A = \ln(\bar{x}) - \frac{\sum \ln(x)}{n} \quad (6)$$

در این روابط n تعداد مشاهدات بارندگی و \bar{x} میانگین بارش در بازه زمانی مورد نظر است. اکنون، با توجه به روابط فوق، داریم:

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

و با فرض $t = x/\beta$ رابطه (۷) به صورت زیر بازنویسی می‌شود:

$$G(x) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)} \int_0^x t^{\alpha-1} e^{-t} dt \quad (8)$$

با توجه به اینکه تابع گاما برای $x=0$ تعریف نشده است و داده‌های بارش همواره دربرگیرنده مقادیر صفر نیز هستند، احتمال تجمعی بارش از رابطه (۹) به دست می‌آید:

$$H(x) = q + (1-q)G(x)$$

در رابطه فوق، q احتمال مقادیر بارندگی صفر است؛ و در نهایت، $H(x)$ به توزیع نرمال استاندارد با میانگین صفر و انحراف معیار یک انتقال داده می‌شود که نتیجه آن به دست آمدن شاخص SPI با توزیع گاما است:

$$z = SPI = -\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right) \quad (10)$$

$$0 < H(x) < 0.5$$

(۱۱)

$$z = SPI = +\left(t - \frac{c_0 + c_1 t + c_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}\right)$$

$$0.5 < H(x) < 1$$

مؤلفه t از روابط زیر به دست می‌آید:

$$0 < H(x) < 0.5 t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(H(x))^2}\right)} \quad (12)$$

$$0.5 < H(x) < 1 t = \sqrt{\ln\left(\frac{1}{(1.0 - H(x))^2}\right)} \quad (13)$$

و مفیدترین روش‌های آماری می‌باشد که درجه همبستگی بین دو متغیر را نشان می‌دهد. مقدار این ضریب بین -۱ و +۱ است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

(۱۵)

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})(P_i - \bar{P})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}} \quad (14)$$

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI

نگاره ۲ نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی در مقیاس زمانی سه ماهه طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۰۱ را با استفاده از روش درونابی کریجینگ معمولی برای محدوده ایران مرکزی نشان می‌دهد. کمترین و بیشترین مقدار شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI مربوط به سال ۲۰۰۱ و به ترتیب برابر با ۰/۲۹۷ و ۱/۹۴۱ بوده است.

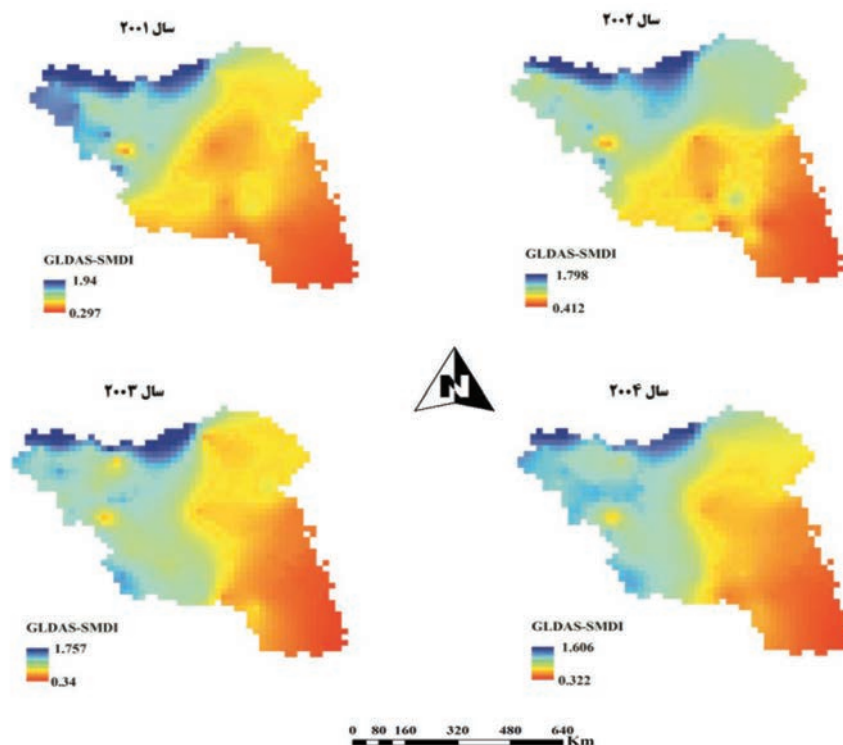
که در آن O_i مقدار شاخص خشکسالی مبتنی بر ایستگاه‌های سینوپتیک، P_i مقدار شاخص خشکسالی مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای، \bar{O} و \bar{P} به ترتیب متوسط مقدار شاخص خشکسالی حاصل از ایستگاه‌های زمینی و ماهواره‌ای و n تعداد کل داده‌ها هستند.

