

مقایسه رطوبت سطحی خاک ایستگاه سیلاخور استان لرستان با داده‌های ماهواره‌ای

رضوان امینیان پور^۱، عبدالنبی عبده کلاه‌چی^{۲*}، همایون مطیعی^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، آب و مهندسی محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

۲- استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۳- دانشیار، دانشکده عمران، آب و مهندسی محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی

چکیده

هدف این تحقیق برآورد و ارزیابی رطوبت سطحی خاک ایستگاه سیلاخور واقع در لرستان با استفاده از داده‌های مرکز متغیرهای اقلیمی (ECV) می باشد که با استفاده از سنجنده‌های مختلف رطوبت خاک را اندازه گیری می‌کنند. برای مقایسه و اعتبار سنجی داده‌های ماهواره‌ای مرکز ECV با داده‌های واقعی اندازه گیری شده ایستگاه زمینی سیلاخور در دوره زمانی ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۸، از شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی (R)، میانگین خطای مطلق (MAE)، میانگین خطای اربیبی (MBE)، اختلاف ریشه میانگین مربعات (RMSE) استفاده گردید. نتایج ارزیابی خطای اعتبار سنجی‌ها در ایستگاه‌های منتخب مشخص کرد که داده‌های بازیابی شده توسط سنسورهای فعال با داده‌های زمینی در این منطقه همخوانی ندارند اما داده‌های بازیابی شده توسط سنسورهای غیر فعال و داده‌هایی که از ترکیب سنسورهای فعال و غیر فعال به دست آمده‌اند، نتایج قابل قبولی دارند و می توان از این داده‌ها برای تعیین رطوبت سطحی خاک استفاده کرد. ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های غیر فعال و داده‌های ترکیبی به ترتیب ۰.۶۷ و ۰.۵۵ می‌باشد که نسبت به داده‌های فعال نتایج بهتری دارند.

واژه‌های کلیدی: سنجش از دور، رطوبت سطحی خاک، مرکز متغیر های اقلیمی ECV، شاخص‌های خطا

مقدمه

در سال‌های اخیر جهان گرم‌ترین دوره خود را گذرانده است و این گرمایش اثرات شدیدی بر منابع جهان و به‌خصوص آب داشته است. کاهش باران و افزایش دما و افزایش تبخیر در خاورمیانه و ایران از اثرات این گرمایش جهانی می باشد. کاهش رطوبت خاک نیز از عوارض افزایش تبخیر و کاهش بارندگی می باشد (NASA، ۱۹۹۰).

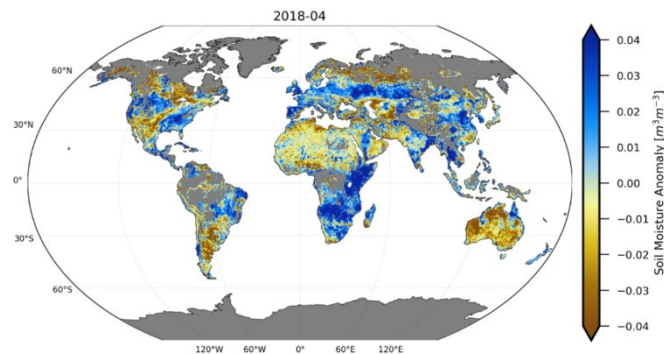
رطوبت سطحی خاک، تقسیم بارش به رواناب و نفوذ را کنترل می‌کند و در نتیجه میزان انباشت آب را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نفوذ مناسب و کافی باعث بالآمدن سطح آزاد آب می‌شود؛ این در حالی است که رواناب باعث خروج آب ارزشمند به مناطق دیگر و همین‌طور تجزیه خاک رویی از طریق فرسایش می‌شود. هم‌چنین هنگامی که خاک اشباع شود، می‌تواند بارش‌های سنگین را به سیل تبدیل کند. بنابراین، رطوبت سطحی خاک برای بهبود کارکرد مدل‌های پیش‌بینی رواناب که هدف آن‌ها در نهایت پیش‌بینی خطر سیل است و یا مدل‌هایی که منابع آب را مدیریت می‌کنند، اهمیت زیادی دارد (Entekhabi، ۱۹۹۹). استفاده از رطوبت سطحی خاک متعاقباً در مدل‌های پیش‌بینی آب و هوا از طریق مدل‌های گردش جهانی بسیار مفید است (Entekhabi، ۱۹۹۶). برای نمونه، نشان داده شده است که در نظر گرفتن رطوبت واقعی خاک به جای استفاده ساده از دمای سطح دریا، پیش‌بینی‌های بارندگی را به ویژه در مواردی که با رویدادهای شدید مواجهیم، به طور قابل توجهی بهبود می‌بخشد (Van den Hurk، ۲۰۱۲). در نهایت، پایش مستمر رطوبت خاک در مقیاس بزرگ و در دوره‌های بلندمدت، بینش قابل توجهی نسبت به تغییرات آب و هوایی ایجاد می‌کند (Srivastava، ۲۰۱۵).

