



Assessment of soil moisture using remote sensing ECV Database and its correlation with dust events - South and West of Iran

Homayoun Motiee¹, Abdolnabi Kolahchi², Rezvan Aminian³

1. Department of Water, Wastewater and Environment Department, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: h_motiei@sbu.ac.ir
2. Department of Hydrology and Water Resources Development, Soil Conservation and Watershed Management, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran, Email: nabi.kolachi@gmail.com
3. Department of Water, Wastewater and Environment, Faculty of Civil, Water and Environmental Engineering, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran, Email: r.aminianpour@gmail.com

Article Info	ABSTRACT
<p>Article type: Research Article</p> <p>Article history:</p> <p>Received: Jan. 22, 2022</p> <p>Revised: June. 20, 2022</p> <p>Accepted: July. 30, 2022</p> <p>Published online: Sep. 23, 2022</p> <p>Keywords: <i>Soil moisture,</i> <i>Satellite data,</i> <i>ECV,</i> <i>Dust events,</i> <i>Climate change.</i></p>	<p>Surface soil moisture is a key variable in hydrological, meteorological and environmental studies and one of the important and effective parameters in the occurrence of dust. The purpose of this paper is in two folds, the first to validate the soil moisture of ECV database and the second investigate the effect of soil moisture on occurrence dust. The first purpose of this study was to evaluate the relationship between estimated surface soil moisture of remote sensing ECV databases and observed surface soil moisture of agricultural meteorological stations located in the south and west of Iran in Khuzestan, Ilam, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Lorestan and Chaharmahal-Bakhtiari provinces. For this purpose, statistical indicators such as Pearson correlation coefficient, mean absolute error, mean oblique error and root mean difference of squares were used to validate the data of this database with data measured in meteorological stations of Farkashhar, Sarablah and Silkhor in the south of the country.</p> <p>The results of soil moisture validation at selected stations showed that these data are able to measure the behavior and amount of soil moisture with relatively good accuracy. The best result is obtained at Sarablah station, which shows a very good correlation coefficient (0.82), therefore ECV database data can be used to determine the behavior and amount of soil surface moisture on a large scale to compensate for the lack of terrestrial measurements inside and outside the country. The second purpose of this study is to find the effect and relationship between surface soil moisture in countries located in western Iran on the occurrence of dust in the southern and western provinces. Regarding the relationship between the effect and the amount of surface soil moisture with the occurrence of dust, the results show that the when surface soil moisture decrease, the occurrence of dust in the interior of the same province has increased, but the decrease in soil moisture in foreign countries (western Iran), cause increasing the occurrence of dust in the entire southwestern region and even central of Iran. It was also found that the number of dust events during the cold periods of the year has increased in recent years.</p>

Cite this article: Motiee, H., Kolahchi, A., & Aminian, R. (2022) Assessment of soil moisture using remote sensing ECV Database and its correlation with dust events - South and West of Iran. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53 (7), 1531-1544.

© The Author(s).

Publisher: University of Tehran Press.



DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.336415.669178>

ارزیابی رطوبت خاک با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور پایگاه داده‌های ECV و همبستگی آن با

رویدادهای گرد و غبار - جنوب و غرب ایران

همایون مطیعی^۱، عبدالنبی عبده کلاهی^۲، رضوان امینیان^۳^۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران،ایمیل: h_motiei@sbu.ac.ir^۲. گروه هیدرولوژی و توسعه منابع آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران،ایمیل: nabi.kolachi@gmail.com^۳. گروه مهندسی آب، فاضلاب و محیط‌زیست، دانشکده مهندسی عمران، آب و محیط‌زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران،ایمیل: r.aminiانpour@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۳/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۵/۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۷/۱

واژه‌های کلیدی:

رطوبت خاک،

داده ماهواره‌ای،

پایگاه داده‌ای ECV،

پدیده گرد و غبار،

تغییر اقلیم

رطوبت سطحی خاک یک متغیر اساسی در مطالعات هیدرولوژیکی، هواشناسی و محیط زیست و یکی از پارامترهای مهم و موثر در وقوع گرد و غبار می‌باشد. هدف اول این پژوهش با استفاده از داده‌های سنجش از دور، ارزیابی رطوبت خاک برآورد شده حاصل از پایگاه داده‌های ECV با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی تحت نظارت وزرات کشاورزی واقع در جنوب و غرب ایران در استان‌های خوزستان، ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان و چهارمحال بختیاری می‌باشد. به همین منظور برای اعتبارسنجی داده‌های این پایگاه با داده‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هواشناسی فرخ‌شهر، سرابله و سیلاخور در جنوب کشور، از شاخص‌های آماری نظیر ضریب همبستگی پیرسون، میانگین خطای مطلق، میانگین خطای اریبی و اختلاف ریشه میانگین مربعات استفاده شده است. نتایج اعتبارسنجی رطوبت خاک در ایستگاه‌های منتخب مشخص کرد که این داده‌ها قادر هستند رفتار و مقدار رطوبت خاک را با دقت نسبتاً خوبی اندازه‌گیری کنند. بهترین نتیجه بدست آمده در ایستگاه سرابله بوده که ضریب همبستگی بسیار خوب و معادل ۰/۸۲ را نشان می‌دهد. بنابراین داده‌های پایگاه ECV را میتوان برای تعیین رفتار و مقدار رطوبت سطحی خاک در سطح گسترده استفاده کرد تا کمبود اندازه‌گیری‌های زمینی در کشور را جبران کنند. هدف دوم این پژوهش پیدا کردن تاثیر و ارتباط میزان رطوبت سطحی خاک در کشورهای واقع در غرب ایران بر تعداد وقوع گرد و غبار در استان‌های جنوبی و غربی می‌باشد. در مورد ارتباط تاثیر و ارتباط میزان رطوبت خاک با وقوع گرد و غبار نتایج نشان می‌دهد کاهش رطوبت خاک باعث افزایش وقوع گرد و غبار در کانون‌های داخلی همان استان شده ولی کاهش رطوبت سطحی خاک در کانون‌های خارجی (کشورهای غرب ایران) باعث افزایش وقوع گرد و غبار در کل منطقه جنوب غرب و حتی مرکز ایران می‌شود. همچنین مشخص شد که تعداد رخداد پدیده گرد و غبار طی دوره‌های سرد سال در سال‌های اخیر افزایش یافته است.

استناد: مطیعی، همایون؛ عبده کلاهی، عبدالنبی؛ امینیان، رضوان (۱۴۰۱). ارزیابی رطوبت خاک با استفاده از داده‌های سنجش از راه دور پایگاه داده‌های ECV و همبستگی

آن با رویدادهای گرد و غبار - جنوب و غرب ایران. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۵۳ (۷)، ۱۵۴۴-۱۵۳۱.DOI: <http://doi.org/10.22059/ijswr.2022.336415.669178>

© نویسندگان.

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

مقدمه

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی از یک نظریه در دهه‌های گذشته به یک واقعیت تبدیل گشته و گزارش هیئت بین‌المللی تغییر اقلیم (IPCC)^۱ و سازمان هواشناسی جهانی نشان می‌دهد که در ۴ سال اخیر، جهان گرم‌ترین دوره خود را گذرانده است و این گرمایش اثرات شدیدی بر منابع جهان و بخصوص آب داشته است. برنامه محیط زیست سازمان ملل (UNEP)^۲ در گزارشی به علل وقوع خشکسالی و در پی آن وقوع پدیده گرد و غبار در منطقه جنوب غرب ایران و کشورهای همسایه هم چون عراق پرداخته است؛ در این گزارش کاهش بارش، افزایش دما و افزایش تبخیر در خاورمیانه و در نتیجه کاهش رطوبت سطحی و زیرسطحی و همچنین از بین رفتن پوشش‌های گیاهی و توسعه پهنه‌های رسوبی و ریزدانه در این مناطق از مهم‌ترین علل تشدید پدیده گرد و غبار شناخته شده‌است (Mason et al., 2010).

پژوهش‌های متعددی پیرامون وقوع پدیده گرد و غبار در مناطق مختلف جهان صورت گرفته است. در بسیاری از موارد رطوبت خاک، بافت خاک، پوشش گیاهی اثر فرسایش، سرعت باد بر پدیده گرد و غبار بررسی شده است. (Parajuli et al., 2011).

