



بررسی کاربرد شاخص جدید خشکسالی کشاورزی بر مبنای رطوبت خاک و شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده به کمک داده‌های سنجنش از دور ماهواره‌های SMAP و TERRA

علی اکبر کرmond^۱، سید عباس حسینی^{۲*} و احمد شرافتی^۳

(۱) دانشجوی دکتری، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
(۲) استادیار، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
(۳) استادیار، گروه مدیریت ساخت و آب، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
* ایمیل نویسنده مسئول: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

چکیده

نشریه حفاظت منابع آب و خاک

آدرس تارنما:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

پست الکترونیک:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

سال دوازدهم

شماره دو (۴۶)

زمستان ۱۴۰۱

تاریخ دریافت:

۱۴۰۱/۰۲/۰۷

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۱/۰۴/۲۱

صفحات: ۹۷-۱۱۳

زمینه و هدف: در روش‌های اندازه‌گیری عوامل اثرگذار بر پدیده خشکسالی به صورت میدانی همواره چالش تفکیک مکانی و پیوستگی زمانی و همچنین نیاز به حضور نیروی انسانی کنترل‌کننده مطرح است. اما به علت توانایی سنجنش از دور در اندازه‌گیری داده‌های خشکسالی در وسعت تمام سطح کره زمین و با قدرت تفکیک مکانی و زمانی قابل قبول، امروزه استفاده از سنجنش از دور در کنترل و رصد خشکسالی بیش از پیش گسترش یافته است و به ابزاری قدرتمند در دست کارشناسان تبدیل شده است. در این پژوهش با استفاده از داده‌های سنجنش از دور بر مبنای دو مؤلفه رطوبت خاک سطحی و شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده (EVI)، شاخص خشکسالی کشاورزی جدیدی به نام (SMADIN) پیشنهاد شده است.

روش پژوهش: در راستای هدف تولید شاخص خشکسالی بر مبنای رطوبت خاک، از داده‌های رطوبت خاک مربوط به اندازه‌گیری‌های تا عمق ۵ سانتیمتری به روش سنجنش از دور ماهواره SMAP، موسوم به داده‌های رطوبت خاک سطحی استفاده شد. این داده‌ها پیش از استفاده، با داده‌های روزانه رطوبت خاک میدانی تهیه شده توسط سازمان هواشناسی کشور در بازه ۲۵۰ روزه اعتبارسنجی شده است. خطای مرحله اعتبارسنجی به روش خطای جذر میانگین مربعات بین داده‌های ماهواره ای اندازه‌گیری‌های روزانه انجام شد. بعلاوه شاخص EVI از روش محاسبه برخط داده‌های اندازه‌گیری ماهواره TERRA و سنجنده MODIS بدست آمده است. در نهایت به روش تحلیلی، رابطه شاخص خشکسالی بر اساس رطوبت خاک سطحی پیشنهاد شده است. جهت مقایسه عملکرد این شاخص در شرایط آب و هوایی مختلف دو منطقه نمونه که یکی نماینده آب و هوای خشک و دیگری نماینده آب و هوای مرطوب بودند انتخاب شد. ماتریس همبستگی به روش پیرسون برای شاخص خشکسالی کشاورزی SMADIN در مقابل شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI رسم گردید و در خصوص نتایج بحث و بررسی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج اعتبارسنجی نشان داد که رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به روش میدانی در مناطق با کاربری اراضی مشابه در مقابل اندازه‌گیری سنجنش از دور، دارای میانگین خطا جذر میانگین مربعات $0.05 \frac{m^3}{m^3}$ بوده است. نتایج تحقیق نیز نشان می‌دهد شاخص خشکسالی کشاورزی جدید در مقابل شاخص VHI، در منطقه با آب و هوای مرطوب تا میزان ۹۶٪ و در منطقه خشک ۹۸٪ همبستگی دارد. بعلاوه مقایسه ۵ ساله سری زمانی SMADIN و VHI در منطقه مورد در اوج‌ها و کمینه‌ها و فراز و فرودها همزمانی دیده می‌شود.

نتایج: در این پژوهش یک شاخص خشکسالی کشاورزی بر مبنای رطوبت خاک پیشنهاد شد. به اعتقاد نویسندگان این پژوهش در سال‌های اخیر که عمر ارائه داده‌های ماهواره SMAP بیشتر از ۷ سال شده است، امکان استفاده از این شاخص در مطالعات آتی وجود دارد. با نظر گرفتن خطای احتمالی داده‌های SMAP و TERRA در تامین ورودی‌های شاخص خشکسالی، پیشنهاد می‌شود این شاخص در مطالعات آتی در مناطق خشک مانند مناطق مرکزی و جنوبی کشور بیشتر استفاده گردد.

کلیدواژه‌ها: شاخص خشکسالی کشاورزی، خشکسالی، رطوبت خاک، سنجنش از دور، شاخص پوشش گیاهی



خشکسالی معمولاً جهت نمایش عددی و کنترل اقلیم‌ها در یک بازه زمانی به کار می‌روند. بازه زمانی می‌تواند کوتاه مدت یا بلند مدت باشد و مقادیر شاخص خشکسالی بیانگر شدت خشکسالی می‌باشند (Svoboda & Fuchs, 2017). شاخص‌های خشکسالی اکثراً جهت تشخیص، دسته بندی و کنترل شرایط خشکسالی مورد استفاده قرار گرفته و به دانشمندان این امکان را می‌دهند تا از میزان و شدت شرایط خشکسالی ارزیابی عددی داشته باشند (Sánchez et al., 2016). امروزه وقتی از خشکسالی صحبت می‌کنیم به معنی کمبود آب در یک محدوده ی زمانی مشخص در یک منطقه ی خاص است (Funk & Shradhdhanand Shukla, 2020). نگرش به پدیده خشکسالی می‌تواند متاثر از عوامل مختلفی همچون وضعیت خاک، سطح آبهای زیرزمینی، شرایط جوی و میزان نزولات، نحوه تعامل بشر با محیط زیست و غیره باشد. از نظر گستردگی در سالهای اخیر خشکسالی در سرتاسر آسیا دیده می‌شود و از جنوب ویتنام تا نواحی مرکزی هند و به ویژه ایران را تحت تاثیر قرار داده است (Ray & Shaw, 2019). شاخص‌های خشکسالی از نظر کاربرد می‌توانند به چهار دسته ی اصلی هواشناسی و هیدرولوژیکی و کشاورزی و دسته اقتصادی-اجتماعی تقسیم بندی گردند (Hao et al., 2016). از دسته خشکسالی‌های هواشناسی می‌توان به شاخص بارندگی^۱ SPI، اشاره کرد. شاخص خشکسالی SPI بر مبنای بارش تولید می‌شود. SPI در ابتدا توسط (McKee et al., 1993) در دانشگاه کلرادو آمریکا مطرح شد و در تولید این شاخص مبنای خشکسالی را سابقه تاریخی بارش منطقه در نظر می‌گیرند. در سال ۲۰۰۹ سازمان جهانی هواشناسی، این شاخص را جهت استفاده در موارد مطالعه خشکسالی مورد تایید قرار داده و توصیه کرد (Stagge et al., 2015). در مطالعه ی خشکسالی می‌بایست در نظر داشت بارندگی به تنهایی معیارهای مدنظر تمامی علوم

اهمیت موضوع رطوبت خاک بر کسی پوشیده نبوده و یکی از عوامل کلیدی در رشد پوشش گیاهی و محصولات کشاورزی می‌باشد و می‌تواند نقش موثری در تعیین زمان تبدیل بارش به رواناب داشته باشد. زیرا پس از بارش باران و به دنبال نفوذ آب در خاک، به نسبت تخلخل، ذخیره آبی و جنس خاک در پی افزایش ذخیره آبی موجود در خاک رواناب اتفاق می‌افتد (Huete, 1997). همچنین رطوبت خاک می‌تواند به عنوان عامل هشدار در پیشبینی خشکسالی مد نظر قرار گیرد (Zhu et al., 2021). رطوبت خاک در واقع می‌تواند به صورت میزان آب ذخیره شده موجود در واحد حجم خاک تعریف گردد (González-Zamora et al., 2016). در مطالعه رطوبت خاک دسته بندی‌هایی بر اساس عمق برداشت و نحوه اندازه گیری انجام شده است. از دیدگاه عمق اندازه گیری رطوبت خاک می‌تواند به دو دسته سطحی و زیر سطحی تقسیم بندی شود. رطوبت خاک سطحی در مطالعات مختلف با عمق‌های متفاوتی تعریف شده است. اگر به طور کلی تا عمق حدود ۵ سانتیمتر ابتدایی از مبنای سطح زمین را به عنوان رطوبت خاک سطحی در نظر گرفته شود، می‌توان مشابهت‌هایی بین مقادیر اندازه گیری سنجش از دور، اندازه گیری‌های میدانی و مقادیر مدل‌های کامپیوتری و عددی مشاهده کرد (Mladenova et al., 2020).

در سالهای اخیر رطوبت خاک سطحی در قالب شاخص‌های خشکسالی به کمک پیشبینی خشکسالی آمده است (Mishra et al., 2017)، مفهوم خشکسالی و شاخص خشکسالی گاهی به جای یکدیگر بکار برده شده اند. شناخت خشکسالی‌های کشاورزی نیازمند شناخت الگوهای رطوبت خاک و بارش می‌باشد به همین دلیل از شاخص‌های بر مبنای مؤلفه مهم رطوبت خاک و بارش و پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Funk & Shradhdhanand Shukla 2020). شاخص خشکسالی عموماً یک عدد مشخص است که بیانگر وضعیت خشکسالی یک منطقه در زمانی مشخص است (Hisdal, 2000). شاخص‌های

¹ Standard Precipitation Index

تبخیر از سطح خاک توسط سنجنده‌های الکترونیکی برای مدت ۱۷ سال در ۵ ایستگاه، شاخص خشکسالی کشاورزی جدیدی بنام شاخص خشکسالی رطوبت خاک و تبخیر (SMEI-1) ارائه شد و در مقایسه با شاخص‌های مشابه همبستگی معناداری نشان داد. این همبستگی در فصل بهار برای زمین‌های گندم زار، بیشتر از ۹۰٪ بوده است (Ajaz et al., 2019).