همان‌گونه که بیان شد، رطوبت خاک یکی از مهمترین متغیرهای چرخه هیدرولوژیکی است (Kornelsen، ۲۰۱۵) که نقش کلیدی در کاربری‌های علمی و عملی نظیر مدل سازی هیدرولوژیکی، پیش‌بینی عددی هواشناسی (Zeng، ۲۰۱۵)، پایش وقایع حدی مانند: سیلاب، خشکسالی و جنگل سوزی‌ها (Schalie، ۲۰۱۶)، مطالعات تغییر اقلیم (Leroux، ۲۰۱۴) و مدیریت منابع آب (Pan، ۲۰۱۲) دارد. رطوبت خاک همچنین بر فرآیندهای هیدرولوژیکی و کشاورزی، گسترش خشکسالی و تبادل در اتمسفر بر اقلیم بسیاری از

فرآیندهای دیگر اثر میگذارد. رطوبت خاک منشا تبخیر-تعرق در قاره‌هاست و بر میزان آب موجود در آب و چرخه انرژی اثر میگذارد. (Mason, ۲۰۱۰) به دلایل گفته شده رطوبت خاک در سال ۲۰۱۰ به عنوان یکی از متغیرهای ضروری آب و هوا شناخته شد. رایج‌ترین مفهوم مورد استفاده "مقدار کل آب در منطقه اشباع‌نشده" است و به دلایل علمی اغلب به دو جز تقسیم می‌شود؛ رطوبت سطحی خاک که عموماً متناظر با ۵ سانتی‌متر از روی خاک می‌باشد و رطوبت خاک منطقه ریشه و یا مخزن دوم. رطوبت خاک معمولاً در واحدهای وزنی (g/cm^3) بیان می‌شود که مستقل از خصوصیات خاک (چگالی ظاهری) است. با این حال بیان آن در واحدهای حجمی (m^3/m^3) نیز مرسوم است.

برای رسیدن به اهداف ذکر شده در قسمت قبل، لازم است که به میزان رطوبت خاک دسترسی داشته باشیم. برای تعیین رطوبت خاک در یک نقطه مشخص در زمانی معین، روش نمونه‌برداری وزنی نسبتاً آسان است. با این حال، اندازه‌گیری یک حوزه بزرگ‌تر (مانند یک قطعه زمین)، روند پیچیده‌تری دارد زیرا به روش نمونه‌برداری خاص‌تری نیاز است. علاوه بر این، چون این اندازه‌گیری‌ها وقت‌گیر هستند، تعیین رطوبت خاک در سطح منطقه و حتی جهان جای بحث دارد. با استفاده از جستجوگرهای خودکار (از نوع مقاومتی، خازنی، بازتاب دامنه زمانی (TDR و غیره) میتوان به اطلاعات در محدوده گسترده‌تری دست یافت، اما برای استفاده از این روش‌ها باید سایت‌های مجهز و نیروی کار در اختیار داشت، زیرا نیازمند تعمیر و نگهداری هستند. (Bircher, ۲۰۱۳) در نهایت این سیستم‌ها مشکلات و خطاهای خود را دارند.

مشاهدات صحرایی (مانند به کارگیری جستجوگرها یا اندازه‌گیری به روش وزنی) توزیع مکانی را با دقت نشان نمی‌دهند. چون رطوبت خاک در برابر زمان و مکان بسیار متغیر است و در نتیجه این مشاهدات در سطح منطقه یا جهان کاربرد ندارند. بنابراین، برای پایش رطوبت خاک در مقیاس بزرگ تنها می‌توان بر سنجش از دور که یکی از روش‌های فضایی است، تکیه کرد.