تحقیقات متعددی در جهان برای بررسی ارتباط رطوبت خاک با رخداد‌های گرد و غبار با استفاده از داده‌های ماهواره‌ها و سنجش از راه دور انجام شده است. عملکرد چند پایگاه داده مدل‌های شبیه‌ساز رطوبت خاک نسبت به داده‌های پایه آب و هوایی (ECV)^۳ در چین با داده‌های ISIMIP، CMIP5 و GLDAS توسط (Bai et al., 2018) مقایسه شد و نتایج نشان داد که کلیه مجموعه داده‌های رطوبت خاک در خاک خشک و تر نتایج همسانی دارند. در یک تحقیق دیگر توسط (Dorigo et al., 2017) این نتیجه بدست آمد که در فصل تابستان پایگاه داده‌ای ECV دقیق‌ترین عملکرد را در جنوب چین به نسبت شاخص NDVI داشته است و مقایسه داده‌های پایگاه ECV-CCI-SM و مدل LSM نشان داد که به طور کلی ESA-CCI-SM به خوبی با داده‌های ایستگاه‌های زمینی و الگوهای مکانی و زمانی حاصل از مدل‌های سطح زمین (LSM) هماهنگ است، با این وجود در شرایط خاص (به عنوان مثال پوشش گیاهی متراکم، خاک‌های ارگانیک) هنوز عدم قطعیت‌های زیادی وجود دارد. بررسی ارزیابی محصولات رطوبت خاک چند ماهواره‌ای و داده‌های حاصل از مدل شبیه ساز سطح زمین در چین به مدت ۲۰ سال (۲۰۱۲-۱۹۹۳)، در بیش از ۳۰۰ ایستگاه اندازه‌گیری نشان داد که نتایج مرتبط با پایگاه داده‌ای ESA-CCI-SM با مشاهدات زمینی سازگار هستند (Jia et al., 2015). در یک تحقیق دیگر اعتبارسنجی و آنالیز روند رطوبت خاک توسط پایگاه ECV-CCI-SM در زمین‌های زراعی در شمال چین در دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۱ بررسی شد و ارزیابی داده‌های این پایگاه با استفاده از مقدار رطوبت خاک در ۲۲۸ ایستگاه در زمین‌های زراعی چین و در فصل رشد محصول نشان داد که پایگاه داده‌ای ECV-CCI-SM برای آنالیز روند رطوبت خاک در دشت شمالی چین مناسب است، و ارزیابی‌ها و آنالیزهای صورت گرفته به اعتبار و تقویت پایگاه داده ECV-SM کمک کرده است (Wang et al., 2016). باید توجه داشت که در مباحث تغییر اقلیم تعیین مقدار دقیق رطوبت خاک برای پژوهشگران در اولویت نیست و آنچه که مهم است روند تغییرات رطوبت خاک است؛ بنابراین داده‌های ترکیبی برای مطالعات مرتبط با تغییر اقلیم بسیار مناسب و قابل اطمینان است و می‌تواند کمبود اندازه‌گیری‌های زمینی در کشور را برای پژوهشگران جبران کند. (Pratola et al., 2015)

در ایران در طی دو دهه اخیر، وقوع گرد و غبار در جنوب و غرب ایران که تا نواحی مرکزی کشور نیز توسعه یافته شدت رشد افزایشی داشته و حتی این پدیده در طی دو ماه اول سال ۱۴۰۱ به طور مکرر روی داده است. افزایش خشکی منطقه ناشی از کاهش رطوبت هم به عوامل ناشی از تغییر اقلیم و هم عوامل انسانی نقش دارند. عوامل ناشی از تغییر اقلیم شامل کاهش بارش، افزایش دمای منطقه و به تبع آن افزایش تبخیر از خاک و پوشش گیاهی مرتبط است. عوامل انسانی نیز شامل سد سازی و کاهش ورود آبهای سطحی رودخانه‌ها به تالاب‌ها و بدنه‌های آبی منطقه، افزایش مصرف آبهای سطحی و زیرزمینی منطقه به دلیل افزایش جمعیت و رشد اقتصادی، وقوع جنگ‌های منطقه ای و بهم خوردن بافت خاک می‌باشد. بعنوان مثال از جمله می‌توان به نقش سد سازی‌های ترکیه و کاهش دبی رودخانه‌های دجله و فرات و کاهش رطوبت در کشورهای سوریه و عراق که این دو رودخانه از آنها عبور می‌کنند و همچنین به کاهش تالاب بزرگ هور العظیم در مرز ایران و عراق اشاره کرد. کاهش حجم آب رودخانه دجله و همچنین کاهش دبی رودخانه کرخه به دلیل خشکسالی و محدودیت خروج دبی از سد کرخه، باعث کاهش حجم آب این تالاب بزرگ شده و در نتیجه با کاهش رطوبت افزایش ریزگردها را در داخل به دنبال دارد. با این وجود بر اساس مطالعات و بررسی‌های سازمان محیط زیست و وزارت نیرو، بیشترین منشا بروز



طوفان‌های گردوغبار ایران، خارجی بوده که از کشورهای سوریه، عراق و عربستان ناشی می‌شود. در ایران تحقیقات متعددی در باره علل این رویداد و راهکارهای کاهش با این پدیده انجام شده که به تعدادی از آنان اشاره می‌شود: در بررسی تغییرات دمای سطح زمین با کاربری اراضی بر اساس تصاویر لندست ۸ در دوره ۲۰۲۰-۲۰۱۷، روند افزایش پوشش گیاهی زمین و همچنین بارش‌های این دوره در منطقه جنوب خوزستان، تاثیر مثبتی بر دمای منطقه داشته و بر روی کاهش گرد و غبار در منطقه نیز تاثیر داشته است (Ansari and Nourozi, 2021). در رابطه با نقش رطوبت در شکل‌گیری مناطق تولید گرد و غبار در استان اصفهان، نتیجه‌گیری شد که که مناطقی از استان که دارای کمترین رطوبت و از لحاظ خاکشناسی دارای حساسیت بالا نسبت به فرسایش بادی هستند می‌توانند به عنوان کانون‌های پتانسیل‌دار تولید گرد و خاک معرفی شوند. (Abedi and Jafari, 2016). برای اعتبارسنجی کانون‌های گرد و غبار در استان البرز با استفاده از داده‌های ماهواره ای سنجنده TRMM این نتیجه بدست آمد که سری‌های زمانی داده‌های سنجش از دور در اعتبارسنجی کانون‌های شناسایی شده تولید ریزگرد دارای قابلیت بالایی می‌باشند (Raigani and Kheirandish, 2016).

لازم به توضیح است که سرعت باد سطحی و رطوبت خاک عوامل اولیه‌ای هستند که تغییرات چند ساله را در فراوانی بروز گرد و خاک بوجود می‌آورند. اثر باد و جریان‌های جوی در تحقیقاتی مورد بررسی قرار گرفته (Azizi et al., 2012; Mohamadi et al., 2019; Noroozi and Shoaie, 2018) که نهایتاً منجر به شناخت کانون‌های گرد و غبار وارد شده به ایران شده است. اما اثر رطوبت خاک به هنگام وزش باد و وقوع طوفان‌های گرد و غباری با استفاده از داده‌های ماهواره ای نیاز به تحقیقات بیشتر دارد. تغییرات رطوبت خاک و تبخیر-تعرق آن به طور مستقیم در یکپارچه‌سازی ذرات خاک و به طور غیر مستقیم با تنظیم دمای سطح زمین و پوشش گیاهی در ایجاد مناطق منشأ تولید گرد و غبار مؤثر می‌باشد طبیعتاً هر چه رطوبت خاک کمتر شود خاک خشک بیشتر برای ایجاد گرد و غبار آمادگی پیدا می‌کند.

هدف پژوهش انجام شده ارائه شده در این مقاله، بررسی ارتباط بین تغییرات رطوبت خاک و رخداد گرد و غبار در ناحیه جنوب غرب ایران است. منطقه جنوب غرب به علت رویدادهای بیشتر گرد و غبار با ماندگاری بالاتر نسبت به سایر مناطق کشور از اهمیت بیشتری برخوردار است. روش تحقیق از نوع توصیفی-تحلیلی مبتنی بر روش‌های کتابخانه‌ای و تحقیقی عملیاتی است و از داده‌های پایگاه ECV و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی منطقه استفاده گردیده است. علیرغم اینکه وقوع پدیده‌های گرد و غبار ارتباط مستقیمی با باد و شدت آن دارند و بایستی این متغیر نیز در تحقیق مورد بررسی قرار گیرد، در فاز اول تحقیق که این مقاله از آن مستخرج شده است هدف آن بوده که چگونه از داده‌های پایگاه ECV برای بدست آوردن رطوبت خاک که رابطه مستقیمی با ریزگردها دارد استفاده شود. بنابراین نوآوری تحقیق این است که تاکنون در ایران داده‌های پایگاه ECV برای بازیابی رطوبت سطحی خاک اعتبارسنجی نشده است و تلاش شده که ارتباط رطوبت سطحی خاک با وقوع پدیده گرد و غبار در بازه‌های طولانی مدت که اثرات تغییر اقلیم را نیز نشان می‌دهد، مورد بررسی قرار گیرد. همچنین برای بررسی اثر باد و شدت آن می‌توان از مدل سازی‌هایی نظیر شبکه عصبی استفاده گردد که هدف اصلی این تحقیق نبوده است.