از دسته شاخص‌های خشکسالی کشاورزی که بر اساس رطوبت خاک محاسبه می‌شوند، شاخص خشکسالی کشاورزی SMADI^۳ است که توسط (Sánchez et al., 2016) مطرح شده است. این شاخص در حقیقت ضریبی از رطوبت خاک است که با در نظر گرفتن نسبت دمای سطح زمین و شاخص پوشش گیاهی تعیین می‌گردد. بعلاوه بکارگیری رطوبت خاک در نحوه محاسبه این شاخص، می‌توان گفت که کاملتر از شاخص‌های صرفاً باران محور و پوشش گیاهی محور، خشکسالی را رصد می‌نماید (Sánchez et al., 2016). بر روی این شاخص مطالعات زیادی صورت گرفته است بعنوان مثال (Pablos et al., 2018) سعی کردند با استفاده از رطوبت خاک لایه ریشه^۴ (RZSM) به جای رطوبت خاک سطحی، SMADI را ارزیابی کنند و برای این منظور شاخص خشکسالی ارائه شده توسط سانچز و همکاران (۲۰۱۶) را این بار با RZSM تولید کرده و همگرایی آنرا با شاخص رطوبت محصولات^۵ CMI و کمبود آب اتمسفری^۶ AWD مقایسه کردند. اما نتیجه نشان داد رطوبت خاک لایه ریشه که طبق تعریف عمق بیشتری از خاک را (حدود یک متر)، در نظر می‌گیرد، نمی‌تواند بیانگر تغییرات دقیق خشکسالی کشاورزی باشد. بنابراین اعلام کردند که معیار خشکسالی کشاورزی بر مبنای رطوبت خاک لایه ریشه، نمی‌تواند شاخص مناسبی برای نمایش خشکسالی باشد. SMADI بر مبنای سنجش از دور

مهندسی از قبیل کشاورزی و جغرافیا را تامین نمی‌کند و به شاخص‌های با جزئیات بیشتر نیاز است.

در دهه‌ی گذشته با گسترش اثرات خشکسالی ارتباط بین شاخص‌ها اهمیت بیشتری پیدا کرده است. بعلاوه استفاده از مؤلفه رطوبت خاک در موضوع ارائه‌ی شاخص‌های خشکسالی کشاورزی بیشتر دیده می‌شود. دلیل این موضوع علاوه بر پیشرفت سنجش از دور و گستردگی داده‌های ماهواره‌های سنجنده‌ی رطوبت خاک، می‌تواند تقدم زمانی رطوبت خاک نسبت به پوشش گیاهی باشد. معمولاً بعد از یک دوره‌ی افزایش رطوبت خاک، رشد در پوشش گیاهی دیده می‌شود (Watson et al., 2022). از جمله این مطالعات می‌توان به تحقیق نیازی و همکاران (۲۰۱۸) اشاره نمود که شاخص خشکسالی کشاورزی جدیدی بر مبنای رطوبت خاک ارائه کرده‌اند. این شاخص دارای همبستگی معناداری با شاخص خشکسالی شدت بارش SPI با سطح اطمینان ۹۵٪ بوده و بیان می‌کنند که می‌تواند مبنای هشدار خشکسالی قرار گیرد. ایشان در مطالعه‌ی خود از پایگاه داده‌های^۱ GLDAS رطوبت خاک را برداشت کرده‌اند. نکته مهمی که باید در نظر داشت این موضوع است که GLDAS از دسته‌ی اطلاعات داده گواری^۲ می‌باشد. داده‌های این فرآیند حاصل از ترکیب مدل‌های عددی کامپیوتری و اندازه‌گیری‌های میدانی، و سپس تدقیق با اندازه‌گیری‌های سنجش از دور هستند که در اختیار کاربران قرار می‌گیرند. از داده‌های GLDAS، رطوبت خاک با قدرت تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه فضایی معادل حدود ۲۸ کیلومتر مربع ارائه می‌شوند. از نظر دقت زمانی نیز داده‌های جهانی رطوبت خاک سطحی این پایگاه داده با دقت ماهانه و روزانه و حتی ۳ ساعتی در دسترس می‌باشند (Teng et al., 2016). در مطالعه‌ی دیگری که با هدف معرفی شاخص خشکسالی بر مبنای رطوبت خاک انجام شده است با اندازه‌گیری میدانی رطوبت خاک و

³ Soil Moisture Agricultural Drought Index

⁴ Root Zone Soil Moisture

⁵ Crop Moisture Index

⁶ Atmospheric Water Deficit

¹ Global Land Data Assimilation System

² Data Assimilation

کاربری کشاورزی در محدوده حدود ۳۰ کیلومتری از شهر ایلام می‌پردازند و به این منظور با استفاده از روش SMBDA^۵ قدرت تفکیک داده‌های سطح ۴ این ماهواره را از ۹ کیلومتر به ۱ کیلومتر مربع افزایش می‌دهند. ایشان جهت اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP در هر پیکسل یک کیلومتر مربعی ۳ الی ۵ نمونه رطوبت خاک میدانی اندازه‌گیری کرده و با رطوبت خاک ریز مقیاس شده سنجش از دور مقایسه می‌کنند. و نتایج اعتبارسنجی با $0.085 \frac{m^3}{m^3}$ خطای RMSE در محدوده‌ی مناسبی از خطا نسبت به مطالعات پیشین قرار داشت. همچنین در مطالعه‌ی دیگری پیش از این جامعی و همکاران (2020) توانسته بودند داده‌های سطح ۲ رطوبت خاک حاصل از سنجش از دور ماهواره SMOS را در محدوده جنوب غربی ایران با داده‌های میدانی اعتبارسنجی کرده و با در نظر گرفتن محدوده خطای RMSE از $0.04 \frac{m^3}{m^3}$ تا $0.08 \frac{m^3}{m^3}$ بین اندازه‌گیری میدانی و سنجش از دور می‌توان گفت که این اعتبارسنجی نیز موفق بوده است.

در مطالعه‌ی حاضر از شاخص خشکسالی کشاورزی بر اساس رطوبت خاک SMADI که توسط سانچز و همکاران (2016) ارائه شد استفاده خواهد شد، این شاخص در مطالعات متعددی در مورد مناطق جغرافیایی با آب و هوای مرطوب و خشک استفاده شده است. برای مثال سوزا و همکاران (2021) در یک پروژه‌ی تحقیقاتی این شاخص را در خصوص منطقه‌ی بنام Pernambuco State در برزیل بکار برده‌اند. نتایج نشان داده این شاخص در تشخیص تنش آبی و خشکسالی، از حساسیت بیشتری در مقایسه با شاخص‌های مشابه برخوردار است و این قابلیت را دارد که در صورت کاربرد در مورد زمین‌های کشاورزی دیم، هشدار سریع و صحیح در مورد خشکسالی ارائه کند. در این مطالعه سعی شده است در تولید SMADI از شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده EVI^۷ به جای NDVI^۶ استفاده گردد و به‌جای رطوبت

محاسبه می‌شود و سنجش از دور می‌تواند با سرعت جمع‌آوری بالا و توانایی پوشش مناطق وسیع و جمع‌آوری اطلاعات در مناطق با راه دسترسی سخت‌گذر و همچنین درعین حال با حفظ دقت زمانی و مکانی در جمع‌آوری اطلاعات تحولی در جمع‌آوری داده‌های سطح زمین ایجاد کند.

در سال‌های اخیر جدیدترین ماهواره‌ای که با هدف جمع‌آوری اطلاعات رطوبت خاک ارسال شده است ماهواره SMAP^۱ می‌باشد که در سال ۲۰۱۵ شروع به ارسال اطلاعات صحیح کرده است (Entekhabi et al., 2014). نحوه‌ی چرخش این ماهواره به دور زمین به این صورت است که هر سه روز یک بار کره‌ی زمین را پایش می‌کند. سنجنده‌ی رادیویی آن که دارای قدرت تفکیک مکانی حدود ۳۶ کیلومتر است و بر مبنای اندازه‌گیری‌های بازتاب میکروویو از سطح زمین عمل می‌کند^۲ (Piepmeier et al., 2017). همچنین SMAP دارای سنجنده‌های راداری است که دارای قدرت تفکیک مکانی و دقت بسیار بالایی در حدود ۳ کیلومتر در برداشت اطلاعات بوده است و بر مبنای اندازه‌گیری زمان ارسال و دریافت امواج میکروویو^۳ و به صورت فعال عمل می‌کند^۴. سنجنده راداری در سال اول پرتاب به علت طوفان خورشیدی از محل منبع تغذیه دچار حادثه شد (Michelle Drabik, 2019). اما امروزه با استفاده از داده‌های کمکی، رطوبت خاک اندازه‌گیری شده SMAP به صورت خروجی اندازه‌گیری‌های سنجش رادیومتری در ترکیب با ماهواره‌های دیگر و یا در ترکیب با مدل سازی در دسترس است.

داده‌های ماهواره و سنجش از دور رطوبت خاک سطحی در مطالعاتی در کشور ما نیز اعتبارسنجی شده است. نوقابی و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهش خود بر روی ریز مقیاس سازی رطوبت خاک روزانه اندازه‌گیری شده از سطح ۴ داده‌های ماهواره SMAP در زمین‌های با

¹ Soil Moisture Active Passive

² “passive” measurements of the microwave emission

³ microwave

⁴ “active” backscatter measurements

⁵ Soil Moisture-Based Downscaling Algorithm

⁶ Enhanced Vegetation Index

⁷ Normalized Difference Vegetation Index

کلاته مزینان با وسعت ۱۰ کیلومتر مربع واقع است. در شکل ۱ موقعیت این نقاط نمایش داده شده است.