شکل ۱- رطوبت خاک حاصل شده از محصول ترکیبی پایگاه داده ECV در سال ۲۰۱۸

در ایران نیز مانند دیگر مناطق دنیا برای مدلسازی‌های هواشناسی و هیدرولوژیکی و همچنین برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب، وجود داده‌های رطوبت خاک منطقه‌ای ضروری است. این در حالی که است که اندازه‌گیری رطوبت خاک در ایران فقط در تعداد محدودی از ایستگاه‌های سازمان هواشناسی کشور انجام می‌شود و داده‌های ثبت شده نیز به صورت دوره‌های آماری کوتاه‌مدت، ناپیوسته و ناقص وجود دارد. به همین جهت داده‌های حاصل از دورسنجی می‌تواند با صرف کمترین هزینه، نیاز کارشناسان مربوطه را برطرف نماید. در ادامه به اعتبارسنجی داده‌های منتشر شده از پایگاه ECV می‌پردازیم.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایستگاه سیلاخور در استان لرستان در ناحیه جنوب غربی کشور در این تحقیق مورد بررسی واقع گردید.

پایگاه داده ECV

پروژه رطوبت خاک CCI بخشی از برنامه آژانس فضایی اروپا در راستای پایش جهانی متغیرهای ضروری آب و هوا است که بیشتر با

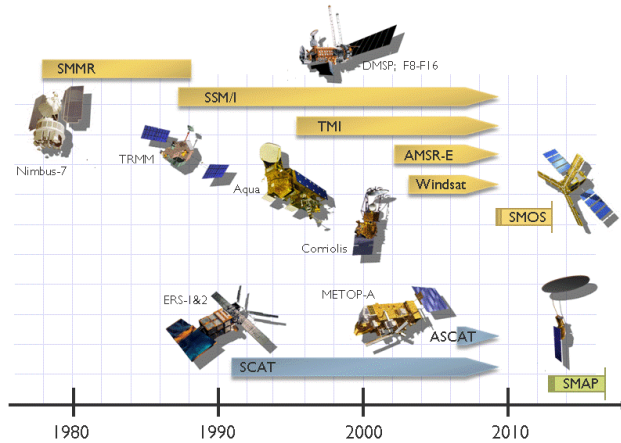
نام "ابتکار تغییر آب و هوا، CCI" است که در سال ۲۰۱۰ آغاز شده است. برنامه CCI قصد دارد به پایگاه‌های جمع‌آوری داده‌های متغیر ضروری آب و هوا ECV و سایر نهادهای بین‌المللی کمک کند؛ به ویژه این پروژه:

- نیازهای انجمن‌های تحقیقاتی در مورد رطوبت خاک را تحلیل و بررسی می‌کند.
- اندازه‌گیری ماهواره‌های رطوبت خاک، برای استفاده در تحقیقات آب و هوا را تنظیم میکند.
- سری زمانی بلندمدت از رطوبت خاک تولید میکند که بر اساس داده‌های فعال، غیرفعال و یا ترکیبی از آنهاست و برای مطالعات تغییر اقلیم مناسب است.

هدف از تعریف این پروژه تولید کاملترین و ثابت‌ترین داده‌های رطوبت خاک بر اساس حسگرهای فعال و غیرفعال است. این پروژه پارامترهای موردنیاز سیستم جهانی رصد آب و هوا GCOS را تامین میکند و از آن طریق با پروژه‌های بلندمدت امکانات کاربردی ماهواره‌ها مثل EUMETSAT و NASA مرکز خدمات‌دهی اطلاعات و علوم زمین مرتبط می‌شود. این پروژه می‌تواند سیستم تولید متغیرهای اساسی آب و هوا را از لحاظ هزینه‌ای بهینه کند.

این پروژه بر اسکترومترهای باند C ماهواره ERS-1 و ERS-2، رادیومترهای چندفرکانسه SMMR, SSM/I, TMI, AMSR-E, Windsat و حسگرهای میکروویو (ماهواره SMOS، SARs، ارتفاع سنج راداری) تمرکز کرده است؛ زیرا این حسگرها برای بازیابی رطوبت خاک بسیار مناسب هستند. باید توجه داشت که هنگامی که سیگنال (به خصوص سیگنال غیرفعال) در مناطقی با پوشش گیاهی متراکم (به طور مثال، جنگل‌های گرمسیری، جنگل‌های برفی)، توپوگرافی پیچیده (مثلا کوهستان)، پوشش یخی (به عنوان مثال، هیمالیا) یا پوشش بخشی گسترده از آب دچار اختلال می‌شود. در شکل ۲ میراث بلندمدت فنآوری قابل مشاهده است.