باوجود اهمیت زیاد رطوبت خاک در مطالعات اقلیمی و هیدرولوژیکی، به دلیل دشواری در اندازه‌گیری‌های پیوسته آن از نظر مکانی و زمانی و پرهزینه و وقت‌گیر بودن اندازه‌گیری‌های میدانی با روش مستقیم از این پارامتر بندرت در مطالعات هیدرولوژیکی استفاده شده است. از طرف دیگر تعداد اندکی از ایستگاه‌های هواشناسی رطوبت سطحی خاک را اندازه‌گیری می‌کنند. به علت هزینه بالا، فقط ۳ ایستگاه داده‌های رطوبت خاک (فرخ‌شهر، سیلاخور و سرابله) را ۵ استان جنوب و غرب ایران اندازه‌گیری می‌کنند. در نتیجه به منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی رطوبت سطحی خاک در منطقه وسیع جنوب و غرب ایران لازم است از داده‌های سنجش از دور رطوبت خاک مانند ECV استفاده کرد.

چنانچه بتوان ارتباطی بین داده‌های رستری ماهواره و رطوبت خاک برقرار نمود، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای، این امکان را ایجاد خواهد کرد که تخمین و رفتار رطوبت خاک در سطح گسترده، اقتصادی و سریعتر شود. از این رو در تحقیق حاضر سعی بر این شده است با استفاده از آزمون‌های آماری دقت داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و پایگاه داده‌ها در مقابل داده‌های ثبت‌شده ایستگاه‌های مورد نظر به منظور استفاده در مطالعات اقلیمی و سایر مطالعات مرتبط بررسی و تجزیه و تحلیل شود. به منظور دست‌یافتن به

این هدف پژوهشی که یافتن ارتباط پدیده گرد و غبار و رطوبت سطحی خاک است سوالات زیر مطرح شده اند: (۱) آیا داده‌های رطوبت خاک حاصل از پایگاه داده‌ای ECV در مقابل داده‌های مشاهده‌ای از دقت کافی برخوردار است؟ (۲) تغییرات رطوبت خاک در مناطق منشاء بیرون از غرب ایران با گردو غبارهای ورودی به جنوب غرب ایران دارای چه همبستگی هستند؟

مواد و روش‌ها

پایگاه داده ECV

پروژه ابتکار عمل رطوبت خاک CCI-SM^۱ بخشی از برنامه آژانس فضایی اروپا در راستای پایش جهانی متغیرهای ضروری آب و هوا است که قبلاً با نام "ابتکار تغییر آب و هوا" (به اختصار CCI) نامیده شده و از سال ۲۰۱۰ آغاز شده است. این برنامه سری زمانی بلندمدت برای رطوبت خاک از طریق داده‌های ماهواره‌ها و همچنین شبیه‌سازی با مدل‌های رطوبت خاک تولید می‌کند و برای مطالعات تغییر اقلیم مناسب هستند. هدف پروژه CCI-SM تولید کامل‌ترین و ثابت‌ترین داده‌های رطوبت خاک بر اساس سنجنده‌های فعال^۲ و غیرفعال^۳ است. سنجنده‌های غیر فعال سنجنده‌هایی هستند که امواج خود را از انعکاس نور خورشید می‌گیرند و سنجنده‌های فعال سنجنده‌هایی هستند که امواج خود را از غیر خورشید نظیر رادارها می‌گیرند. این پروژه پارامترهای موردنیاز سیستم جهانی رصد آب و هوا^۴ (GCOS) را تامین کرده و از آن طریق با پروژه‌های بلندمدت EUMETSAT (امکانات کاربردی ماهواره‌ها) و ناسا (NASA) (مرکز خدمات‌دهی اطلاعات و علوم زمین^۵) مرتبط می‌شود. این پروژه بر اسکترومترهای باند C (ERS-1/2 scatterometer, METOP Advanced)، رادیومترهای چندفرکانسه (SMMR, SSM/I, TMI, AMSR-E, Windsat) و حسگرهای میکروویو (ماهواره^۶ SMOSSARS) و ارتفاع‌سنج راداری تمرکز کرده است؛ زیرا این حسگرها برای بازیابی رطوبت خاک بسیار مناسب هستند.

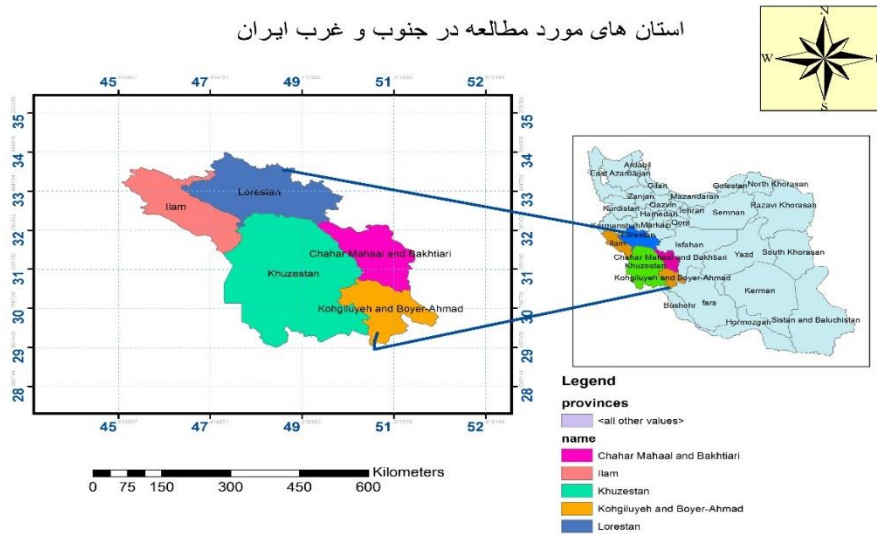
پایگاه داده ECV رطوبت سطحی خاک در جهان را با تفکیک مکانی ۰/۲۵ درجه و تفکیک زمانی روزانه در طول ۳۵ سال (از ۱۹۷۸ تا ۲۰۱۵) برای پروژه CCI-SM فراهم می‌کند. این داده‌ها عمدتاً رطوبت سطحی خاک (تا عمق ۵ سانتی‌متر) را اندازه می‌گیرند. داده‌ها به سه حالت در اختیار کاربران قرار داده می‌شود: داده‌های حاصل از سنجنده‌ها و حسگرهای فعال، داده‌های حاصل از سنجنده‌ها و حسگرهای غیرفعال و داده‌های ترکیبی (ترکیب داده‌های فعال و غیر فعال). فرمت داده‌ها NetCDF است که برای ذخیره داده‌های چند بعدی استفاده می‌شود و سپس برای تبدیل آن‌ها به لایه‌های شکلی (شیپ) از برنامه تبدیل به لایه در ARCGIS استفاده می‌شود.

منطقه مورد مطالعه

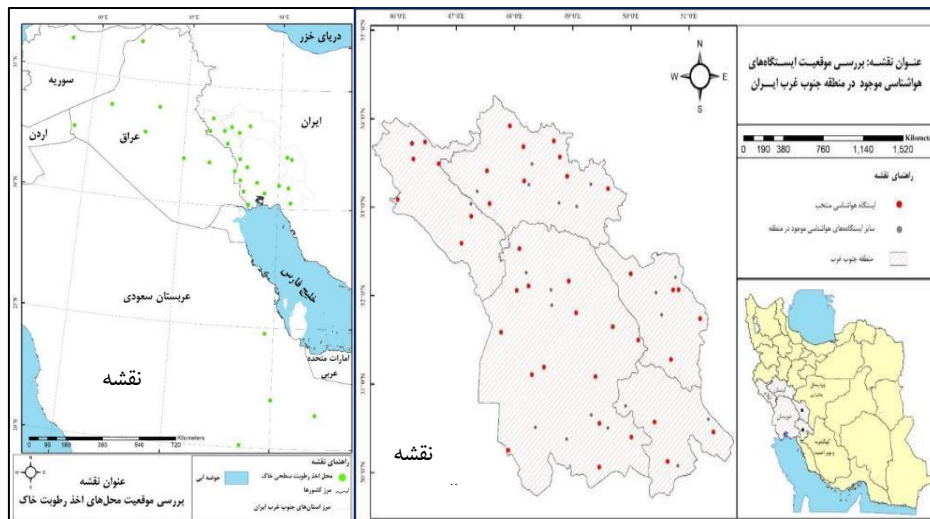
منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، پنج استان خوزستان، ایلام، کهگیلویه و بویر احمد، لرستان و چهارمحال بختیاری در جنوب غرب ایران بوده که در دو دهه اخیر شاهد رویدادهای گرد و غبار بسیار شدید بوده است. شکل ۱ جانمایی منطقه مورد مطالعه و را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن کانون‌های خارجی بروز گرد و غبار و مناطق مستعد داخلی، نقاطی به عنوان ایستگاه‌های اخذ رطوبت سطحی خاک در نظر گرفته شد.