۲- مواد و روش

برداشت اطلاعات میدانی و اطلاعات ماهواره‌ای معادل جهت اعتبار سنجی در تنها ایستگاه اندازه‌گیری رطوبت خاک در استان گیلان بنام «رشت کشاورزی» انجام شده است. این ایستگاه در محدوده‌ی شهر رشت واقع شده است. در سازمان هواشناسی ایران برداشت اطلاعات رطوبت خاک میدانی بصورت گسسته، داخل مزرعه و یا داخل سکو انجام می‌شود. این اندازه‌گیری در ایستگاه‌هایی که دارای فواصل مکانی بسیار زیاد نسبت به هم هستند، انجام می‌شود. در منطقه‌ی مورد مطالعه پژوهش حاضر، تنها ایستگاه «رشت کشاورزی» این مهم را انجام داده است. اندازه‌گیری میدانی براساس نمونه برداری و آزمایش تعیین مقادیر آب موجود در خاک به روش «داخل مزرعه» مطابق با استاندارد امریکایی (ASTM D2216-19, 2019) به صورت روزانه انجام می‌گردد. مطابق این استاندارد نمونه‌ها قبل و بعد از خشک شدن در دمای ۱۱۰ درجه سانتیگراد وزن می‌شوند و درصد رطوبت موجود در نمونه‌ها به نسب وزن آنها مشخص می‌گردد. حجم نمونه‌های انتخابی در حدود ۲۰۰ گرم انتخاب می‌شود. تعداد نمونه‌های مورد استفاده ۲۵۰ عدد در ۲۵۰ روز متوالی از تاریخ هفتم فروردین سال ۱۳۹۹ تا سیزدهم آذر ۱۳۹۹ بوده است.

شکل ۱ محل برداشت داده‌ها در دو منطقه در نوار شمالی کشور در منطقه‌ی خشک و همچنین در منطقه مرطوب را نشان می‌دهد. تقسیم بندی شرایط آب و هوایی براساس تحقیقات انجام شده توسط عباسی و همکاران (2022) انجام شد. ایشان در مطالعه خود به روش تورنت ویت و مائر^۳ به تقسیم بندی شرایط اقلیمی ایران پرداخته اند. لازم به توضیح است که موقعیت مکانی انجام اعتبار

خاک سطحی ماهواره SMOS^۱ از رطوبت خاک ماهواره SMAP استفاده گردد، تا به این وسیله هدف اصلی که ارائه یک شاخص دقیقتر از خشکسالی کشاورزی بر مبنای رطوبت خاک است حاصل گردد. داده‌های رطوبت خاک مورد استفاده در پژوهش حاضر، اطلاعات مورد استفاده حاصل داده‌گواری ماهواره SMAP با اندازه‌گیری‌های میدانی می‌باشد که با یک مدل سطح زمین پالمر^۲ دو لایه‌ای (Palmer, 1965) توسط ارائه دهنده داده‌ها داده‌گواری شده است و با دقت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر قابل دریافت می‌باشند (Google Earth Engine, 2021; Gorelick et al., 2017). شاخص جدید ارائه شده که بر اساس رطوبت خاک سطحی محاسبه می‌شود، می‌تواند علاوه بر کاربردهای کشاورزی در جلوگیری از فرسایش خاک و همچنین تصمیمات مدیریتی اقلیم مورد استفاده قرارگیرد. در ادامه این مقاله روش تحقیق و منطقه مورد مطالعه آورده شده است و سپس نتایج و تفسیر نتایج بیان شده است.

روش تحقیق

۱- منطقه مورد مطالعه

جهت استخراج داده‌های مورد استفاده در تهیه شاخص‌ها یک منطقه در موقعیت جغرافیایی به مختصات ($X = 48^{\circ}, 45', 26''$ و $Y = 37^{\circ}, 59', 4''$) انتخاب شده است. این موقعیت مکانی در محدوده‌ی با پوشش گیاهی و بارش زیاد در محدوده‌ی شمال کشور و در نزدیکی دریا دریای خزر در منطقه‌ی «هره دشت» با آب و هوای مرطوب و با وسعت ۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد. نقطه‌ی دیگری نیز به دلیل مشاهده‌ی اثر آب و هوایی روی شاخص خشکسالی در ناحیه با آب و هوای خشک در موقعیت جغرافیایی ($X = 56^{\circ}, 51', 12''$ و $Y = 36^{\circ}, 12', 29''$) انتخاب شده است، این موقعیت جغرافیایی در استان خراسان رضوی و در نزدیکی روستای

¹ Soil Moisture and Ocean Salinity

² Palmer

³ Thornthwaite and Mather

سنجی داده‌های رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP با داده‌های میدانی موجود و در دسترس که از طریق سازمان



شکل ۱. محل برداشت داده‌ها

در رابطه (۱) ρ_{RED}^* برابر است با مقدار بازتاب بدست آمده در محدوده طیفی رنگ قرمز مرئی و ρ_{NIR}^* برابر است با مقدار بازتاب بدست آمده در محدوده ی طیفی مادون قرمز نزدیک و NDVI شاخص پوشش گیاهی می‌باشد. شاخص پوشش گیاهی EVI اولین بار بر اساس پروژه تحقیقاتی انجام شده توسط هیو و همکاران (2002) ارائه شده است، این شاخص در مطالعه حاضر بر مبنای داده‌های جمع‌آوری شده توسط سنجنده MODIS تولید شده و از ویژگی‌های قابل توجه آن می‌توان به وضوح بالا و قابلیت کاربرد در تمامی عوارض طبیعی سطح خشکی اشاره کرد. کاربرد ویژه این شاخص جهت تشخیص توسعه خشکسالی در مناطق با کاربری کشاورزی می‌باشد. هنگامی که اولین بار این شاخص مطرح شد در حقیقت با در نظر گرفتن بازتاب در ناحیه طیف نور آبی و همچنین با در نظر گرفتن آثار جوی بر استخراج اطلاعات شاخص پوشش گیاهی NDVI بازسازی شده است. به این معنی که EVI با وجود ضرایب اصلاحی نسبت به NDVI، پوشش گیاهی را دقیق تر ارائه می‌کند. شاخص پوشش گیاهی EVI از رابطه (۲) بدست می‌آید (Huete, 1997; Huete et al., 2002).

$$EVI = G \times \left(\frac{\rho_{NIR}^* - \rho_{RED}^*}{\rho_{NIR}^* + C_1 \rho_{RED}^* - C_2 \rho_{BLUE}^* + L} \right) \quad (2)$$

در رابطه (۲) EVI برابر است با شاخص پوشش

گیاهی بازسازی شده و ضرایب $L=1$, $C1=2$, $C2=0.75$

هواشناسی ایران تهیه شده است، هر دو در موقعیت $(Y = 37^\circ, 14', 25''$ و $X = 49^\circ, 37', 7''$) در محل ایستگاه هواشناسی به نام رشت کشاورزی نمایش داده شده است. از لحاظ زمانی مکانی منطقه نمونه برداری فقط در یک کاربری ثابت یعنی کاربری کشاورزی قرار داشته است. این تحقیق با استفاده از داده‌های برداشت شده به روش سنجش از دور و پس پردازش شده به روش داده گواری به محاسبه و تعیین شاخص خشکسالی کشاورزی می‌پردازد. شاخص هایی در درون روابط محاسبه SMADIN استفاده شده است که در ادامه توضیح داده می‌شوند. از جمله می‌توان به $EV1^1$ و NDVI اشاره نمود، این دو شاخص نماینده پوشش گیاهی منطقه می‌باشند. شاخص NDVI اختلاف نرمال شده ی شاخص پوشش گیاهی منطقه است که بر اساس خصوصیات انعکاسی پوشش گیاهی در سنجش موج الکترومغناطیسی قرمز RED و مادون قرمز نزدیک Near-IR از رابطه (۱) بدست می‌آید (Gessesse & Melesse, 2019). در حال حاضر با استفاده از ماهواره ی TERRA و سنجنده ی MODIS که براساس بازتاب نور عمل می‌کند، می‌توان این شاخص را با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر و به صورت روزانه دریافت کرد.

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR}^* - \rho_{RED}^*}{\rho_{NIR}^* + \rho_{RED}^*} \quad (1)$$

¹ Enhanced Vegetation Index

مقادیر بیشینه و کمینه مربوط به دوره ۵ ساله ی برداشت اطلاعات است. نهایتاً رابطه (۵) که جهت محاسبه خشکسالی کشاورزی توسط سانچز و همکاران (2016) ارائه شده است به شرح زیر است.

$$SMADI_i = \frac{MTCI_i \times \left(\frac{SSM_{max} - SSM_i}{SSM_{max} - SSM_{min}} \right)_{SMOS}}{\left(\frac{NDVI_{i+1} - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)} \quad (5)$$

در رابطه (۵) نماد SSM_{max} نشان دهنده بیشینه رطوبت خاک سطحی دریافتی از ماهواره SMOS و SSM_{min} کمینه رطوبت خاک سطحی دریافتی از ماهواره SMOS برای یک دوره ۵ ساله ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ می‌باشند. این ماهواره با هدف بررسی تغییرات چرخه آب و انرژی توسط آژانس هوا و فضای اروپا ارسال شده است. در رابطه (۵) همچنین NDVI شاخص پوشش گیاهی و i بیانگر یک دوره ۸ روزه است و بیشینه و کمینه در مورد یک دوره ۵ ساله از ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ محاسبه شده است. $SMADI_i$ شاخص خشکسالی کشاورزی با در نظر گرفتن رطوبت خاک می‌باشد.