۲-۵-۲- 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. رابطه محاسبه این معیار آماری به صورت

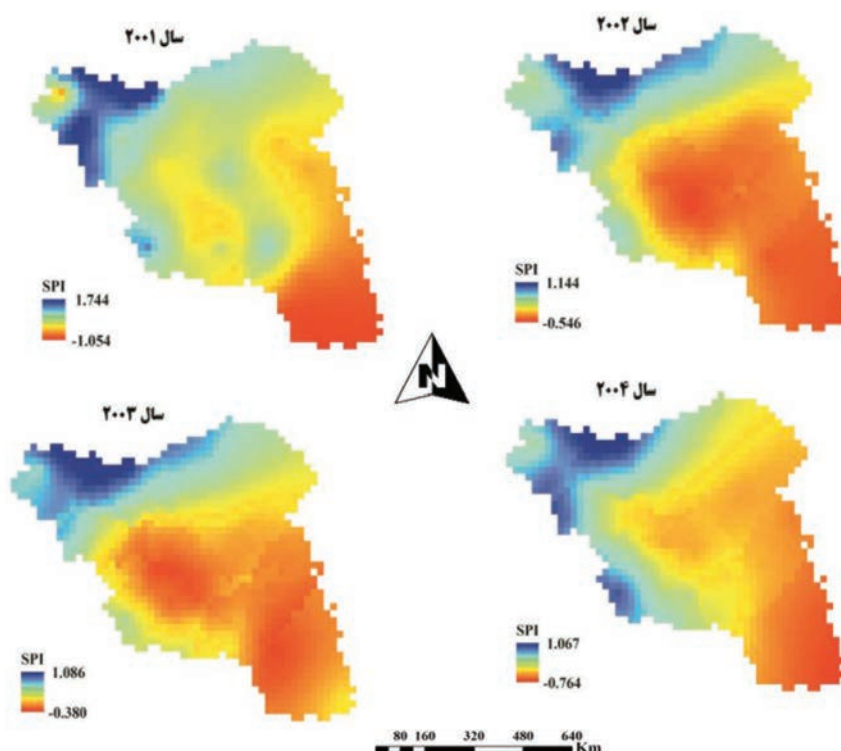
۳-۲- نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI

نگاره ۳ نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI مبتنی بر داده‌های زمینی ۵۰ ایستگاه سینوپتیک در



نگاره ۲: نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای GLDAS-SMDI

نگاره ۳: نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI مبتنی بر داده‌های زمینی