شکل ۲- نقشه الف موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه جنوب غرب ایران و شکل ۲- نقشه ب ایستگاه‌های موجود در کشورهای همسایه را نشان می‌دهد. داده‌های هواشناسی گرد و غبار به صورت سینوپتیک سه ساعته موجود هستند که از طریق سازمان هواشناسی کشور، (www.data.irimo.ir) در هر ایستگاه تهیه گردیدند.

1. Climate Change Initiative Soil Moisture
2. Active sensor
3. Passive Sensor
4. Global Climate Observing System
5. Goddard Earth Sciences Data and Information Services Center
6. Soil Moisture and Ocean Salinity (SMOS) mission



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان های مورد مطالعه



شکل ۲- موقعیت ایستگاه های هواشناسی در داخل و خارج ایران

شاخص های خطا

برای اندازه گیری میزان خطای بین داده های پایگاه ECV در پروژه CCI-SM و مشاهدات زمینی از شاخص هایی نظیر ضریب همبستگی پیرسون (R)، میانگین خطای مطلق (MAE)، خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) و خطای جذر میانگین مربعات اریبی (unRMSE) استفاده گردید (Albergel *et al.*, 2013; Jing *et al.*, 2018). در روابط ۱ تا ۴، مقدار پارامتر (رطوبت) در پیکسل داده ماهواره ای، Y_i مقدار پارامتر (رطوبت) در ایستگاه اندازه گیری، \bar{O} و \bar{Y} مقدار متوسط و n تعداد پارامترها می باشند. برای ضریب همبستگی مقدار آن بین -۱ تا +۱ بوده که هر چقدر به +۱ نزدیکتر باشد همبستگی شدید و هم جهت بین دو متغیر وجود دارد. در مورد ضرایب دیگر هر چقدر این ضرایب در مقایسه با مقادیر آنان کمتر و به سمت صفر میل کنند نشان دهنده کمتر بودن خطاست.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(O_i - \bar{O})(Y_i - \bar{Y})]}{\sqrt{[\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2]} \sqrt{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]}} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - Y_i)^2 / n} \quad \text{(رابطه ۲)}$$

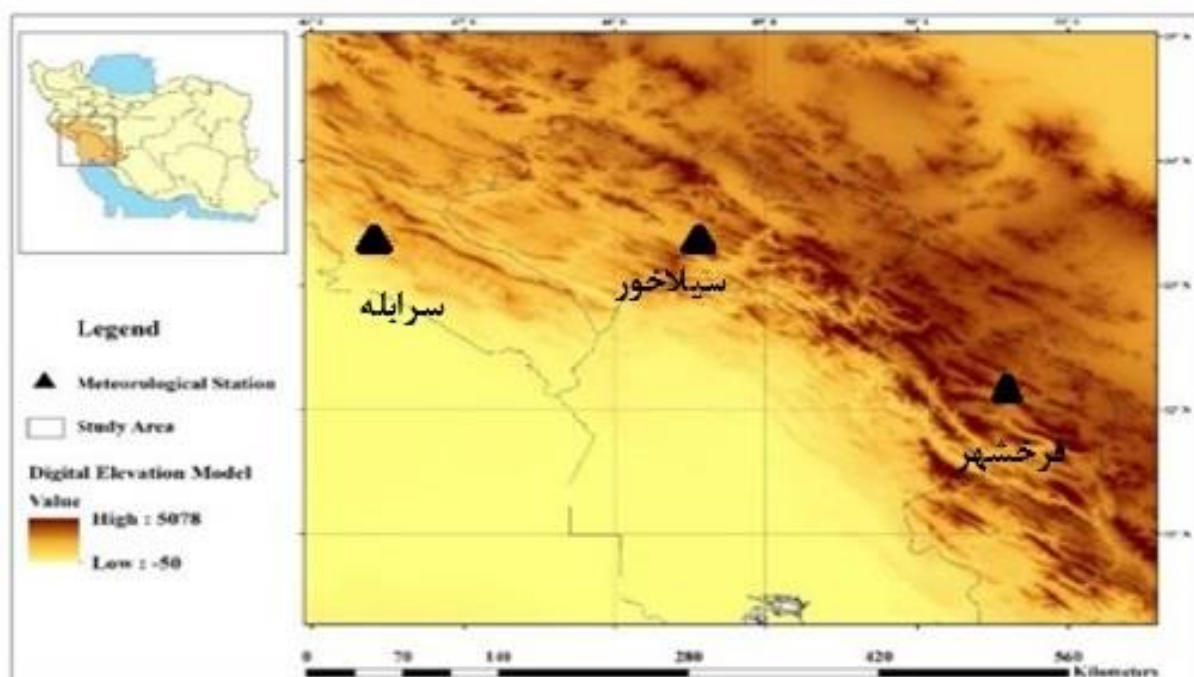
$$\text{ubRMSD} = \frac{\sum_{i=1}^n [(O_i - \bar{O})(Y_i - \bar{Y})]^2}{n} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$\text{MAE} = \frac{\sum_{i=1}^n |O_i - Y_i|}{n} \quad \text{رابطه ۴}$$

نتایج و بحث

اعتبارسنجی داده‌های پایگاه ECV

ابتدا به منظور اطمینان از دقت داده‌های ماهواره ای در محدوده مطالعاتی برای اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک، مقادیر رطوبت خاک پایگاه داده‌ای ECV، با داده‌های رطوبت خاک داده‌های زمینی در سه ایستگاه فرخ‌شهر، سرابله و سیلاخور وابسته به وزارت کشاورزی (شکل ۳)، مورد مقایسه قرار گرفتند. هدف از اعتبارسنجی این بوده که با توجه به نبود تعداد ایستگاه‌های زمینی لازم در منطقه جنوب غرب آيا می‌توان از داده‌های این پایگاه برای استخراج رطوبت سطح خاک در مناطقی که ایستگاه‌های زمینی وجود ندارد استفاده کرد؟ در نتیجه چنانچه ضریب همبستگی به دست آمده متناسب با سطح انتظار کاربر باشد با استفاده از روابط خطی به دست آمده، مقدار رطوبت خاک در هر نقطه دلخواه قابل تخمین خواهد بود.



شکل ۳- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی منتخب فرخ‌شهر، سرابله و سیلاخور

شاخص‌های آماری در جدول‌های ۱، ۲ و ۳ نشان می‌دهند که داده‌های ماهواره‌ای داده‌های ترکیبی (فعال و غیر فعال) نتایج بهتری نسبت به نتایج حاصل از سنسور فعال (راداری) و غیر فعال (طیفی) دارند. نتایج این تحقیق با مطالعات محققین دیگر همخوانی دارد و لازم به تذکر است که عموماً داده‌های فعال عملکرد بهتر در مناطقی دارند که دارای پوشش گیاهی متراکم هستند (Taylor et al., 2012). ضریب همبستگی پیرسون برای داده‌های ترکیبی از ۰/۵۷ تا ۰/۸۲ متغیر است و بهترین نتیجه در ایستگاه سرابله حاصل شده است که ضریب همبستگی بسیار خوب و معادل ۰/۸۲ است. در سری داده‌های غیرفعال نیز ضریب همبستگی بین ۰/۵۵ تا ۰/۷۷ تغییر می‌کند که اندکی پایین‌تر از داده‌های ترکیبی است. بهترین نتیجه باز هم در ایستگاه سرابله حاصل شده است.