- 1 Global Climate Observing System
- 2 Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
- 3 Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
- 4 Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission
- 5 Synthetic Aperture Radars



شکل ۲- ماهواره‌ها و سنسورهای فعال و غیر فعال استفاده شده در داده‌های پایگاه ECV

پایگاه داده ECV رطوبت سطحی خاک در جهان را با تفکیک فضایی ۰٫۲۵ درجه (۲۵ کیلومتر) و تفکیک زمانی روزانه در طول ۳۵ سال (از ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۵) فراهم می‌کنند. این داده‌ها عمدتاً رطوبت سطحی خاک (تا عمق ۵ سانتیمتر) را اندازه می‌گیرند. فرمت داده‌ها NETCDF است که برای خواندن آنها می‌توان از سیستم ARCGIS استفاده کرد. آخرین نسخه این داده‌ها نسخه ۷4.4 است که سه گونه داده در اختیار کاربران قرار داده است.

- داده‌های حاصل از سنجنده‌ها و حسگرهای فعال
- داده‌های حاصل از سنجنده‌ها و حسگرهای غیرفعال
- داده‌های ترکیبی (ترکیب داده‌های فعال و غیر فعال)

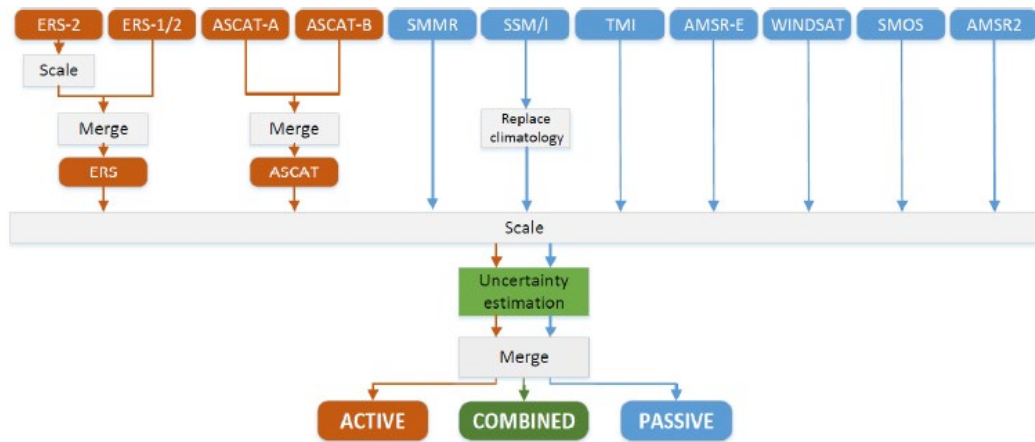
نحوه تکامل داده‌های این پایگاه و الگوریتم ادغام داده‌های گوناگون در مقاله‌ای با همین عنوان به طور کامل بررسی شده است. در شکل ۳ الگوریتم ادغام داده‌ها در این پایگاه داده برای ورژن ۴ قابل مشاهده است (Gruber, ۲۰۱۹).

چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹

چهارمین
کنفرانس ملی
حفاظت خاک و آبخیزداری
با محوریت گرد و غبار



شکل ۳- الگوریتم ادغام چهارمین ورژن داده‌های پایگاه ECV

اعتبارسنجی داده‌های پایگاه ECV با داده‌های زمینی

در این مطالعه داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی در دوره آماری ۲۰۱۶-۲۰۱۸ از سازمان هواشناسی کشاورزی و داده‌های رطوبت خاک اخذ شده از پایگاه داده‌های ECV، دریافت شد.