در رابطه (۶) شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI نمایش داده شده است. به دلیل اینکه شرایط رطوبت و دما در زمان رخداد چرخه پوشش گیاهی نامعلوم است، مقادیر a , b هر دو برابر ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود (Brito et al., 2018).

$$VHI_i = a \cdot NDVI_i + b \cdot TCI_i \quad (6)$$

با توجه به تحقیقات قبلی انجام شده طبقه‌بندی شاخص‌های VHI و SMADI برای کلاسهای مختلف خشکسالی پیشنهاد گردیده است که مقادیر مرتبط با هر کلاس در جدول ۱ آورده شده است. این طبقه‌بندی در تحقیق حاضر پس از محاسبه شاخصها برای انجام مقایسه انواع مختلف خشکسالی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$G=2$ می‌باشند. همچنین ρ_{NIR}^* بازتاب در ناحیه مادون قرمز نزدیک و ρ_{RED}^* بازتاب در ناحیه طیف نور قرمز و ρ_{BLUE}^* بازتاب در ناحیه طیف نور آبی می‌باشند. در این مطالعه مقادیر EVI مستقیماً از پایگاه داده‌های GEE استخراج شده است و مربوط به داده‌های جمع آوری شده توسط سنجنده ی MODIS می‌باشند. در وضعیت‌های بسیار ابری ماهواره Terra نیز افت کیفیت داشته و بنابراین داده‌های استخراج شده پیش از استفاده توسط الگوریتم‌های مدل سازی در روزهایی که ابر یا سایه ابر مانع دریافت داده باشد بازسازی شده است (Campos-Taberner et al., 2018).

TCI یا همان شاخص شرایط دمای سطح زمین که در رابطه (۳) نمایش داده شده است و $MTCI$ که شاخص شرایط دمای سطح زمین اصلاح شده است و در رابطه (۴) نشان داده شده است، هر دو بیانگر شرایط دمای سطح زمین هستند. و هر دو با استفاده از اندازه گیری دما بر روی سطح زمین تولید می‌شوند. این دو رابطه به ترتیب در درون محاسبات VHI و $SMADI$ کاربرد دارند. نقش این دو رابطه در مطالعه حاضر اعمال اثرات دمای سطح زمین در شاخص خشکسالی کشاورزی است.

$$TCI_i = \frac{LST_{max} - LST_i}{LST_{max} - LST_{min}} * 100 \quad (3)$$

$$MTCI_i = \frac{LST_i - LST_{min}}{LST_{max} - LST_{min}} \quad (4)$$

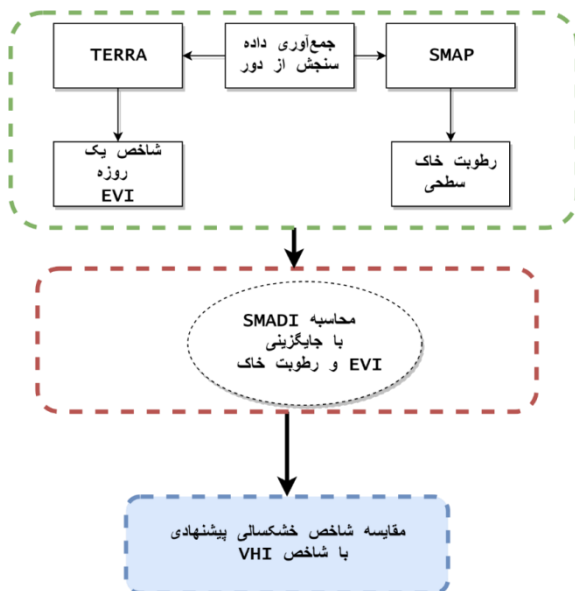
در هر دو رابطه (۳ و ۴) LST نشان دهنده ی دمای سطح زمین است که از سنجنده ی MODIS به صورت روزانه برداشت شده است. البته این دما به دو صورت دمای روز و دمای شب در این سامانه قابل استخراج است. اما بر اساس مطالعات انجام شده و پیشنهادات ارائه شده توسط سانچز و همکاران (2016) بهتر است از دمای روز در مورد تهیه شاخص خشکسالی کشاورزی استفاده شود. اندیس i نشان دهنده ی دوره هشت روزه می‌باشد و

¹ Land Surface Temperature

انجام می‌شود. در گام بعدی با جایگزینی EVI به جای NDVI در رابطه (۵) حاصل از سنجش داده‌های ماهواره TERRA و سنجنده ی MODIS، رابطه (۷) ارائه شده است. SMADIN در رابطه (۷) نشان دهنده ی شاخص خشکسالی کشاورزی پیشنهادی در این تحقیق می‌باشد. جهت بررسی عملکرد آن در مقابل شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI و SMADI مقایسه می‌گردد. برای شناخت بهتر از مراحل تحقیق حاضر، فلوجارت مراحل تحقیق در شکل شماره ۲ نشان داده شده است.

(۷)

$$SMADIN_i = \left\{ \frac{MTCI_i}{\frac{EVI_i - EVI_{min}}{EVI_{max} - EVI_{min}}}_{i+1} \right\} \times \left(\frac{SSM_{max} - SSM_i}{SSM_{max} - SSM_{min}} \right)_{SMAP}$$



شکل ۲. فلوجارت مراحل مختلف تحقیق

۳- اعتبار سنجی

همواره داده‌های ماهواره و سنجش از دور جهت استفاده بایستی به کمک داده‌های زمینی مورد اعتبار سنجی قرار گیرد. لذا با توجه به اهمیت این داده‌ها در تخمین شاخص SMADI، ابتدا دقت و اعتبار داده‌های ماهواره SMAP در مقابل داده‌های میدانی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. این کار با هدف اطمینان از صحت و کاربردی بودن داده‌ها و اعتماد بیشتر به شاخص خشکسالی کشاورزی پیشنهادی صورت می‌پذیرد. با وجود اینکه

جدول ۱. طبقه‌بندی خشکسالی بر اساس مقادیر مختلف شاخص‌ها

کلاس	VHI	SMADI
بدون خشکسالی و معمولی یا نرمال	بیشتر از ۴۰	۰.۹۹-۰
منطقه با خشکسالی خفیف	۴۰-۳۰	۱.۹۹-۱
منطقه با خشکسالی متوسط	۳۰-۲۰	۲.۹۹-۲
منطقه با خشکسالی شدید	۲۰-۱۰	۳.۹۹-۳
منطقه دچار خشکسالی مفرط	کمتر از ۱۰	بیش از ۴

(Brito et al., 2018; Souza et al., 2021)

با استفاده ترکیب اندازه گیری‌های میدانی و مدل پالمیر و محصولات سطح ۳ ماهواره SMAP که دارای قدرت تفکیک ۹ کیلومتر می‌باشند، رطوبت خاک سطحی (رطوبت خاک تا عمق ۵ سانتیمتری) جدید و تدقیق شده‌ای داده گواهی شده است. این خروجی‌ها دارای دقت تفکیک مکانی ۱۰ کیلومتر هستند که با در نظر گرفتن توان خاص اندازه گیری اطلاعات رطوبت خاک در ماهواره SMAP، بدون تاثیر پذیری از عوامل جوی همچون وجود ابر، داده‌های این ماهواره، ملاک عمل در مطالعه حاضر قرار گرفته است. داده‌های دریافتی دارای قدرت تفکیک زمانی ۳ روزه می‌باشند (Entekhabi et al., 2014). داده‌های رطوبت خاک سطحی مورد استفاده با استفاده درون یابی به روش کاربرد فیلتر کالمن^۱ به روزانه تبدیل شده است و در نهایت محاسبه شاخص خشکسالی نیز به صورت روزانه انجام شده است. فیلتر کالمن که در مطالعه حاضر جهت پر کردن فواصل زمانی رطوبت خاک سطحی با بهره گیری از فضای برنامه نویسی در محیط R بکار گرفته شده، برگرفته از یک مقاله معروف به نام مقاله کالمن می‌باشد (Kalman, 1960). با توجه به هم واحد بودن رطوبت خاک‌های مورد استفاده و نرمال سازی شاخص پوشش گیاهی اصلاح شده، خشکسالی ارائه شده از نقطه نظر طبقه بندی همچنان می‌توان از جدول ۱ استفاده نمود. قبل از تولید شاخص رطوبت خاک کشاورزی جدید ابتدا اعتبار سنجی بین داده‌های ماهواره‌ای و میدانی انجام خواهد شد. در این مرحله کنترل خطا و همبستگی بین داده‌های اندازه گیری رطوبت خاک زمینی و ماهواره‌ای