جدول ۱- ارزیابی خطای رطوبت خاک پایگاه ECV (محصول داده فعال) با اندازه گیری های رطوبت خاک در ایستگاه های هواشناسی

نام ایستگاه	R	MAE(m3/m3)	MBE(m3/m3)	RMSD(m3/m3)	unRMSD(m3/m3)
فرخشهر	۰/۰۳۷	۱۰/۴۵	۱۰/۴۵	۱۴/۳	۹/۷۵
سرابله	-۰/۲۳۵	۱۰/۴۶	۱۰/۶۲	۱۴/۲	۹/۵
سیلاخور	-۰/۲۱	۱۱/۶۶	۱۲/۶۴	۱۲/۹	۶/۶۵

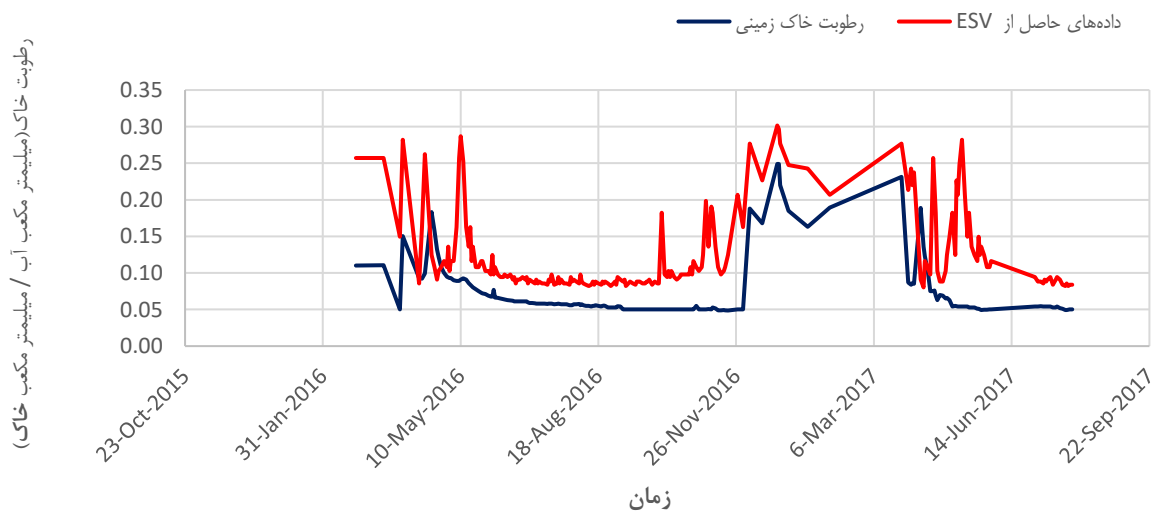
جدول ۲- ارزیابی خطای رطوبت خاک پایگاه ECV (محصول داده غیر فعال) با اندازه گیری های رطوبت خاک در ایستگاه های هواشناسی

نام ایستگاه	R	MAE (m ³ /m ³)	MBE (m ³ /m ³)	RMSD (m ³ /m ³)	unRMSD (m ³ /m ³)
فرخشهر	۰/۵۵	۰/۱۳۴	۰/۱۳۳	۰/۱۵	۰/۰۶۷
سرابله	۰/۷۷	۰/۰۷	-۰/۰۵	۰/۰۹	۰/۰۷
سیلاخور	۰/۶۲	۰/۰۸	۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۰۵۷

جدول ۳- ارزیابی خطای رطوبت خاک پایگاه ECV (محصول داده ترکیبی) با اندازه گیری های رطوبت خاک در ایستگاه های هواشناسی

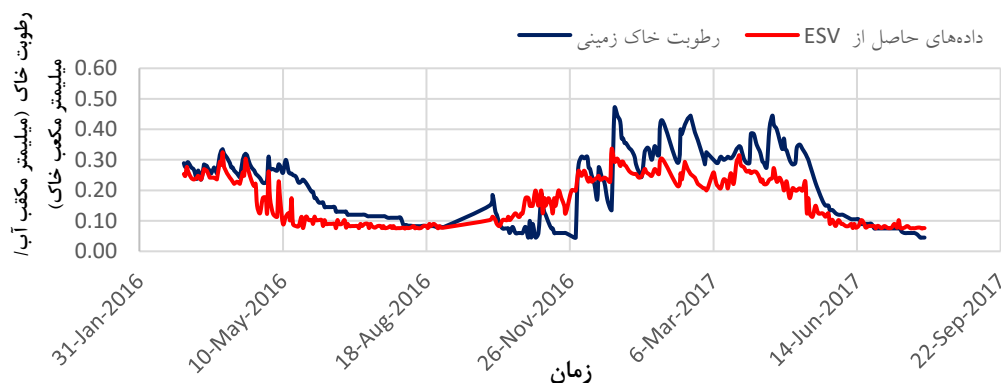
نام ایستگاه	R	MAE (m ³ /m ³)	MBE (m ³ /m ³)	RMSD (m ³ /m ³)	unRMSD (m ³ /m ³)
فرخشهر	۰/۵۷۵	۰/۰۵۶	۰/۰۵	۰/۰۷	۰/۰۴۷
سرابله	۰/۸۲	۰/۰۶	-۰/۰۴۲	۰/۰۸	۰/۰۶۷
سیلاخور	۰/۷۸۲	۰/۰۴۷	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۰۲

بر اساس شاخص میانگین خطای مطلق، خطا در داده های ترکیبی کمتر از دیگر داده ها بوده که بیانگر این است که استفاده از داده های ترکیبی گزینه مناسب تری به حساب می آید. همچنین بر اساس شاخص میانگین خطای اریبی داده های ترکیبی خطای کمتری را نشان می دهند. خطای اریبی برای داده های ترکیبی از ۰,۰۰۲ تا ۰/۰,۰۶۷ و برای داده های غیر فعال از ۰,۰۵۷ تا ۰,۰۷ تغییر کرده است با توجه به این که داده ترکیبی نتایج قابل قبول تری ارائه داده است، سری زمانی داده های ترکیبی و اندازه گیری های زمینی رطوبت خاک برای سه ایستگاه مورد نظر رسم شد که در شکل ۴، شکل ۵، و شکل ۶ منحنی تغییرات آنها دیده می شود. سری زمانی داده های رطوبت خاک در هر ۳ ایستگاه نشان می دهد که رفتار و روند تغییرات رطوبت خاک مشابه هم می باشند. مقدار رطوبت خاک از زمستان تا بهار در حال افزایش و از تابستان تا اواخر پاییز در حال کاهش می باشد. در این حالی است که در زمستان تا بهار این روند همراه با نوسان که بستگی مستقیم به میزان بارش دارد ولی در تابستان تا پاییز این نوسانات تقریباً ثابت می باشد.

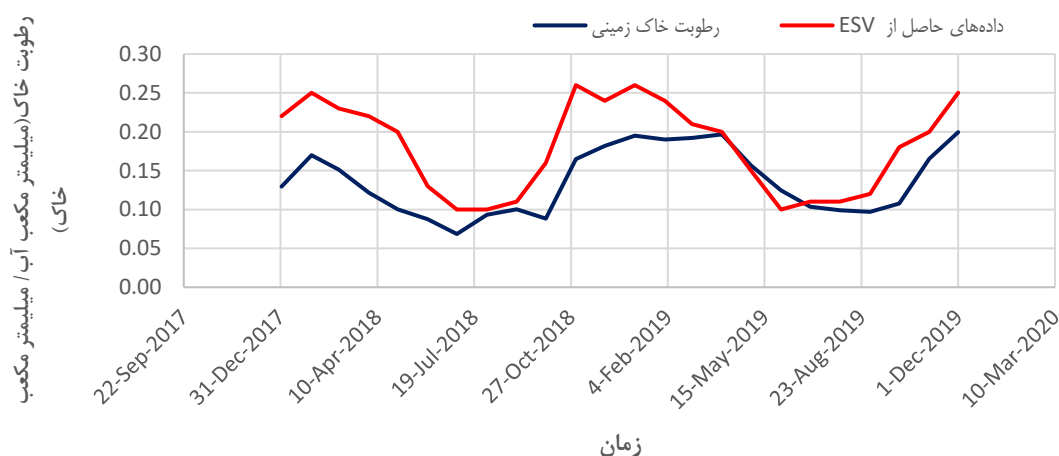


رطوبت خاک (میلیمتر مکعب آب / میلیمتر مکعب خاک)

شکل ۴- سری زمانی داده های رطوبت خاک ایستگاهی و ماهواره ای در ایستگاه فرخشهر در بازه (۲۰۱۶-۲۰۱۸)