آماده سازی داده‌های زمینی

برای ارزیابی داده‌های ماهواره‌ای، از اندازه‌گیری‌های مستقیم رطوبت خاک از ایستگاه تحقیقات هواشناسی کشاورزی (سازمان هواشناسی کشور) در محدوده مطالعاتی منتخب استفاده گردید. رطوبت خاک در این ایستگاه در اعماق مختلف ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰، ۱۰۰ سانتیمتری و در مقیاس‌های زمانی هفتگی، روزانه و ساعتی ثبت می‌شوند. باتوجه به این که پایگاه ECV رطوبت خاک را در ۵ سانتیمتری بالای خاک و به صورت روزانه برآورد می‌نماید، جهت ارزیابی فقط از داده‌های ایستگاهی ثبت شده در عمق ۵ سانتیمتری استفاده شد. در روزهای که بارش رخ داده، داده‌های روزانه رطوبت خاک ایستگاه منتخب از داده‌های مورد بررسی حذف گردید. سپس برای ایستگاه یک فایل شامل کلیه داده‌های روزانه رطوبت خاک، تاریخ و زمان اندازه‌گیری و مشخصات مکانی (طول و عرض جغرافیایی) محل برداشت داده، با فرمت واحد به عنوان ورودی‌های اولیه مدل اعتبارسنجی تهیه شد. مشخصات ایستگاه‌های موجود در منطقه جنوب غرب در جدول ۱ آمده است. باید یادآور شد که مختصات داده شده، مختصات ایستگاه هواشناسی کشاورزی است و محل اندازه‌گیری رطوبت خاک نهایتاً ۵۰ متر با ایستگاه فاصله دارد. (محل دقیق برداشت نمونه ثبت نمی‌شود). در ایستگاه‌های هواشناسی داده‌ها با دو روش حجمی و وزنی اندازه‌گیری می‌شوند که با توجه به حجمی بودن داده‌های پایگاه ECV، داده‌های وزنی به حجمی تبدیل شدند.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی کشاورزی در منطقه لرستان

ردیف	نام استان	نام ایستگاه	روش اندازه‌گیری	واحد اندازه‌گیری	چگالی حجمی خاک
۱	لرستان	سیلاخور	خودکار	حجمی	-

همانطور که پیشتر اشاره شد، هدف اولیه این تحقیق، اعتبارسنجی رطوبت خاک در استان لرستان بوده است.

برای ایستگاه سیلاخور از دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۱۸ جهت ارزیابی در تحقیق انتخاب شد، زیرا از پیوستگی بیشتری برخوردار بودند؛ از طرف دیگر داده‌های منتشرشده توسط پایگاه داده‌های ECV نیز برای هر روز موجود نیست. حاصل اشتراک روزهایی که هم در ایستگاه زمینی داده‌برداری صورت گرفته و هم پایگاه داده‌های ECV برای مناطق مورد نیاز ما داده منتشر کرده است در جدول ۲ ارائه شده است. تعداد کم داده‌ها در ایستگاه سیلاخور ناشی از کمبود برداشت‌های زمینی در بازه دو ساله مورد نظر تحقیق است. داده‌های زمینی در ۳ بار در روز اندازه‌گیری شده‌اند (ساعت ۹، ۱۲ و ۱۵) که از میانگین آن‌ها استفاده شده است.

جدول ۲- تعداد روزهای دارای داده در ایستگاه‌های مورد مطالعه

داده‌های ترکیبی	داده‌های غیرفعال	داده‌های فعال
۸۴	۸۸	۱۳۸

شاخص‌های اندازه‌گیری خطاهای اعتبارسنجی

از آنجایی که روند تغییرات بلندمدت رطوبت خاک یکی از مهمترین مسائل علمی در حوزه تغییر اقلیم و هیدرولوژی است (Albergel, 2012) لازم است تا اندازه‌گیری‌های حاصل از دورسنجی بیشترین تطابق را با داده‌های زمینی داشته باشند؛ لذا با شاخص‌های آماری گوناگون به بررسی خطاهای اندازه‌گیری‌های پایگاه ECV پرداخته می‌شود. برای اندازه‌گیری میزان تطابق بین داده‌های پایگاه ECV و مشاهدات زمینی از شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی R، میانگین خطای مطلق MAE، میانگین خطای ارببی MBE، اختلاف ریشه میانگین مربعات RMSE و اختلاف ریشه میانگین مربعات ارببی unRMSE استفاده شد که در جدول ۳ نشان داده شده است (Bai, 2018).