¹ Kalman

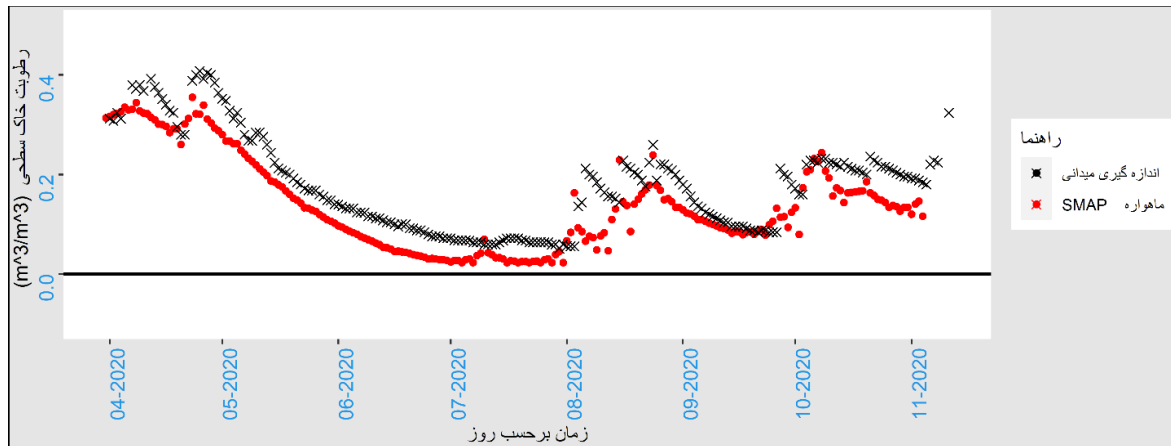
می‌باشد. با در نظر گرفتن ابعاد پیکسل‌های تصویر ماهواره SMAP مورد استفاده که حدود ۱۰ کیلومتر مربع می‌باشد، نمی‌توان انتظار داشت برداشت‌های میدانی و ماهواره‌ای دقیقاً روی هم قرار گیرند، اما با وجود کاربری اراضی مشابه در محل اندازه‌گیری میدانی با محل اندازه‌گیری ماهواره‌ای، می‌توان اعتماد بیشتری به مقایسه انجام شده داشت. اسکویی و جامعی (2022) در تحقیقات خود بیان می‌کنند که از جمله محدودیت‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک در ایران می‌توان به نبود شبکه سراسری پایش رطوبت خاک در کشور اشاره کرد و همچنین اندازه‌گیری رطوبت خاک میدانی توسط ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی به وسیله سازمان هواشناسی و به صورت گسسته انجام می‌گردد. به این معنی که ثبت منظم مقدار رطوبت خاک در بازه‌های زمانی کوتاه مدت دیده می‌شود و در برخی استان‌ها اندازه‌گیری رطوبت خاک انجام نمی‌شود. در مطالعه حاضر تنها از یک ایستگاه اندازه‌گیری رطوبت خاک استفاده شده است. اما قطعاً در صورت استفاده از ایستگاه‌های با پیوستگی زمانی برداشت بیشتر اندازه‌گیری میدانی رطوبت، اعتبار سنجی داده‌های ماهواره‌ای معنادار تر می‌باشد. ضمناً استفاده از یک ایستگاه زمانی معنی دار تلقی می‌شود که محل ایستگاه به عنوان یک نقطه، در پیکسلی واقع شده باشد که تغییر کاربری در آن پیکسل اتفاق نیفتاده باشد زیرا تغییر کاربری در پیکسلی که ایستگاه اندازه‌گیری در آن قرار دارد می‌تواند اعتبار سنجی با داده‌های زمینی را مخدوش نموده و زیر سوال برد. با توجه به ابعاد ۱۰ کیلومتری پیکسل داده‌های ماهواره‌ای و مقایسه با نقشه کاربری زمین مشخص شده است که تمامی این ده کیلومتر دارای کاربری یکسان و کاربری کشاورزی است.

البته تا کنون مطالعات فراوان و جامعی در خصوص صحت سنجی داده‌های رطوبت خاک ماهواره SMAP صورت گرفته و در مقالات متعددی به صورت جزئی یعنی بخش‌های محدودی از حوزه‌های آبریز و به صورت کلی یعنی تمام کره زمین، مؤلفه رطوبت خاک اعتبار سنجی شده است.

داده‌های ارائه شده در پایگاه اطلاعاتی GEE به صورت جهانی تهیه شده است یکی از مسائل اصلی و مهم در زمان استفاده از داده‌های ماهواره SMAP در نظر گرفتن نوع کاربری اراضی است. در تحقیقات گذشته بیان شده است که با وجود اینکه محصولات SMAP در مقیاس تمام کره زمین تولید می‌شوند، اما می‌بایست مقدار محتوای آبی موجود در پوشش گیاهی^۱ در منطقه‌ای که از این داده‌ها استفاده می‌گردد کنترل شده و کمتر از ۵ کیلوگرم بر مترمربع باشد (Chan et al., 2013; Entekhabi et al., 2010). در مقاله حاضر این مساله کنترل شده و سپس از داده‌ها استفاده شده است.

عملیات صحت سنجی رطوبت خاک ماهواره SMAP از روش مقایسه سری زمانی داده‌های رطوبت خاک سطحی انجام و نتایج در شکل ۳ نشان داده شده است. در شکل ۳ داده‌های اندازه‌گیری رطوبت خاک سطحی SMAP با اندازه‌گیری میدانی برای مدت مشابه، همگی به صورت حجمی ($\frac{m^3}{m^3}$) نشان داده شده است. طبق تعریف اندازه‌گیری‌های SMAP برای حدود عمق ۵-۰ سانتیمتری انجام می‌شود رطوبت خاک میدانی استفاده شده در این مطالعه نیز مربوط به عمق ۱۰-۰ سانتیمتری و از دسته رطوبت خاک سطحی می‌باشد. به همین جهت مقایسه آنها در بازه‌های زمانی از اندازه‌گیری رطوبت خاک سطحی از هر دو موجود باشد معنی دار می‌باشد. شکل ۳ تطابق بین اطلاعات رطوبت خاک میدانی و اطلاعات رطوبت خاک SMAP نشان می‌دهد. مقدار انحراف معیار داده‌های رطوبت خاک سطحی میدانی برابر ۰/۰۹۴۱ و SMAP برابر با ۰/۰۹۴۵ می‌باشند. میانگین داده‌های اندازه‌گیری شده میدانی برابر با $\frac{m^3}{m^3}$ ۰/۲۱ و اندازه‌گیری ماهواره‌ای برابر $\frac{m^3}{m^3}$ ۰/۱۸ بود که در مقایسه با مطالعات مشابه قابل اختلافی قابل قبول می‌باشد. همچنین مقدار میانگین مجذور مربع خطا (RMSE) بین داده‌های میدانی و سنجش از دور $\frac{m^3}{m^3}$ ۰/۰۵ مشاهده می‌شود، که در حدود اندازه‌های خطای مطالعات مشابه

^۱ Vegetation Water Content



شکل ۳. مقایسه رطوبت سطحی خاک میدانی و ماهواره‌ای

گیری‌های رطوبت خاک در وسعت کل کشور ایران به وسیله ماهواره، در یک بازه زمانی از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹، استفاده از ماهواره SMOS در کشور را اعتبارسنجی و تایید کرده‌اند.

نتایج و بحث

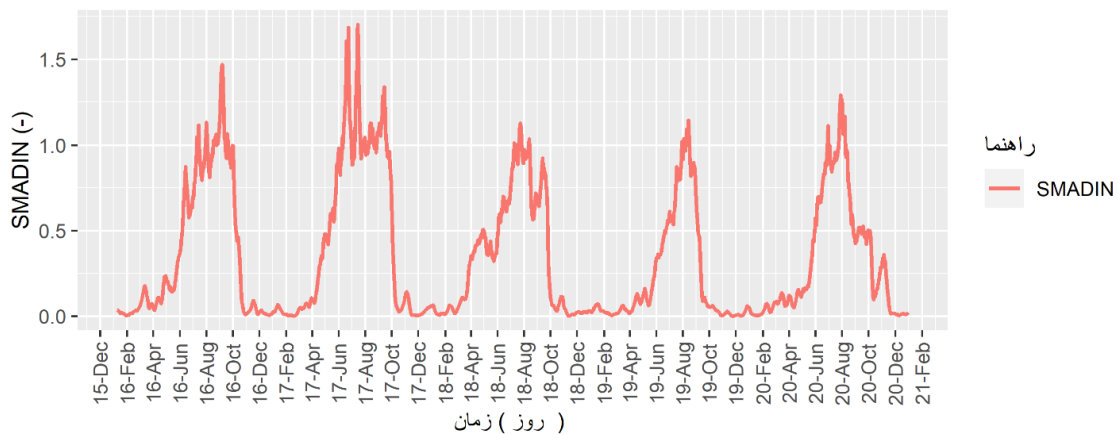
با در نظر گرفتن اعتبارسنجی و اطمینان از دقت داده‌های SMAP در منطقه مورد مطالعه، شاخص پیشنهادی خشکسالی رطوبت خاک SMADIN برای یک بازه زمانی ۵ ساله تولید شده و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به این منظور، شاخص SMADIN از رابطه (۷) محاسبه شده و نتایج در شکل (۴) برای مدت ۵ سال بین سالهای ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ ارائه شده است. به جهت درک بهتر تغییرات شاخص خشکسالی پیشنهادی در شرایط جوی مختلف دو ایستگاه با شرایط آب و هوایی متفاوت انتخاب شدند. یک موقعیت در «هره دشت در گیلان» به عنوان مکانی با شرایط اقلیمی مرطوب انتخاب گردید، همچنین موقعیت دیگری در نزدیکی روستای «کلاته مزینان» در استان خراسان که دارای آب و هوای خشک بود انتخاب شده است. در شکل ۴-الف برای آب و هوای مرطوب و در شکل ۴-ب برای نقطه‌ای با آب و هوای خشک محاسبه شاخص خشکسالی پیشنهادی صورت پذیرفته است. وضعیت خشکسالی کشاورزی هر منطقه بر مبنای این شاخص و با استفاده طبقه بندی معرفی شده در جدول ۱

برای مثال در مطالعات (Babaeian et al., 2019) و یا به صورت کامل تر در تمام سطح کره زمین در مطالعات (Grillakis et al., 2021) اعتبارسنجی میان ایستگاه‌های زمینی برداشت رطوبت خاک با اطلاعات سنسور از دور را انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد داده‌های رطوبت خاک سطحی ماهواره SMAP قابلیت استفاده و بکارگیری را داشته و صحت این داده‌های با داده‌های میدانی در منطقه مورد مطالعه قابل قبول می‌باشد. همچنین بکارگیری اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای در خصوص عامل مهمی چون رطوبت خاک سطحی در کشور ما نیز پیش از مطرح بوده است و در تحقیقاتی که انجام شده اندازه‌گیری‌های ماهواره‌ای در مقابل داده‌های زمینی اعتبارسنجی شده است. برای مثال نوقابی و همکاران (2022) با استفاده از نتایج محاسبات ریزمقیاس‌سازی به اعتبارسنجی محصولات سطح ۴ ماهواره SMAP در مقابل ۱۰۳۷ داده زمینی در ۳۲ روز متوالی پرداخته‌اند و نتایج اعتبارسنجی در منطقه واقع در استان ایلام نشان از تایید کارایی داده‌های این ماهواره در کشور داشت. جامعی و همکاران (2020) با در نظر گرفتن اندازه‌گیری‌های میدانی رطوبت خاک در محدوده جنوب غربی کشور توسط داده‌های ۱۰ ایستگاه هواشناسی توانستند محصولات سطح ۲ ماهواره SMOS را اعتبارسنجی کرده و به نتایج قابل قبولی دست یابند. و یا همچنین در مطالعه دیگری اسکویی و همکاران (2022) ضمن بررسی اندازه