ماهواره‌ای با پیکسل‌های متناظر نقشه توزیع مکانی خشکسالی SPI مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک، در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج نشان دهنده وجود همبستگی معنی‌دار میان شاخص GLDAS-SMDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای با پیکسل‌های متناظر نقشه توزیع مکانی خشکسالی SPI مبتنی بر داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک در سطح اطمینان ۹۵٪ است. بیشترین ضریب همبستگی (۰/۷۴) مربوط به سال ۲۰۰۴ و کمترین (۰/۴۵) مربوط به سال ۲۰۰۳ است. کمترین و بیشترین مقدار میانگین خطا به مقدار ۰/۱۹ و ۰/۲۶ به ترتیب مربوط به سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۱ بوده است. مقدار میانگین خطا هر چه به عدد صفر نزدیکتر باشد، بیانگر مشابهت بیشتر مقادیر برآوردی و مشاهده‌ای است. نتایج معیارهای آماری ارزیابی و خطای محاسبه شده نشان می‌دهد که نقشه شدت خشکسالی GLDAS-SMDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای، از دقت بالا و انطباق قابل قبولی با داده‌های زمینی برخوردار بوده است.

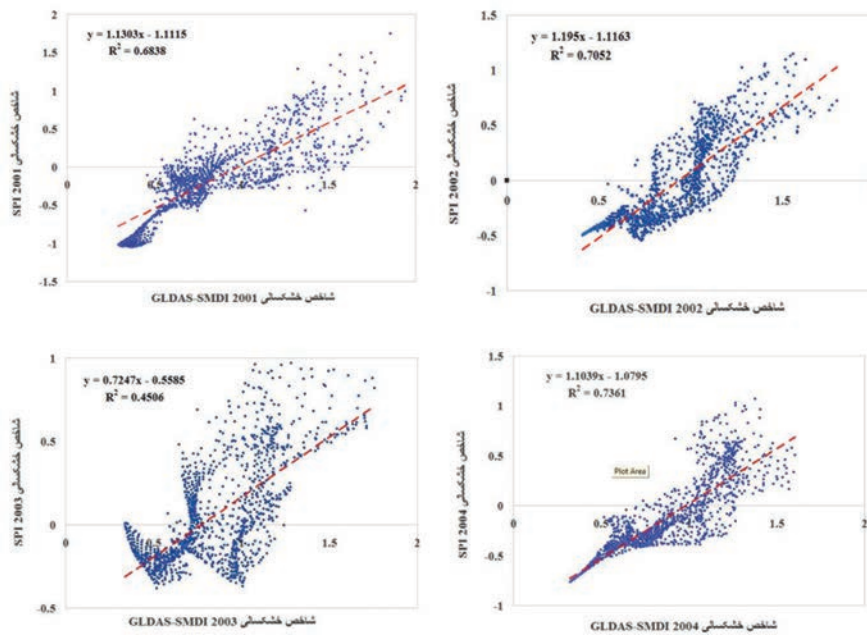
مقیاس زمانی سه ماهه طی دوره ۲۰۰۱-۲۰۰۴ را با استفاده از روش درونیابی کریجینگ معمولی برای محدوده ایران مرکزی نشان می‌دهد.

کمترین و بیشترین مقدار شدت خشکسالی بر اساس شاخص SPI مربوط به سال ۲۰۰۱ و به ترتیب برابر با ۱/۷۴۴ و -۱/۰۵۴ بوده است.

۳-۳- ارزیابی نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI

نمودار پراکنش، رابطه رگرسیون خطی و ضریب همبستگی بین نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک حاصل از سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی با نقشه‌های شدت خشکسالی بر اساس شاخص خشکسالی SPI مبتنی بر داده‌های زمینی طی دوره ۴ ساله ۲۰۰۱-۲۰۰۴ در نگاره ۴ نشان داده است.