جدول ۳ - مروری بر روابط آماری

شاخص آماری	نام کامل	معادله	توضیحات
R	ضریب همبستگی پیرسون	$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{N}}{\sqrt{\left(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N}\right) \left(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N}\right)}}$	طول و مساوی بردارهایی هم Y و X های برداری المان تعداد N هستند و باشد می
MAE	میانگین خطای مطلق	$\frac{1}{n} \sum_1^n M - O $	شده رطوبت خاک اندازه‌گیری M رطوبت خاک O توسط پایگاه داده و اندازه‌گیری شده توسط ایستگاه زمینی طول سری زمانی است. N و
MBE	میانگین خطای ارببی	$\frac{1}{n} \sum_1^n (M - O)$	مانند بالا
RMSE	اختلاف ریشه میانگین مربعات	$\sqrt{\frac{\sum_1^n (M - O)^2}{n}}$	مانند بالا
unRMSE	اختلاف ریشه میانگین مربعات ارببی	$\sqrt{RMSE^2 - MBE^2}$	مراجعه شود. MBE و RMSE به

نتایج و بحث

به منظور بررسی دقت بازیابی‌های رطوبت خاک پایگاه داده‌های ECV در محدوده‌های مطالعاتی، داده‌های رطوبت خاک این پایگاه و داده‌های زمینی (داده‌های اخذ شده از ایستگاه هواشناسی کشاورزی) با استفاده از شاخص‌های آماری ارزیابی شدند که نتایج آنها در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴- ارزیابی خطای رطوبت خاک پایگاه ECV محصول داده فعال با اندازه گیری‌های رطوبت خاک در ایستگاه هواشناسی

محصول	R	MAE (m^3/m^3)	MBE (m^3/m^3)	RMSD (m^3/m^3)	unRMSD (m^3/m^3)
فعال	-۰,۲۳۵	۱۲,۶۴۸	۱۲,۶۴۸	۱۳,۹۰۳	۵,۷۷۲
غیر فعال	0.667	0.231	0.231	0.238	0.057
ترکیبی	0.545	0.131	0.131	0.137	0.047

بررسی داده‌های فعال: بین داده‌های فعال رطوبت خاک پایگاه ECV و داده‌های زمینی (جدول ۴) همبستگی منفی و نزدیک به صفر است. مطالعات زیادی داده‌های حاصل شده از سنسورهای فعال و غیرفعال را در زمینه‌های مختلف برر سی کرده‌اند. عموماً داده‌های فعال عملکرد بهتری در مناطقی دارند که دارای پوشش گیاهی متراکم هستند (shh30, ۲۰۱۶) نتایج به دست آمده از این تحقیق نیز با مطالعات پیشین همخوانی دارد. میانگین خطای مطلق MAE، میانگین خطای اریبی MBE، اختلاف ریشه میانگین مربعات RMSD و اختلاف ریشه میانگین مربعات اریبی unRMSE برای داده‌های حاصل شده از سنسورهای فعال اعداد بسیار بالایی هستند که نشان می‌دهد در مناطق مورد مطالعه استفاده از داده‌های فعال مناسب نیست.

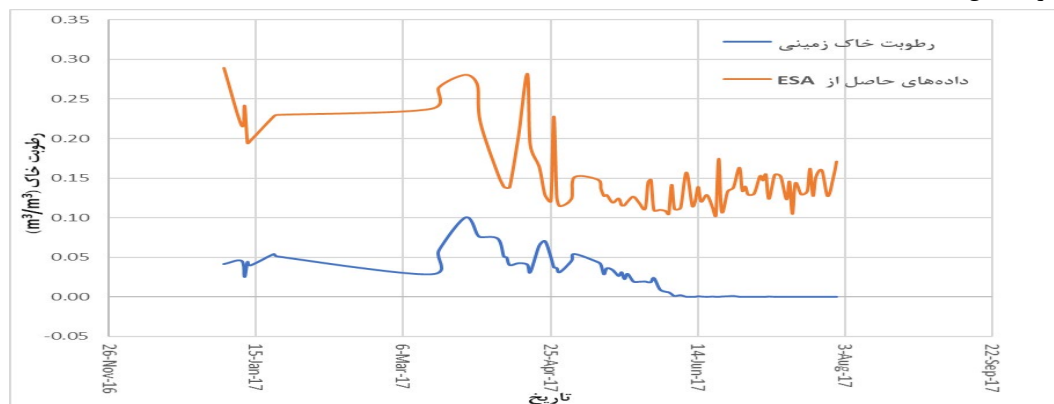
بررسی داده غیرفعال و ترکیبی: داده‌های حاصل از سنسورهای غیرفعال (به اختصار داده غیرفعال) و داده‌هایی که از ترکیب سنسورهای فعال و غیرفعال به دست آمده‌اند نسبت به داده‌های فعال نتایج بهتری دارند.

ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های غیر فعال و داده‌های ترکیبی به ترتیب ۰,۶۷ و ۰,۵۵ می‌باشد که نسبت به داده‌های فعال نتایج بهتری دارند.

میانگین خطای مطلق در داده‌های ترکیبی مقدار کمتری است که بیانگر میانگین خطای مطلق کمتر برای داده‌های ترکیبی است. از این حیث استفاده از داده‌های ترکیبی گزینه مناسبتری به حساب می‌آید.

با مقایسه میانگین خطای اریبی برای داده‌های غیرفعال و ترکیبی به این نکته دست می‌یابیم که داده‌های ترکیبی خطای کمتری داشته‌اند. مثبت بودن مقدار این خطا نشانگر آن است که اندازه‌گیری ماهواره‌ای اعداد بالاتری را نسبت به برداشت زمینی نشان داده است (پایگاه داده ECV رطوبت خاک را بیشتر از مقدار واقعی تخمین زده است). اختلاف ریشه میانگین مربعات و اختلاف ریشه میانگین مربعات اریبی نیز نتایج مشابهی را نشان دادند.

سری زمانی داده‌های ترکیبی و اندازه‌گیری‌های زمینی رطوبت خاک برای ایستگاه سیلاخور لرستان در بازه زمانی ۲ ساله (۲۰۱۶-۲۰۱۸) در نمودار ۱ قابل مشاهده است.



شکل ۴- سری زمانی داده‌های ترکیبی پایگاه ECV و اندازه‌گیری‌های زمینی (ایستگاه سیلاخور)

در ایستگاه سیلاخور مقدار رطوبت خاک ایستگاه زمینی در همه فصول میزان کمتری را نسبت به پایگاه داده‌های ECV را ثبت کرده است. باید به این نکته توجه کرد که اندازه‌گیری‌های زمینی به صورت نقطه‌ای انجام می‌شود و داده‌های پایگاه ECV برای هر پیکسل با طول و عرض ۲۵ کیلومتر یک عدد ثبت می‌کند. بنابراین ممکن است که در پیکسلی که ایستگاه هواشناسی کشاورزی هم در آن قرار گرفته است، به علت بارش باران و یا آبیاری زمین‌های کشاورزی، میزان رطوبت سطحی خاک بالا رود در صورتی که در خود ایستگاه چنین اتفاقی روی نداده باشد.

به طور کلی همانطور که در نمودار به وضوح دیده می‌شود که روند تغییرات رطوبت خاک توسط داده‌های حاصل از پایگاه ECV با اندازه‌گیری‌های زمینی تطابق دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش اعتبارسنجی بازیابی‌های رطوبت خاک توسط پایگاه داده ECV انجام شد. این پایگاه داده ۳ محصول در اختیار کاربران قرار داده است؛ محصولات حاصل از سنسورهای فعال، داده‌های حاصل از سنسورهای غیرفعال و داده‌هایی که از ترکیب هر دو گروه از سنسورها حاصل شده است. هر سه محصول رطوبت خاک را در عمق ۵ سانتیمتری سطح زمین در اختیار کاربران قرار می‌دهد. این پژوهش در بازه دوساله ۲۰۱۶-۲۰۱۸ انجام گرفت و از ایستگاه هواشناسی سیلاخور در استان لرستان استفاده شد.

نتایج ارزیابی خطای اعتبارسنجی‌ها در ایستگاه مشخص کرد که داده‌های بازیابی شده توسط سنسورهای فعال با داده‌های زمینی در این ایستگاه همخوانی ندارند اما داده‌های بازیابی شده توسط سنسورهای غیرفعال و داده‌هایی که از ترکیب سنسورهای فعال و غیرفعال به دست آمده‌اند، نتایج نسبتاً قابل قبولی داشته‌اند که با مقایسه شاخص‌های آماری، داده‌های ترکیبی پایگاه ECV از خطای کمتری برخوردار بودند.

نتایج ارزیابی خطای اعتبارسنجی داده‌های ترکیبی نشان داد که در ایستگاه سیلاخور بازیابی‌های ماهواره‌ای دارای بیش‌برآوردی است. باید توجه داشت که در مباحث منابع آب مقدار دقیق رطوبت خاک برای پژوهشگران در اولویت نیست و آنچه که مهم است روند تغییرات رطوبت خاک است؛ بنابراین با توجه به نتایج ارائه شده داده‌های ترکیبی برای مطالعات مرتبط با منابع آب و تغییر اقلیم بسیار مناسب و قابل اطمینان است و می‌تواند کمبود اندازه‌گیری‌های زمینی در کشور را برای پژوهشگران جبران کند.