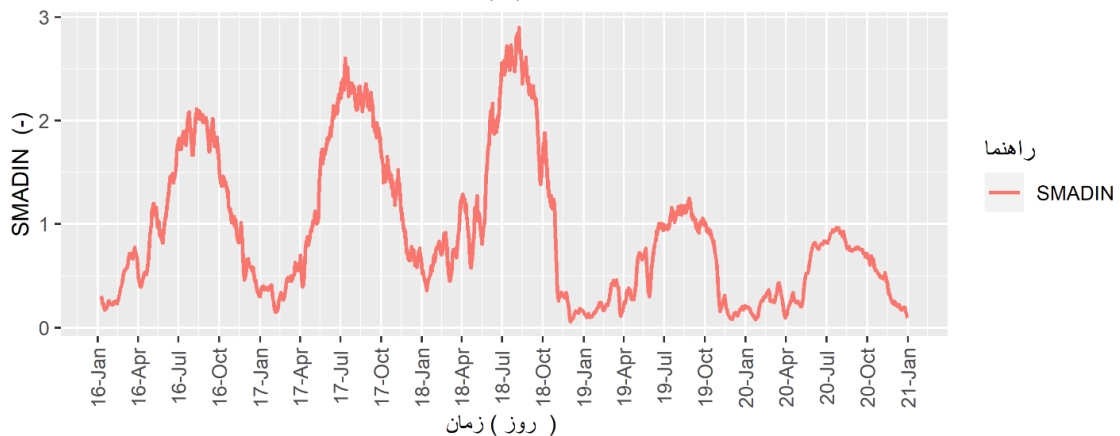
سوزا و همکاران (2021) نیز از این شاخص به عنوان معیار مقایسه کلی عملکرد شاخص خشکسالی بر مبنای رطوبت خاک استفاده کرده اند. در مطالعه حاضر نیز این VHI به همراه SMADI پیشنهادی سانچز و همکاران (2016) جهت مقایسه استفاده خواهند شد. برای این منظور VHI به کمک رابطه ۶ محاسبه شده و در شکل ۵-الف نتایج مقایسه VHI و SMADIN در منطقه با آب و هوای مرطوب و در شکل ۵-ب با آب و هوای خشک ارائه شده است. با توجه به دامنه تغییرات شاخص سلامت پوشش گیاهی VHI (از ۰ تا ۱۰۰) و دامنه تغییرات SMADI از ۰ تا ۴، شکل ۵ با دو محور قایم برای نمایش تغییرات هر یک از این شاخصها ترسیم شده است. به دلیل شرط دوره آماری ۵ ساله داده ها، مطابق رابطه ۵ و ۷ محور افقی حد فاصل سالهای ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱ انتخاب شده است.

قابل بررسی است. نتایج ترسیم شاخص خشکسالی SMADIN و مقایسه آن با جدول ۱ نشان می‌دهد در محدوده زمانی اواخر تیر ۱۳۹۶ برابر ماه جولای ۲۰۱۷، عدد معادل این شاخص مربوط به منطقه خشک بالاتر از ۲ شده است به این معنی که در محدوده اقلیم خشک، خشکسالی متوسط رخ داده است و این پدیده تا حدود دو ماه ادامه داشته است. در حالیکه در همین بازه ی زمانی عدد متناظر با شاخص SMADIN بالاتر از ۱ قرار گرفته، لذا در منطقه ی مرطوب خشکسالی خفیف رخ داده است. به منظور اطمینان از نتایج خشکسالی محاسبه شده از شاخص سلامت پوشش گیاهی و مقایسه آن با SMADIN استفاده گردیده است. این مقایسه قبلاً توسط سانچز و همکاران (2016) از VHI برای مقایسه شاخص خشکسالی پیشنهادی خود استفاده گردیده است. بعلاوه

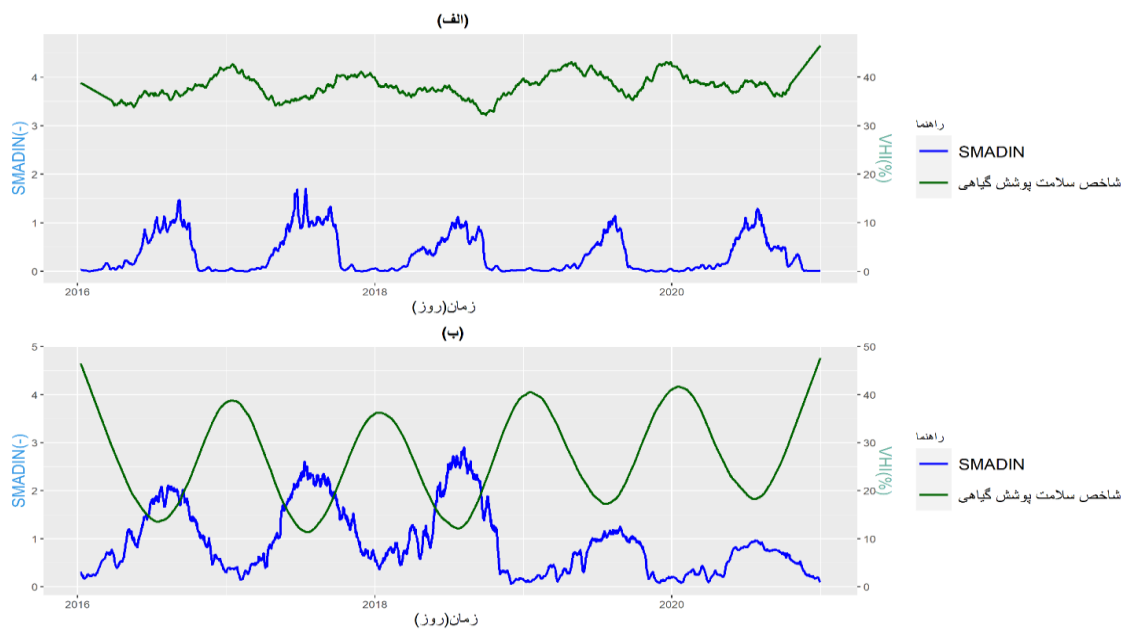
(الف)



(ب)



شکل ۴. شاخص خشکسالی کشاورزی پیشنهادی SMADIN، الف - ناحیه مرطوب و ب- ناحیه خشک



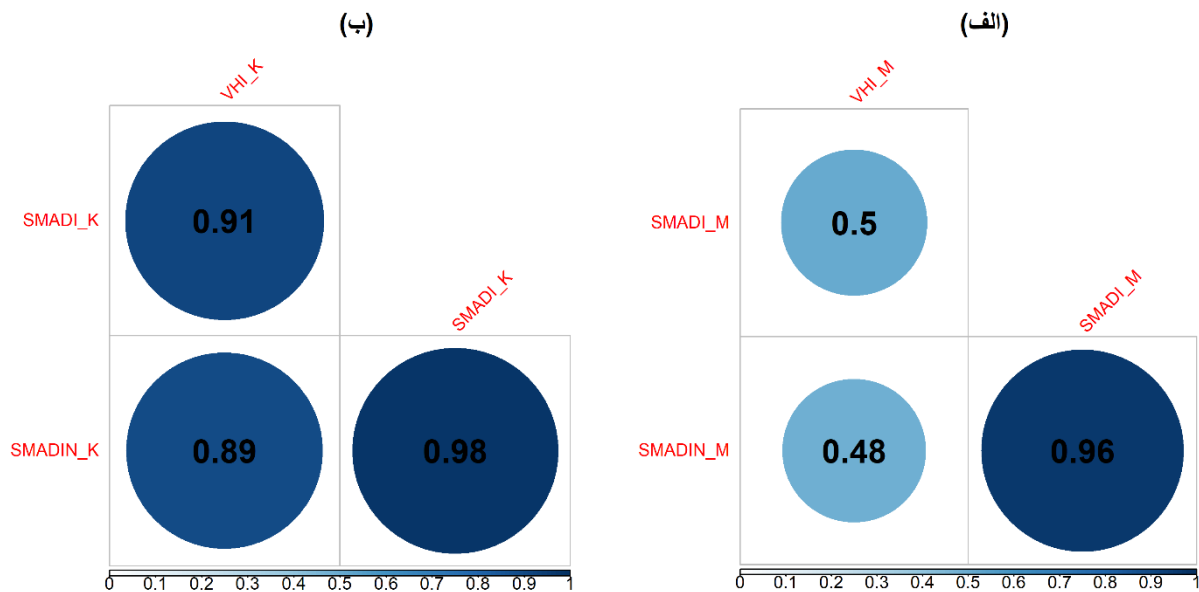
شکل ۵. مقایسه شاخص خشکسالی SMADIN در مقابل شاخص VHI الف- ناحیه مرطوب و ب- ناحیه خشک

نوسانات ناشی از اثرات وجود ابر، سایه، اثرات اتمسفری و مکان یابی هندسه تصویر در لحظه عبور ماهواره، از فیلتر «ساویتزکی-گلولی»^۱ در خصوص رفع نوسانات NDVI استفاده شده است (Savitzky & Golay, 1964). استفاده از فیلتر هموار ساز مشابه در مطالعات پیشین متداول می‌باشد برای مثال سوزا و همکاران ۲۰۲۱ از چنین فیلتری استفاده کرده است. البته به علت وجود همین نوسانات است که در منطقه با شرایط اقلیمی مرطوب بین شاخص خشکسالی و شاخص سلامت پوشش گیاهی همبستگی کمتری دیده می‌شود (شکل ۶ - الف). همانطور که در ماتریس‌های شکل ۶ مشخص شده است شاخص خشکسالی SMADIN با شاخص خشکسالی SMADI در منطقه مرطوب تا میزان ۹۶٪ همبستگی دارد. همچنین مقدار همبستگی این دو شاخص در منطقه خشک ۹۸٪ است. و همچنین بین SMADIN و VHI در منطقه خشک ۸۹٪ همبستگی دیده می‌شود. این موضوع نشان دهنده ارتباط معنی دار بین شاخص خشکسالی کشاورزی پیشنهادی و شاخص‌های SMADI, VHI است.