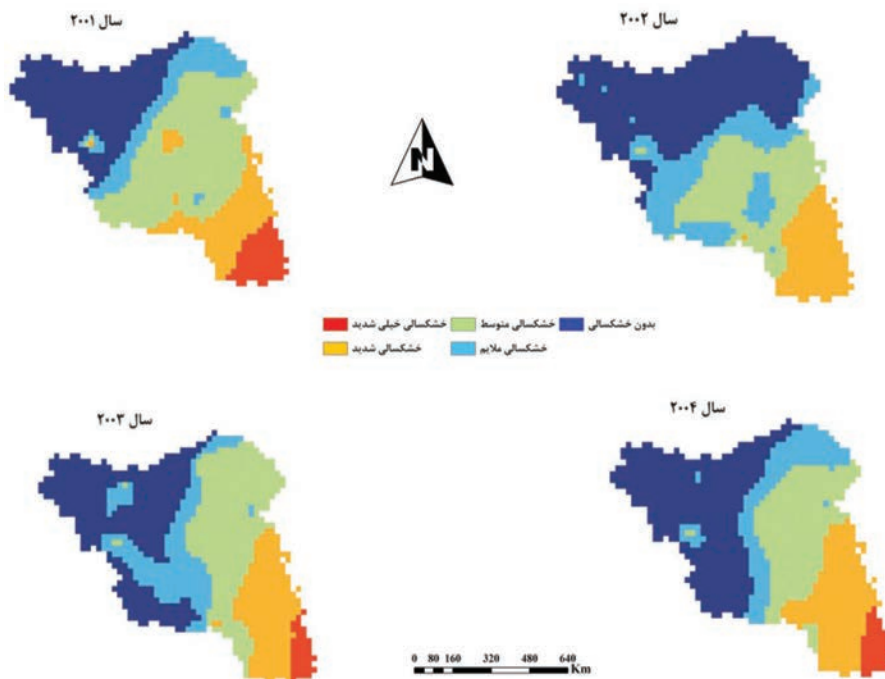
نتایج معیارهای آماری ارزیابی حاصل از انطباق نقشه توزیع مکانی خشکسالی GLDAS-SMDI مبتنی بر داده‌های



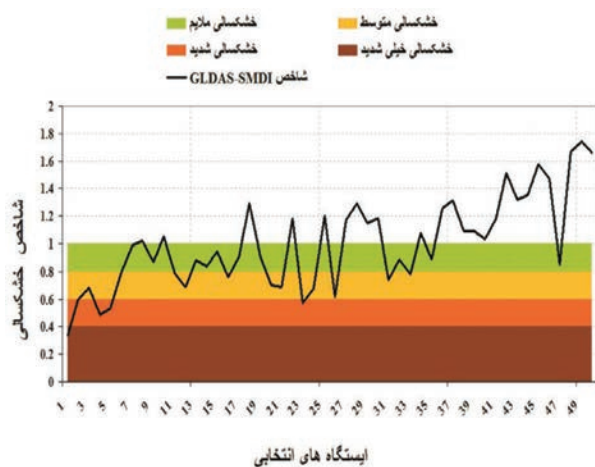
نگاره ۴: مقایسه بین مقادیر شاخص خشکسالی SPI و GLDAS-SMDI طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۴

جدول ۴: مقایسه خصوصیات آماری نقشه‌های شاخص خشکسالی GLDAS-SMDI مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای

سال	R	معنی دار در سطح ۹۵٪	RMSE	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار
۲۰۰۱	۰/۶۸	+	۰/۲۶	۰/۲۹۷	۱/۹۴۱	۰/۸۵۴	۰/۳۴۴
۲۰۰۲	۰/۷۱	+	۰/۲۱	۰/۴۱۳	۱/۷۹۹	۰/۹۱۴	۰/۲۷۰
۲۰۰۳	۰/۴۵	+	۰/۲۳	۰/۳۴۰	۱/۷۵۷	۰/۸۵۶	۰/۲۸۷
۲۰۰۴	۰/۷۴	+	۰/۱۹	۰/۳۲۳	۱/۶۰۷	۰/۸۶۶	۰/۲۹۶