منابع

1. Albergel, C.; Dorigo, W.; Balsamo, G.; Muñoz-Sabater, J.; Rosnay, P. D.; Isaksen, L.; Brocca, L.; de Jeu, R.; Wagner, W. Monitoring multi-decadal satellite earth observation of soil moisture products through land surface reanalyses. *Remote Sens. Environ.* 2013, 138, 77–89.
2. Bai W, Gu X, Li S, Tang Y, He Y, Gu X, et al. The performance of multiple model-simulated soil moisture datasets relative to ECV satellite data in China. *Water (Switzerland)*. 2018;10(10):1–27.
3. Bircher, S., Skou, N., Kerr, Y.H., 2013. Validation of SMOS L1C and L2 products and important parameters of the retrieval algorithm in the Skjern River catchment, Western Denmark. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 51, 2969–2985.
4. Entekhabi, D., Asrar, G.R., Betts, A.K., Beven, K.J., Bras, R.L., Duffy, C.J., Dunne, T., Koster, R.D., Lettenmaier, D.P., McLaughlin, D.B., Shuttleworth, W.J., van Genuchten, M.T., Wei, .Y., Wood, E.F., 1999. An agenda for land surface hydrology research and a call for the second international hydrological decade. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 80, 2043–2058.
5. Entekhabi, D., Rodriguez-Iturbe, I., Castelli, F., 1996. Mutual interaction of soil moisture state and atmospheric processes. *J. Hydrol.* 184, 3–17.
6. Gruber, Alexander; Scanlon, Tracy; Schalie, Robin; Wagner, Wolfgang; Dorigo, Wouter 2019. Evolution of the ESA CCI Soil Moisture climate data records and their underlying merging methodology.



چهارمین کنفرانس ملی حفاظت خاک و آبخیزداری با محوریت گرد و غبار

تهران- پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۹



7. Kornelsen K.C., and Coulibaly P. 2015. Reducing multiplicative bias of satellite soil moisture retrievals, *Remote Sensing of Environment*, 165:109-22.
8. Leroux D.J., Kerr Y.H., Al Bitar A., Bindlish R., Jackson T.J., Berthelot B., et al. 2014. Comparison between SMOS, VUA, ASCAT, and ECMWF soil moisture products over four watersheds in U.S., *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(3):1562-71.
9. Mason P., Zillman J., Simmons A., Lindstrom E., Harrison D., Dolman H., et al. 2010. Implementation plan for the global observing system for climate in support of the UNFCCC (2010 Update), Geneva: GOOS-184, GTOS-76, WMOTD/No. 1523, 2010.
10. NASA, 2019. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/145392/warm-weather-brings-mager-melting-to-greenland>
11. Pan M., Sahoo a.K., Wood E.F., Al Bitar A., Leroux D., and Kerr Y.H. 2012. An Initial Assessment of SMOS Derived Soil Moisture over the Continental United States, *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 5(5):1448-57.
12. Schalie R.v.d., Kerr Y.H., Wigneron J.P., Rodríguez-Fernández N.J., Al-Yaari A., and Jeu R.A.M.d. 2016. Global SMOS Soil Moisture Retrievals from The Land Parameter Retrieval Model, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 45:125-34.
13. Srivastava, P.K., Han, D., Rico-Ramirez, M.A., O'Neill, P., Islam, T., Gupta, M., Dai, Q., 2015. Performance evaluation of WRF-Noah Land surface model estimated soil moisture for hydrological application: synergistic evaluation using SMOS retrieved soil moisture. *J. Hydrol.* 529, 200–212.
14. Van den Hurk, B., Doblas-Reyes, F., Balsamo, G., Koster, R.D., Seneviratne, S.I., Camargo, H., 2012. Soil moisture effects on seasonal temperature and precipitation forecast scores in Europe. *Clim. Dyn.* 38, 349–362.
15. Zeng J., Li Z., Chen Q., Bi H., Qiu J., and Zou P. 2015. Evaluation of remotely sensed and reanalysis soil moisture products over the Tibetan Plateau using in-situ observations, *Remote Sensing of Environment*, 163:91-110.