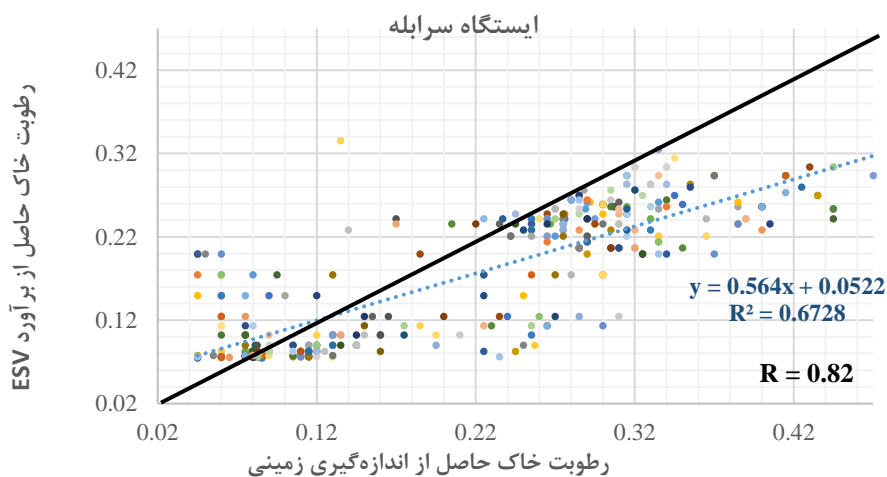


شکل ۵- سری زمانی داده‌های رطوبت خاک ایستگاهی و ماهواره ای در ایستگاه سرابله در بازه (۲۰۱۶-۲۰۱۸)



شکل ۶- سری زمانی داده‌های رطوبت خاک ایستگاهی و ماهواره ای در ایستگاه سیلاخور در بازه (۲۰۱۷-۲۰۱۹)

در هر سه نمودار به وضوح دیده می‌شود که روند تغییرات رطوبت خاک توسط داده‌های حاصل از پایگاه ECV با اندازه‌گیری‌های زمینی تطابق دارد. با توجه به نتایج به دست آمده که در سه ایستگاه نمونه خطای حاصل از مقایسه داده‌های ماهواره ای و زمینی قابل قبول می‌باشد، از داده‌های پایگاه ECV پروژه CCI-SM برای تعیین روند رطوبت خاک در منطقه جنوب غرب استفاده گردید. شکل ۷ مقایسه داده‌های رطوبت خاک حاصل از اندازه‌گیری زمینی و رطوبت خاک حاصل از داده‌های ماهواره‌ای را نشان می‌دهد که معادله بدست آمده از این مقایسه تواند جهت تخمین رطوبت خاک منطقه استفاده شود.

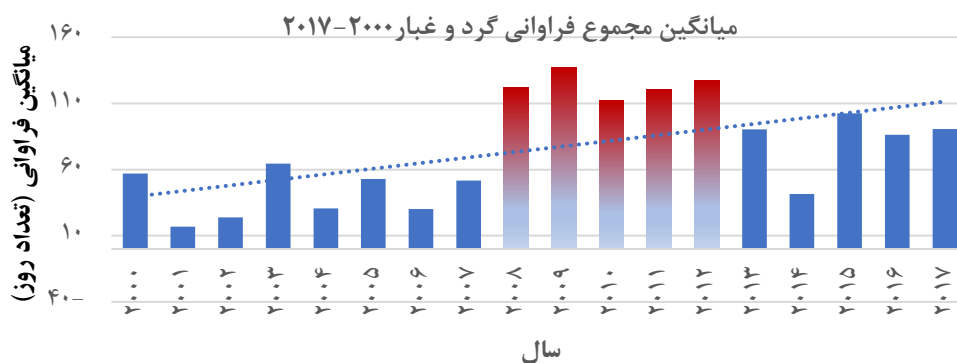


شکل ۷- روند تغییرات مقایسه‌ای داده‌های رطوبت خاک ماهواره ای و اندازه‌گیری شده در ایستگاه سرابله در بازه (۲۰۱۶-۲۰۱۸)

بررسی سالانه داده‌های گرد و غبار

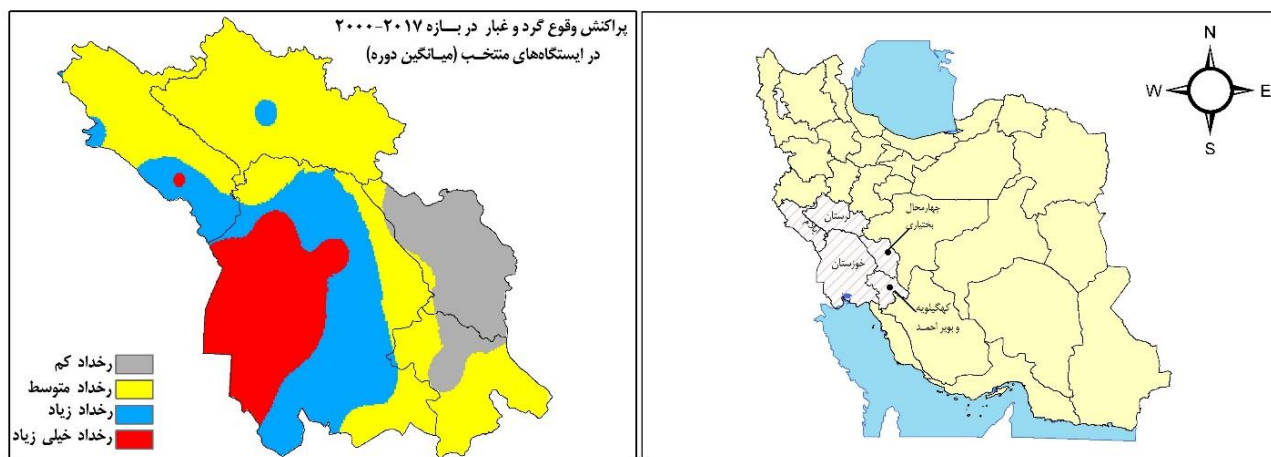
در مطالعه سالانه داده‌های سینوپتیک گرد و غبار در جنوب غرب ایران این نتیجه بدست آمد که وقوع این پدیده در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۱۲ افزایش شدید داشته است. بیشترین فراوانی در ایستگاه آبادان و سپس صفی‌آباد (دزفول) ثبت شده است. در بررسی فصلی داده‌ها مشخص شد که در فصل تابستان وقوع گردو غبار افزایش نداشته است. در فصل زمستان در دوره مورد مطالعه میانگین فراوانی وقوع گرد و غبار به صورت چشم‌گیری افزایش یافته است. دلیل این امر کاهش رطوبت ورودی به منطقه در فصل زمستان است. بررسی ماهانه داده‌ها نیز مشخص کرد که در ماه‌های می (اردیبهشت) ژوئن (خرداد) و ژوئیه (تیر) بیشترین فراوانی ثبت شده است.

میانگین وقوع گرد و غبار ثبت‌شده در کلیه ایستگاه‌های جنوب غرب کشور در نمودار شکل ۸ در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۷ ارائه شده است. در این نمودار در بازه زمانی ۲۰۰۸-۲۰۱۲، ۳۰ درصد داده‌هایی که از نظر عددی بیشترین مقدار را دارند با رنگ قرمز مشخص شده است. افزایش چشم‌گیر وقوع پدیده گرد و غبار در سال ۲۰۰۸ بوده (با میانگین فراوانی ۱۲۲ وقوع) و در سال ۲۰۰۹ به بیشترین میزان خود (با میانگین فراوانی ۱۳۷ وقوع) رسیده است؛ در سال ۲۰۱۰ این روند کاهش یافته (میانگین فراوانی به ۱۱۲ وقوع رسیده است) و در سال ۲۰۱۱ مجدداً افزایش وقوع پدیده (با میانگین فراوانی ۱۲۱ مورد) مشاهده شده که در سال ۲۰۱۲ نیز این روند تشدید شده است (با میانگین فراوانی ۱۲۸ مورد).