نگاره ۵: نقشه طبقه‌بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI



نگاره ۷: میانگین شاخص های خشکسالی GLDAS-SMDI در ۵۰ ایستگاه انتخابی

۴- نتیجه گیری

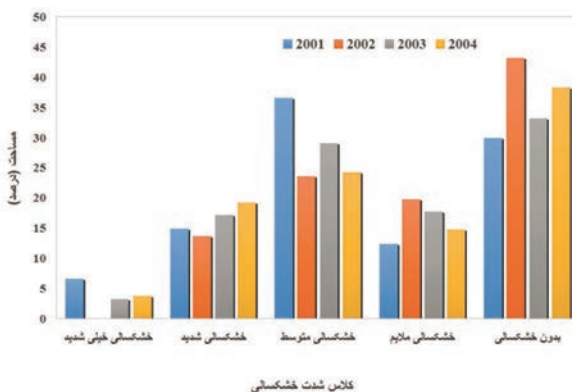
اندازه گیری های میدانی برای تولید شاخص های خشکسالی از دقت بالایی برخوردار است، اما تهیه این شاخص ها در پهنه های وسیع به دلیل تراکم ناکافی ایستگاه های اندازه گیری زمینی، هزینه بر بودن احداث و نگهداری این ایستگاه ها و کیفیت نامطلوب داده های شبکه های اندازه گیری زمینی باعث کاهش توانایی بالقوه در نشان دادن الگوی مکانی و دقیق این شاخص ها می شود. از این رو لازم است منابع داده ای، که بتوانند این نقیصه ها را مرتفع سازند، شناسایی نموده و پس از ارزیابی، مورد استفاده قرار گیرند. مشاهدات فضایی با قابلیت دریافت اطلاعات با قدرت تفکیک مکانی و زمانی در سطح وسیعی از زمین، امکان پایش خشکسالی ها را با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور فراهم می نماید. بر همین اساس در این پژوهش از خروجی رطوبت خاک مدل های سطح زمین سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی نقشه های شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI برای محدوده ایران مرکزی طی دوره ۴ ساله، از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴، تهیه و سپس با استفاده از نقشه شدت خشکسالی حاصل از شاخص SPI مبتنی بر داده های ایستگاه های سینوپتیک ارزیابی شد.

۳-۴- طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص

GLDAS-SMDI

نقشه های طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI در پنج کلاس بدون خشکسالی، خشکسالی ملایم، خشکسالی متوسط، خشکسالی شدید و خشکسالی خیلی شدید حاصل از داده های ماهواره ای طی سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ در محدوده ایران مرکزی در نگاره ۵ نشان داده شده است.

نگاره ۶، درصد سهم هر یک از این طبقات شدت خشکسالی در کل محدوده مورد بررسی را برای نقشه های حاصل از شاخص خشکسالی GLDAS-SMDI در سال های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ نشان می دهد.



نگاره ۶: مقایسه درصد مساحت نقشه های طبقه بندی شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI

بر اساس این دو نگاره، بیشترین و کمترین سطح مناطق دارای خشکسالی شدید تا ملایم به ترتیب مربوط به سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۲ به میزان ۷۰/۱۸ و ۵۶/۸۸ درصد بوده است در حالی که بیشترین و کمترین سطح مناطق فاقد خشکسالی به ترتیب مربوط به سال های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۱ به میزان ۴۳/۱۲ و ۲۹/۸۲ درصد می باشد. متوسط مقدار شاخص GLDAS-SMDI در ۵۰ ایستگاه سینوپتیک انتخابی طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۰۴ در محدوده ایران مرکزی در نگاره ۷ نشان داده شده است.

حوضه آبریز دریاچه ارومیه)، تحقیقات منابع آب ایران، دوره ۱۰، ش ۱: ۶۲-۵۱.

۵- کردوانی، پرویز؛ ۱۳۸۰، خشکسالی و راه‌های مقابله با آن در ایران موسسه انتشارات دانشگاه تهران، ۳۳-۲۸.

6- Balint, Z., Mutua, F.M. & Muchiri, P. (2011). "Drought Monitoring with the Combined Drought Index". Journal of Methodology and Software. FAO-SWALIM Nairobi, Kenya:1-28.