می‌توان گفت در زمان هایی که مقادیر بر اساس سری زمانی SMADIN افزایش به مقادیر بیشینه خود رسیده است، سلامت پوشش گیاهی بر اساس شاخص VHI به مقادیر کمینه خود رسیده است. همچنین زمانی که خشکسالی بر اساس سری زمانی SMADIN به کمینه‌های خود رسیده است، در همان زمان پوشش گیاهی در بهترین حالت سلامت می‌باشد.

نمایش ماتریس همبستگی می‌تواند روشی مؤثر در نمایش رابطه بین دو سری زمانی باشد این ماتریس همواره به صورت قطری قرینه است و بنابراین می‌تواند کامل یا به صورت بالا مثلثی یا پایین مثلثی نمایش داده شود (Friendly, 2002). شکل (۶) قدر مطلق ماتریس همبستگی سه شاخص SMADI, SMADIN, VHI را نشان می‌دهد. از اندیس M به عنوان نشانه منطقه ی با آب و هوای مرطوب و اندیس K به عنوان نشانه منطقه ی با آب و هوای خشک در قطر اصلی ماتریس همبستگی استفاده شد. این نکته لازم به یاد آوری است که در منطقه ی مرطوب و زمین‌های خیس دقت سنجنده MODIS پایین می‌آید به همین علت می‌توان بیان کرده که شاخص VHI تغییرات زیادی داشته است. به جهت کاهش

¹ Savitzky-Golay



شکل ۶ بررسی ماتریس همبستگی شاخص خشکسالی SMADIN در مقابل VHI و SMADI الف - ناحیه مرطوب و ب - ناحیه خشک

نتیجه گیری

در این مطالعه با هدف تولید یک شاخص خشکسالی کشاورزی تلاش شده با استفاده از داده‌های پایگاه‌های اطلاعاتی موجود، قدم کوچکی در راستای کنترل و پایش خشکسالی برداشته شود. شاخص جدید با روش جایگزینی EVI به جای NDVI و رطوبت خاک ماهواره SMAP به جای SMOS مطابق رابطه (۷) پیشنهاد شد.

حال که بیشتر از ۵ سال از تولید داده‌های رطوبت خاک سطحی توسط SMAP می‌گذرد شاخص‌های خشکسالی را می‌توان تولید کرد. با در نظر گرفتن ماهیت رابطه بیان کننده شاخص خشکسالی SMADI که در واقع ضریبی از رطوبت خاک سطحی نرمال شده را ارائه می‌دهد، انتظار می‌رود که استفاده از این شاخص جدید در طرح‌ها و برنامه ریزی‌های مدیریتی کشاورزی و آبیاری مؤثر باشد. نتایج این تحقیق روی شاخص خشکسالی کشاورزی SMADIN که در واقع به روز شده همان SMADI می‌باشد نشان می‌دهد که، SMADIN می‌تواند قدمی در جهت تدقیق شاخص SMADI باشد و بعنوان گزینه جایگزینی جدیدی در شاخص‌های خشکسالی

کشاورزی مطرح باشد. میزان همبستگی و رفتار این شاخص در برابر پدیده خشکسالی، در مقایسه با شاخص‌های VHI و SMADI، تایید می‌کند که احتمالاً می‌توان با مطالعات بیشتر روی این شاخص و با بهره‌گیری از پایگاه داده‌های به روز به دقت بهتری در کنترل و نظارت بر پدیده خشکسالی دست پیدا کرد. در این تحقیق محدودیت‌هایی از قبیل کمبود ایستگاه اندازه‌گیری رطوبت سطحی به روش میدانی وجود داشت. علاوه بر کم بودن تعداد ایستگاه‌های میدانی مشکل اندازه‌گیری مداوم این مؤلفه در کشور از محدودیت‌های دیگر این پژوهش بوده است. همچنین در حال حاضر ابعاد دقت مکانی ماهواره‌هایی که رطوبت خاک سطحی را اندازه‌گیری می‌کنند و در این تحقیق استفاده شده حدود ۱۰ کیلومتر مربع است. در صورتیکه بتوان در مطالعات آتی با عملیات‌های خاصی همچون آموزش ماشین به افزایش قدرت تفکیک و ریز مقیاس سازی معتبری دست پیدا کرد، محاسبه مجدد SMADIN در پهنه‌های کوچکتری امکان پذیر خواهد بود و در پی این مساله علاوه بر هشدار و کنترل در موضوع خشکسالی، SMADIN می‌تواند در

موضوعات دیگری از جمله ایجاد طرح‌های آبیاری بر مبنای این شاخص به کار برده شود. می‌توان در مطالعات آتی با مطالعه عوامل موثر احتمالی دیگری همچون دمای سطح زمین رابطه‌ی خشکسالی پیشنهادی را بهبود بخشید. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی با استفاده از روش‌های زمین آمار نقشه‌های حرارتی جهت تعیین خشکسالی کشاورزی با شاخص SMADIN ارائه شده انجام گردد. در صورتیکه طول دوره اندازه‌گیری‌ها بیشتر شود تهیه این نقشه‌ها می‌تواند به صورت فصلی یا ماهانه انجام شود. با توجه به در دسترس بودن داده‌های مورد استفاده و تعداد بالای ایستگاه‌های ارائه داده برخط از روش سنجش از دور در تشکیل این شاخص، مطالعات آینده می‌تواند با هدف ایجاد یک درگاه ارائه نقشه‌های خشکسالی برخط انجام شود.

سپاسگزاری

تهیه داده‌های رطوبت خاک میدانی در این مطالعه با همکاری سازمان هواشناسی کشور انجام شده است. بدین وسیله نویسندگان مقاله تشکر و قدردانی خود را نسبت به این سازمان اعلام می‌دارند.

Reference:

- Abbasi, F., Bazgeer, S., Kalehbasti, P. R., Oskoue, E. A., Haghghat, M., & Kalehbasti, P. R. (2022). New climatic zones in Iran: a comparative study of different empirical methods and clustering technique. *Theoretical and Applied Climatology*, 147(1–2), 47–61. <https://doi.org/10.1007/s00704-021-03785-9>
- Ajaz, A., Taghvaeian, S., Khand, K., Gowda, P. H., & Moorhead, J. E. (2019). Development and Evaluation of an Agricultural Drought Index by Harnessing Soil Moisture and Weather Data. *Water*, 11(7), 1375. <https://doi.org/10.3390/w11071375>
- ASTM D2216-19. (2019). Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. *ASTM*, 1–7. <https://www.astm.org/Standards/D2216>
- Babaeian, E., Sadeghi, M., Jones, S. B., Montzka, C., Vereecken, H., & Tuller, M. (2019). Ground, Proximal, and Satellite Remote Sensing of Soil Moisture. In *Reviews of Geophysics* (Vol. 57, Issue 2, pp. 530–616). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1029/2018RG000618>
- Brito, S. S. B., Cunha, A. P. M. A., Cunningham, C. C., Alvalá, R. C., Marengo, J. A., & Carvalho, M. A. (2018). Frequency, duration and severity of drought in the Semiarid Northeast Brazil region. *International Journal of Climatology*, 38(2), 517–529. <https://doi.org/10.1002/joc.5225>
- Campos-Taberner, M., Moreno-Martínez, Á., García-Haro, F., Camps-Valls, G., Robinson, N., Kattge, J., & Running, S. (2018). Global Estimation of Biophysical Variables from Google Earth Engine Platform. *Remote Sensing*, 10(8), 1167. <https://doi.org/10.3390/rs10081167>
- Chan, S., Bindlish, R., Hunt, R., Jackson, T., & Kimball, J. (2013). Soil Moisture Active Passive (SMAP) Ancillary Data Report: Vegetation Water Content. In *SMAP Science Document* (Issue 047). <http://smap.jpl.nasa.gov/science/dataproducts/ATBD/>.
- Entekhabi, D., Njoku, E. G., O'Neill, P. E., Kellogg, K. H., Crow, W. T., Edelstein, W. N., Entin, J. K., Goodman, S. D., Jackson, T. J., Johnson, J., Kimball, J., Piepmeier, J. R., Koster, R. D., Martin, N., McDonald, K. C., Moghaddam, M., Moran, S., Reichle, R., Shi, J. C., ... Van Zyl, J. (2010). The soil moisture active passive (SMAP) mission. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 704–716. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2010.2043918>
- Entekhabi, D., Yueh, Si., O'Neil, P. E., Kellogg, K. H., Allen, A., Bindlish, R., & Administration, N. A. and S. (2014). SMAP Handbook Soil Moisture Active Passive. In *Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology*.
- Friendly, M. (2002). Corrgrams: Exploratory displays for correlation matrices. *American Statistician*, 56(4), 316–324. <https://doi.org/10.1198/000313002533>
- Funk, C., & Shradhanand Shukla. (2020). Drought Early Warning and Forecasting. In *Drought Early Warning and Forecasting*. <https://doi.org/10.1016/c2016-0-04328-0>
- Gesse, A. A., & Melesse, A. M. (2019). Temporal relationships between time series CHIRPS-rainfall estimation and eMODIS-NDVI satellite images in Amhara Region, Ethiopia. *Extreme Hydrology and Climate Variability: Monitoring, Modelling, Adaptation and Mitigation*, 81–92. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815998-9.00008-7>
- González-Zamora, Á., Sánchez, N., Martínez-Fernández, J., & Wagner, W. (2016). Root-zone plant available water estimation using the SMOS-derived soil water index. *Advances in Water Resources*, 96, 339–353. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.08.001>
- Google Earth Engine. (2021). *FAQ – Google Earth Engine*. Google. <https://earthengine.google.com/faq/>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth

- Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Grillakis, M. G., Koutroulis, A. G., Alexakis, D. D., Polykretis, C., & Daliakopoulos, I. N. (2021). Regionalizing Root-Zone Soil Moisture Estimates From ESA CCI Soil Water Index Using Machine Learning and Information on Soil, Vegetation, and Climate. *Water Resources Research*, 57(5), e2020WR029249. <https://doi.org/10.1029/2020WR029249>
- Hao, Z., Hao, F., Singh, V. P., Xia, Y., Ouyang, W., & Shen, X. (2016). A theoretical drought classification method for the multivariate drought index based on distribution properties of standardized drought indices. *Advances in Water Resources*, 92, 240–247. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.04.010>
- Hisdal, H. (2000). Technical Report No . 6 Drought Event Definition. *Assessment of the Regional Impact of Droughts in Europe*, 1(6), 41.
- Huete, A. (1997). A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. *Remote Sensing of Environment*, 59(3), 440–451. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(96\)00112-5](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(96)00112-5)
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. ., Gao, X., & Ferreira, L. . (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83(1–2), 195–213. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00096-2](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00096-2)
- Jamei, M., Baygi, M. M., Oskouei, E. A., & Lopez-Baeza, E. (2020). Validation of the SMOS level 1C brightness temperature and level 2 soil moisture data over the west and southwest of Iran. *Remote Sensing*, 12(17), 1–20. <https://doi.org/10.3390/rs12172819>
- Kalman, R. E. (1960). A new approach to linear filtering and prediction problems. *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 82(1), 35–45. <https://doi.org/10.1115/1.3662552>
- McKee, T. B., Doesken, N. J., & Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17(22), 179–183.
- Michelle Drabik. (2019, March 30). *Proximate Cause of the SMAP Radar Failure*. JPL of NASA. <https://llis.nasa.gov/lesson/27701>
- Mishra, A., Vu, T., Veettil, A. V., & Entekhabi, D. (2017). Drought monitoring with soil moisture active passive (SMAP) measurements. *Journal of Hydrology*, 552, 620–632. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2017.07.033>
- Mladenova, I. E., Bolten, J. D., Crow, W., Sazib, N., & Reynolds, C. (2020). Agricultural Drought Monitoring via the Assimilation of SMAP Soil Moisture Retrievals Into a Global Soil Water Balance Model. *Frontiers in Big Data*, 3(April), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fdata.2020.00010>
- Niazi, Y., Talebi, A., Mokhtari, M. H., & Vazifedoust, M. (2018). Presenting a soil moisture-based drought index derived from Global Land Data Assimilation System (GLDAS-SMDI) in Central Iran. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 27(107), 179–191. <https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2018.33574>
- Nogabni, masood saboori, Rajabi, M., & Oskouei, E. A. (2022). Validation and Downscaling of SMAP Satellite Soil Moisture Data by the SMBDA Method Using Sentinel 1 Radar Products and Ground Data in SalehAbad Region of Ilam. *Iran-Water Resources Research*, 17(4), 144-160[in Persian]. http://www.iwrr.ir/article_144201.html
- Oskouei, E. A., & Jamei, M. (2022). Production of Soil Moisture Maps in Iran from BEC Global Level 3 Products of SMOS Satellite. *Journal of Watershed Management Research*, 12(24), 65-76[in Persian]. <https://jwmr.sanru.ac.ir/article-1-1112-fa.pdf>
- Pablos, M., González-Zamora, Á., Sánchez, N., & Martínez-Fernández, J. (2018). Assessment of SMADI and SWDI agricultural drought indices using remotely sensed root zone soil moisture. *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, 380, 55–66. <https://doi.org/10.5194/piahs-380-55-2018>
- Palmer, W. C. (1965). Meteorological Drought. *U.S. Weather Bureau*, 45, 58. <https://www.ncdc.noaa.gov/temp-and-precip/drought/docs/palmer.pdf>
- Piepmeier, J. R., Focardi, P., Horgan, K. A., Knuble, J., Ehsan, N., Lucey, J., Brambora, C., Brown, P. R., Hoffman, P. J., French, R. T., Mikhaylov, R. L., Kwack, E. Y., Slimko, E. M., Dawson, D. E., Hudson, D., Peng, J., Mohammed, P. N., De Amici, G., Freedman, A. P., ... Njoku, E. G. (2017). SMAP L-Band Microwave Radiometer: Instrument Design and First Year on Orbit. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 55(4), 1954–1966. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2016.2631978>
- Ray, B., & Shaw, R. (2019). Urban Drought Emerging Water Challenges in Asia. In *Disaster Risk Reduction, Methods, Approaches and Practices*, (p. 1 online resource (427 pages)).
- Sánchez, N., González-Zamora, Á., Piles, M., & Martínez-Fernández, J. (2016). A New Soil Moisture Agricultural Drought Index (SMADI) Integrating MODIS and SMOS Products: A Case of Study over the Iberian Peninsula. *Remote Sensing*, 8(4), 287. <https://doi.org/10.3390/rs8040287>
- Savitzky, A., & Golay, M. J. E. (1964). Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627–1639. <https://doi.org/10.1021/ac60214a047>
- Souza, A. G. S. S., Ribeiro Neto, A., & Souza, L. L. de. (2021). Soil moisture-based index for agricultural

- drought assessment: SMADI application in Pernambuco State-Brazil. *Remote Sensing of Environment*, 252, 112124. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.112124>
- Stagge, J. H., Tallaksen, L. M., Gudmundsson, L., Van Loon, A. F., & Stahl, K. (2015). Candidate Distributions for Climatological Drought Indices (SPI and SPEI). *International Journal of Climatology*, 35(13), 4027–4040. <https://doi.org/10.1002/joc.4267>
- Svoboda, M., & Fuchs, B. (2017). *Handbook of Drought Indicators and Indices** (pp. 155–208). <https://doi.org/10.1201/9781315265551-12>
- Teng, W., Rui, H., Strub, R., & Vollmer, B. (2016). Optimal Reorganization of NASA Earth Science Data for Enhanced Accessibility and Usability for the Hydrology Community. In *Journal of the American Water Resources Association* (Vol. 52, Issue 4, pp. 825–835). <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12405>
- Watson, A., Miller, J., Künne, A., & Kralisch, S. (2022). Using soil-moisture drought indices to evaluate key indicators of agricultural drought in semi-arid Mediterranean Southern Africa. *Science of The Total Environment*, 812, 152464. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.152464>
- Zhu, Q., Wang, Y., & Luo, Y. (2021). Improvement of multi-layer soil moisture prediction using support vector machines and ensemble Kalman filter coupled with remote sensing soil moisture datasets over an agriculture dominant basin in China. *Hydrological Processes*, 35(4), 1–22. <https://doi.org/10.1002/hyp.14154>



Print ISSN: 2251-7480
Online ISSN: 2251-7400

Journal of
**Water and Soil
Resources Conservation
(WSRCJ)**

Web site:

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

Email:

iauwsrcj@srbiau.ac.ir
iauwsrcj@gmail.com

**Vol. 12
No. 2 (46)
Winter 2023**

Received:
2022-04-27

Accepted:
2022-07-12

Pages: 97-113

Application of New Agricultural Drought Index Based on Soil Moisture and Modified Vegetation Index Using Remote Sensing Data of SMAP and TERRA

Aliakbar Karamvand¹, Seyed Abbas Hosseini^{*2} and Ahmad Sharafati³

- 1) Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
 - 2) Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
 - 3) Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
- *Corresponding author email: abbas_hoseyni@srbiau.ac.ir

Abstract:

Background and Aim: There are always challenges of spatial and temporal resolution in-situ measurement methods of factors affecting drought phenomena, and the presence of human operators is required. However, due to remote sensing's ability to measure data on the entire surface of the planet with an acceptable spatial and temporal resolution, its use in controlling and observing drought has grown more than ever, and it has become a powerful tool in the hands of experts. In this study, based on two components of surface soil moisture and modified vegetation index (EVI) by applying remote sensing data, a new agricultural drought index named (SMADIN) is proposed.

Method: To achieve the goal of proposing a drought index based on soil moisture, surface soil moisture data from the SMAP satellite of 5 cm depth was used. These data were validated before use against daily field measurements provided by the Iranian Meteorological Organization over a 250-day period. Validation step error was evaluated using the root mean square error method between satellite data and field measurements. Furthermore, the EVI index was calculated using data from the TERRA satellite and the MODIS sensor. Eventually, an analytical method is used to propose a drought index based on soil moisture. In order to compare the performance of this index in different weather conditions, two regions were chosen, one representing a dry climate and the other a wet climate. Then, the correlation matrix was plotted by the Pearson method for SMADIN agricultural drought index versus vegetation health index (VHI) and the results were discussed.

Results: Validation showed that field data measured in land use similar to remote sensing had an average root mean square error of $0.05 \frac{m^3}{m^3}$. The results indicate that the new agricultural drought index correlates up to 96% with VHI in the humid climate and 98% in arid regions. In addition, a 5-year comparison of the new SMADI and VHI time series in the study area demonstrates synchrony in peaks, minimums, increases, and decreases.

Conclusion: An agricultural drought index based on soil moisture is proposed in this study. We believe that, in recent years, when the lifetime of the SMAP satellite data exceeds 7 years, it is possible to use this index in future studies. Considering the possible error of SMAP and TERRA data in providing drought index, it is suggested to use this index in future studies in dry regions such as the central and southern regions of Iran.

Keywords: Agricultural Drought Index; Drought; Soil Moisture; Remote Sensing; Vegetation Drought Index