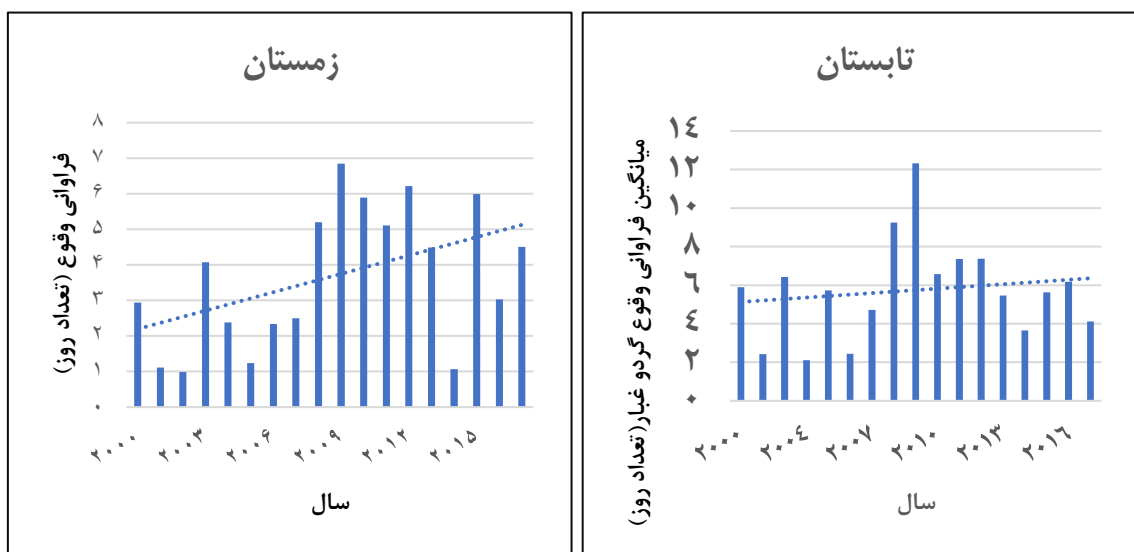
شکل ۸- نمودار میانگین مجموع فراوانی وقوع پدیده گرد و غبار در دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۱۷ در ایستگاه‌های منتخب جنوب غرب کشور

شکل ۹ میانگین سالانه پراکنش وقوع گرد و غبار در بازه ۲۰۰۰-۲۰۱۷ در استان‌های مورد مطالعه به صورت سالانه نمایش می‌دهد. همانطور که این نقشه‌ها نشان می‌دهند در بیشترین حوزه تحت تاثیر (رنگ قرمز) منطقه جنوب و استان خوزستان می‌باشد و این استان بیشترین خسارت را از وقوع پدیده گرد و غبار متحمل می‌شود.



شکل ۹- پراکنش سالیانه گرد و غبار در منطقه جنوب غربی در سال‌های ۲۰۰۰-۲۰۱۷ (نقشه الف، ب و ج) بررسی فصلی داده‌های گرد و غبار

نمودارهای شکل ۱۰ میانگین تغییرات وقوع گرد و غبار در فصل تابستان و زمستان برای دوره مورد مطالعه (۲۰۰۰-۲۰۱۷) را نشان می‌دهد. همان‌طور که دیده می‌شود در فصل زمستان روند افزایش وقوع گرد و غبار نسبت به روند فصل تابستان بیشتر است. قاعدتاً این انتظار وجود دارد که پدیده گرد و غبار در فصل تابستان رخ دهد؛ اما به لحاظ اقلیمی در فصل زمستان به دلیل نفوذ بادهای غربی پتانسیل وقوع گرد غبار منطقه بیشتر است. با این حال، چون جریان‌های جوی در زمستان با رطوبت همراه بوده و عمدتاً با بارش همراه هستند می‌توان نتیجه گرفت که در صورت نبود رطوبت پدیده گرد و غبار اتفاق می‌افتد. بررسی داده‌های گرد و غبار در مقیاس فصلی نشان می‌دهد که گرد و غبارهای فصل زمستان از رخداد قابل توجهی در طی این بازه زمانی برخوردار بوده و روند افزایش آن در فصل زمستان افزایش یافته است که نشان از کاهش رطوبت جریان‌های وارد شده به استان‌های جنوب غرب است.



شکل ۱۰- میانگین فراوانی وقوع گرد و غبار در بازه ۲۰۱۷-۲۰۰۰ در استان‌های منطقه جنوب غرب در فصل تابستان و زمستان

ارتباط‌سنجی سالانه رطوبت خاک و وقوع گرد و غبار در کشورهای غرب ایران

میزان همبستگی رطوبت خاک کانون‌های خارج از ایران با وقوع گرد و غبار بر اساس ضریب پیرسون محاسبه گردید که مقادیر این ضرایب در استان‌های جنوبی در جدول ۴ بصورت سالانه نشان داده شده است.

جدول ۴- همبستگی سالانه رطوبت خاک کانون‌های خارجی ایجاد گرد و غبار و وقوع گرد و غبار در منطقه جنوب غرب ایران (ضریب همبستگی پیرسون)

رطوبت	خوزستان	ایلام	لرستان	چهار محال و بختیاری	کهگیلویه و بویر احمد
رطوبت خاک کانون مرز سوریه و عراق	-۰/۷۵	-۰/۷	-۰/۷۶	-۰/۷۶	-۰/۷۵
رطوبت خاک کانون غرب و جنوب غرب عراق	-۰/۰۳	-۰/۰۹	-۰/۰۱	-۰/۰۶	-۰/۰۱
رطوبت خاک کانون شرق عراق	-۰/۵۲	-۰/۵۱	-۰/۵۶	-۰/۵۶	-۰/۵۶
رطوبت خاک کانون شرق عربستان	-۰/۹۱	-۰/۶۲	-۰/۴۴	-۰/۵۵	-۰/۵۵

جدول ۵ نشان دهنده همبستگی فصلی بین رطوبت خاک کانون‌های خارجی با وقوع گرد و غبار در استان‌های جنوبی کشور می‌باشد. محاسبه ضریب همبستگی پیرسون بصورت فصلی نشان می‌دهد که همبستگی به دست آمده بصورت فصلی بسیار بیشتر از همبستگی در مقیاس سالانه است. آنچه که از این اندازه‌گیری استنباط می‌شود این است که تغییرات رطوبت خاک به صورت فصلی بر وقوع گرد و غبار اثرگذارتر است. رطوبت خاک بسیار متأثر از میزان بارش در منطقه است چون رطوبت خاک از طریق بارش تامین می‌شود. تغییرات رطوبت خاک به هنگام تغییر فصل بسیار مشهود است و این مساله می‌تواند از دلایل بالا بودن همبستگی بالای این دو متغیر در بررسی فصلی باشد.



جدول ۵- همبستگی فصلی رطوبت خاک کانون‌های خارجی ایجاد گرد و غبار و وقوع گرد و غبار در منطقه جنوب غرب ایران (ضریب همبستگی پیرسون)

رطوبت	خوزستان	ایلام	لرستان	چهار محال و بختیاری	کهگیلویه و بویر احمد
رطوبت خاک کانون مرز سوریه و عراق	-۰/۸۷	-۰/۸۳	-۰/۸۷	-۰/۸۳	-۰/۹
رطوبت خاک کانون غرب و جنوب غرب عراق	-۰/۸۶	-۰/۸۵	-۰/۹	-۰/۹۳	-۰/۹
رطوبت خاک کانون شرق عراق	-۰/۹	-۰/۸۷	-۰/۹	-۰/۹	-۰/۹۱
رطوبت خاک کانون شرق عربستان	-۰/۹۸	-۰/۹۷	-۰/۹۵	-۰/۸۴	-۰/۹۶