7- Blume, T., Zehe, E. & Bronstert, A. (2009). Use of soil moisture dynamics and patterns at different spatio-temporal scales for investigation of subsurface flow processes, Hydro. Earth Syst. Sci., 13: 1215-1234.

8- Chen, J. & Yiping, W. (2008). Exploring hydrological process features of the East River (Dongjiang) basin in South China using VIC and SWAT. Hydrological Sciences for Managing Water Resources in the Asian Developing World, IAHS Publ, 319.

9- Fang, H., Beaudoin, H.K., Rodell, M., Teng, W.L. & Vollmer, B.E. (2009). Global Land Data Assimilation System (GLDAS) Products, Services and Application from NASA Hydrology Data and Information Services Center (HDISC), ASPRS 2009 Annual Conference Baltimore, Maryland March 8-13

10- Habte- Haile, K. (2011). Estimation of terrestrial water storage in the upper reach of yellow river, Un published M.Sc. Thesis, University of Twente, Enschede, Netherlands.

11- Hardy, J. (2003). "Climate Change, Causes, Effects and Solutions" John Wiley Sons, Ltd, pp. 39.

12- Kousari, M.R., Dastorani, M.T., Niazi, Y., Soheili, E., Hayatzadeh, M. & Chezgi, J. (2014). Trend Detection of Drought in Arid and Semi-Arid Regions of Iran Based on Implementation of Reconnaissance Drought Index (RDI) and Application of Non-Parametrical Statistical Method. Water resources management 28 (7), 1857-1872.

13- 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.

14- McKee, T.B., Doesken, N.J. & Kleist, J.Y.

ارزیابی نقشه شدت خشکسالی حاصل از داده‌های ماهواره با کمک معیارهای ارزیابی آماری نشان داد که همبستگی شاخص GLDAS-SMDI با شاخص SPI طی دوره ۴ ساله ۲۰۰۱-۲۰۰۴ برابر ۰/۶۵ در سطح اطمینان ۹۵٪ معنی‌دار بوده است. بیشترین شدت خشکسالی بر اساس شاخص GLDAS-SMDI طی دوره مورد مطالعه در محدوده ایران مرکزی در ایستگاه‌های ایرانشهر، کهنوج، بم، بافت و بیرجند رخ داده است. بنابراین می‌توان اینگونه نتیجه‌گیری کرد که خروجی رطوبت خاک مدل‌های سطح زمین سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی می‌تواند جهت برآورد سریع و کم هزینه شدت خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک که فراسنجی تعیین کننده در بسیاری از فرایندهای پیچیده زیست-محیطی محسوب می‌گردد و نقش مهمی در وقوع خشکسالی دارد به کار گرفته شود. پیشنهاد می‌شود به منظور افزایش دقت مکانی نقشه‌های شدت خشکسالی، از تلفیق اطلاعات داده‌های ماهواره‌ای با مقادیر ایستگاه‌های زمینی استفاده کرد و با افزایش قدرت تفکیک اطلاعات، زمینه را برای مطالعات دقیق‌تر فراهم آورد.

۵- منابع و مآخذ

۱- بایبوردی، محمد؛ ۱۳۸۰، اصول مهندسی آبیاری، روابط آب و خاک، جلد اول، انتشارات دانشگاه تهران، ۷۰۹ ص.

۲- بداق جمالی، احمدیان، جوانمرد، گل مکانی؛ جواد، جواد، سهیلا، تکتم؛ ۱۳۸۱، ضرورت پایش وضعیت رطوبت خاک در افزایش بهره‌وری آب کشاورزی، یازدهمین همایش کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، ۳۹۰-۳۷۶.

۳- تقوی، محمدی؛ فرحناز، حسین؛ ۱۳۸۶، بررسی دوره بازگشت رویدادهای اقلیمی حدی به منظور شناخت پیامدهای زیست محیطی، محیط شناسی، دوره ۳۳، ش ۴۳: ۲۰-۱۱.

۴- فرخ‌نیا، مرید؛ اشکان، سعید؛ ۱۳۹۳، بررسی قابلیت داده‌های ماهواره بازیابی گرانش و آزمایش اقلیمی و خروجی مدل‌های سیستم جهانی تلفیق اطلاعات زمینی برای برآورد بیلان آب در مقیاس‌های مکانی بزرگ (مطالعه موردی

routing scheme, *Water Resour*, 46, W06507.

24- Zhao, S., Yang, Y., Qiu, G., Qin, Q., Yao, Y., Xiong, Y. & Li, C. (2010). Remote detection of bare soil moisture using a surface-temperature-based soil evaporation transfer coefficient, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, Volume 12, Issue 5: 351-358.

25- Zhe, Y., Tingwu, L., Qinghong, Y., Zhanpeng, C. & Yuequn, D. (2013). A near-infrared reflectance sensor for soil surface moisture measurement, *Computers and Electronics in Agriculture*, vol, 99: 101-107.

26- Zuliqar, A., Ijaz, H., Muhammad, F., Hafiza, M. N., Mitwali, A. M., Tajammal, H. & Sadaf, S. (2017). A Novel Multi-Scalar Drought Index for Monitoring Drought: the Standardized Precipitation Temperature Index. *Water Resources Management* 31 (15), 4957-4969.

(1995). Drought monitoring with multiple time scales, Ninth Conference on Applied Climatology, American Meteorological Society: Dallas, TX, PP 233-236.

15- Robinson, D.A., Campbell, C.S. Hopmans, J.W., Hornbuckle, B.K., Jones, S.B., Knight, R., Ogden, F., Selker, J. & Wendroth, O. (2008). Soil moisture measurement for ecological and hydrological watershed-scale observation, A review, *Vadose Zone J.*, 7: 358-389.

16- Rosenbaum, U., Bogena, H. R., Herbst, M., Huisman, J. A., Peterson, T. J., Weuthen, A. & Vereecken, H. (2012). Seasonal and event dynamics of spatial soil moisture patterns at the small catchment scale, *Water Resources Research*, 48, W10544, doi:10.1029/2011WR011518.

17- Safavi, H.R., Esfahani, M.K. & Zamani, A.R. (2014). Integrated Index for Assessment of Vulnerability to Drought, Case Study: Zayandehrood River Basin, Iran. *Water resources management* 28 (6), 1671-1688.

18- Sheffield, J., Lobell, D.B. & Wood E. F. (2010). Global Drought Monitoring and Forecasting, based on Satellite Data and Land Surface Modeling, American Geophysical Union, Fall Meeting, abstract #H23B-1189.

19- Surendran, U., Kumar, V., Ramasubramoniam, S. & Raja, P. (2017). Development of Drought Indices for Semi-Arid Region Using Drought Indices Calculator (DrinC) – A Case Study from Madurai District, a Semi-Arid Region in India. *Water Resources Management* 31 (11), 3593-3605.

20- Tsakiris, G., Pangalou, D. & Vangelis, H. (2007). Regional drought assessment based on the Reconnaissance Drought Index (RDI). *Water resources management* 21 (5), 821-833.

21- Walker, J. P. & Houser, P.R. (2004). Requirements of a global near-surface soil moisture mission: accuracy, repeat time, and spatial resolution. *Advances in Water Resources*, 27, 785- 801.

22- Wigneron, J. P., Schmugge, T., Chanzy, A., Calvet, J. C. & KERR, Y. (1998). Use of passive microwave remote sensing to monitor soil moisture a review, *Agronomie: Agriculture and Environment* 18:27-43.

23- Zaitchik, B.F., Rodell, M. & Olivera, F. (2010). Evaluation of the global land data assimilation system using global river discharge data and a source-to-sink