در همه کانون‌های گرد و غباری رطوبت خاک در فصل زمستان و در فصل تابستان کمترین مقدار را دارد که با شرایط بارندگی در فصول مختلف مطابقت دارد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک توسط پایگاه داده ECV-CCI-SM مطالعه و تولیدات حاصل از سنسورهای فعال، داده‌های حاصل از سنسورهای غیرفعال و داده‌هایی که از ترکیب هر دو گروه از سنسورها حاصل شده مورد بررسی قرار گرفت. هر سه محصول رطوبت خاک را در عمق ۵ سانتیمتری سطح زمین در اختیار کاربران قرار می‌دهد. در این پژوهش اعتبارسنجی در بازه ۲۰۱۹-۲۰۱۶ بررسی گردید و از سه ایستگاه هواشناسی فرخ‌شهر، سراپله و سیلاخور در منطقه جنوب غرب کشور استفاده شد. نتایج ارزیابی خطای اعتبارسنجی‌ها در ایستگاه‌های منتخب مشخص کرد که داده‌های بازیابی‌شده توسط سنسورهای فعال با داده‌های زمینی در این منطقه تطابق کمتری داشته اما داده‌های بازیابی‌شده توسط سنسورهای غیرفعال و داده‌هایی که از ترکیب سنسورهای فعال و غیرفعال به دست آمده‌اند، نتایج قابل قبولی داشته‌اند که با مقایسه شاخص‌های آماری، داده‌های ترکیبی خطای کمتری نشان می‌دهند. کمترین میزان رطوبت خاک در ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه و اوت (اردیبهشت تا مرداد) رخ داده است که با تغییرات فصلی همخوانی دارد. در بررسی داده‌های رطوبت خاک در بازه مورد مطالعه مشخص شد که رطوبت خاک در بیابان واقع در شرق عربستان از سایر کانون‌ها کمتر است و مشخص شد که رطوبت خاک در کانون‌های خارجی به مراتب کمتر از رطوبت خاک در مناطق مستعد بروز گرد و غبار در منطقه جنوب غرب است. همچنین دو مقیاس سالانه و فصلی برای بررسی ارتباطسنجی رطوبت سطحی خاک و گرد و غبار استفاده شد و معلوم گردید که همبستگی به دست آمده منفی است، به این معنی که رطوبت سطحی خاک و وقوع گرد و غبار با یکدیگر رابطه عکس دارند. مقدار همبستگی از لحاظ عددی در بررسی فصلی بسیار بالاتر از همبستگی در مقیاس سالانه است. آنچه که از این اندازه‌گیری می‌تواند استنباط شود این است که تغییرات رطوبت خاک به صورت فصلی بر وقوع گرد و غبار اثرگذارتر است و مقایسه سالیانه بازه بزرگی است که نتایج با دقت کمتری را در اختیار می‌گذارد. تغییرات رطوبت خاک به هنگام تغییر فصل بسیار مشهود است و این مساله می‌تواند از دلایل بالا بودن همبستگی بالای این دو متغیر در بررسی فصلی باشد. در ارتباطسنجی سالانه مشخص شد که کانون مرز عراق و سوریه و کانون شرق عراق بیشترین همبستگی را با وقوع گرد و غبار در منطقه جنوب غرب داشته‌اند که این نتیجه با رهگیری‌های طوفان‌های گرد و غباری در مطالعات دیگر محققین همخوانی دارد. درحالت کلی می‌توان گفت که در کانون‌های داخلی کاهش رطوبت خاک باعث افزایش وقوع گرد و غبار در همان استان شده است و کاهش رطوبت در کانون‌های خارجی (مرز سوریه و عراق، شرق عراق، شرق عربستان) باعث افزایش وقوع گرد و غبار در کل منطقه جنوب غرب ایران شده است.

سپاس‌گزاری

از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج، وزارت جهاد کشاورزی که در تهیه داده‌های این تحقیق همکاری نموده اند تشکر می‌گردد.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

AbdiVishkaee, F., FLamant, C., Juan, C., Larry, O., Flamant, P., & R., H. (2012). Dust transport over Iraq and

- northwest Iran associated with winter Shamal: A case study. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117(D3).
- Abedi, M., Jafari, R., (2016), The role of moisture in the formation of dust production areas in Isfahan province, Fourth National Conference on Wind Erosion and Dust Storms, isfahan (In farsi)
- Albergel, C., Dorigo, W., Balsamo, G., Muñoz-Sabater, J., de Rosnay, P., Isaksen, L., Wagner, W. (2013). Monitoring multi-decadal satellite earth observation of soil moisture products through land surface reanalyses. *Remote Sensing of Environment*, 138, 77–89.
- Ashrafi, K., Shafiepour-Motlagh, M., Aslemand, A., & Ghader, S. (2014). Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 12(1),
- Azizi, Gh., Miri, M., Nabavi, o., (2012)., Detection of dust in the half western of Iran, *Journal of Arid Regions Geographic Studies* ,7(2), 63-81.(in Farsi)
- Ansari, M., Norouzi, N., (2021), Investigation of Land Surface Temperature Trends Relative to Land Use Changes in Dust Sources of South, *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(7), 1820-1845
- Bai, W., Gu, X., Li, S., Tang, Y., He, Y., Gu, X., & Bai, X. (2018). The performance of multiple model-simulated soil moisture datasets relative to ECV satellite data in China. *Water Journal*, 10(10), 1–27.
- Choi, M., & Jacobs, J. (2008). Temporal variability corrections for Advanced Microwave Scanning Radiometer E (AMSR-E) surface soil moisture: case study in Little River region, Georgia, *US. Sensors*, 8(4), 2617–2627.
- Chomette, O., Legrand, M., & Marticorena, B. (1999). Determination of the wind speed threshold for the emission of desert dust using satellite remote sensing in the thermal infrared. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104(D24), 31207–31215.
- Dorigo, W., Wagner, W., Albergel, C., Albrecht, F., Balsamo, G., Brocca, L., Chung, D., Ertl, M., Forkel, M., Gruber, A. and Haas, E., 2017. ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the art and future directions. *Remote Sensing of Environment*, 203, pp.185-215.
- Jackson, T. J., Cosh, M. H., Bindlish, R., Starks, P. J., Bosch, D. D., Seyfried, M., ... Du, J. (2010). Validation of advanced microwave scanning radiometer soil moisture products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(12), 4256–4272.
- Jing, W., Song, J., & Zhao, X. (2018). A comparison of ecv and smos soil moisture products based on oznet monitoring network. *Remote Sensing*, 10(5), 703.
- Kerr, Y. H., Waldteufel, P., Richaume, P., Wigneron, J. P., Ferrazzoli, P., Mahmoodi, A., Juglea, S. E. (2012). The SMOS soil moisture retrieval algorithm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(5), 1384–1403.
- Kerr, Y. H., Waldteufel, P., Wigneron, J.-P., Delwart, S., Cabot, F., Boutin, J., ... Gruhier, C. (2010). The SMOS mission: New tool for monitoring key elements of the global water cycle. *Proceedings of the IEEE*, 98(5), 666–687.
- Kim, H., & Choi, M. (2015). Impact of soil moisture on dust outbreaks in East Asia: Using satellite and assimilation data. *Geophysical Research Letters*, 42(8), 2789–2796.
- Li, X., & Zhang, H. (2014). Soil moisture effects on sand saltation and dust emission observed over the Horqin Sandy Land area in China. *Journal of Meteorological Research*, 28(3), 444–452.
- Mason, P. J., Zillman, J. W., Simmons, A., Lindstrom, E. J., Harrison, D. E., Dolman, H., Rasmussen, J. (2010). Implementation plan for the global observing system for climate in support of the UNFCCC (2010 Update).
- Mohamadi, F., Kamali, S., Eskandari, M., (2019), Detection of dust sources in different levels of Tehran atmosphere using HYSPLIT model, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 29, 39-54 (In Farsi)
- Noroozi, A., Shoaie, Z., (2018) , Identifying areas with dust generation potential in the south west of Iran, case study: Khuzestan Province, *Watershed Engineering and Management Journal*, 10 (3), 398–09 (In Farsi)
- Parajuli, S. P., Ghedira, H., & Gheroudj, I. (2011). Effect of soil moisture and land cover on dust generation in desert and arid environment. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 3070–3073.
- Pratola, C., Barrett, B., Gruber, A., & Dwyer, E. (2015). Quality assessment of the CCI ECV soil moisture product using ENVISAT ASAR wide swath data over Spain, Ireland and Finland. *Remote Sensing*, 7(11), 15388–15423.
- Raigani, B., kheirandish, Z., (2016). Utilization of time series of satellite data in order to validate Identified dust production points in Alborz province, *Journal of Spatial analysis Environmental hazards*, 4(4), 1-18.
- Ravi, S., & D'Odorico, P. (2005). A field-scale analysis of the dependence of wind erosion threshold velocity



- on air humidity. *Geophysical Research Letters*, 32(21).
- Ravi, S., D'Odorico, P., Over, T. M., & Zobeck, T. M. (2004). On the effect of air humidity on soil susceptibility to wind erosion: The case of air-dry soils. *Geophysical Research Letters*, 31(9).
- Schepanski, K., Tegen, I., & Macke, A. (2012). Comparison of satellite based observations of Saharan dust source areas. *Remote Sensing of Environment*, 123, 90–97.
- Taylor, C. M., de Jeu, R. A. M., Guichard, F., Harris, P. P., & Dorigo, W. A. (2012). Afternoon rain more likely over drier soils. *Nature*, 489(7416), 423–426.
- Wagner, W., Lemoine, G., & Rott, H. (1999). A method for estimating soil moisture from ERS scatterometer and soil data. *Remote Sensing of Environment*, 70(2), 191–207.
- Wang, S., Mo, X., Liu, S., Lin, Z., & Hu, S. (2016). Validation and trend analysis of ECV soil moisture data on cropland in North China Plain during 1981–2010. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 48, 110–121.