



Case Study

Comparative Evaluation of GLDAS, ESA CCI SM and SMAP Soil Moisture with *in situ* Measurements (Case Study: Lorestan Province)

Abdolnabi Abdeh Kolahchi^{1*}, Morteza Miri¹, Mehran Zand² and Jahangir Porhemmat³

¹Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

²Assoc. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

³Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (SCWMRI), Agricultural Research, Education and Extension Organization, Tehran, Iran

Article information

Received: October 07, 2022

Revised: January 25, 2023

Accepted: January 28, 2023

Keywords:

ESA

GLDAS

SMAP

Soil Moisture

*Corresponding author:

kolahchi@scwmri.ac.ir



Abstract

The aim of this study was to evaluate the effectiveness of estimated soil moisture data obtained from the GLDAS, ESA and SMAP sensor databases with the observed data of the Silakhor Agricultural Meteorological Station to investigate the spatial and temporal variation of soil moisture in Lorestan province. The data used in this research include the soil moisture data of the Silakhor station, GLDAS database, ESA center and SMAP sensor products during a six-year period (2016-2021). Estimated soil moisture data were evaluated against observed data using R^2 , RMSE and MAD statistics. The results showed that the SMAP satellite is associated with underestimation and the GLDAS model and the ESA satellite are associated with overestimation of soil moisture. However, in general, the estimated soil moisture values of the three mentioned sources have good accuracy. The value of the correlation coefficient between observed soil moisture data with soil moisture data obtained from SMAP and ESA satellites and GLDAS model was obtained as 0.62, 0.59 and 0.72 respectively, and in the combined case (SMAP, ESA and GLDAS) the value of correlation coefficient was increased to 0.77, therefore, it is suggested to use combine data to use soil moisture estimation.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

Soil moisture is widely recognized as a key parameter in the mass and energy balance between the Earth's surface and atmosphere. Therefore, accurate measurement and estimation of soil moisture values play a key and very important role in various studies such as weather

forecasts, climate modeling, extreme climate events, atmospheric general circulation and etc. Limitations such as the lack of proper and insufficient distribution of weather stations and the unavailability of long-term soil moisture records in Iran have doubled the complexity of analyzing soil moisture in the country. These



conditions make it difficult to accurately estimate the soil moisture in a region. Satellite remote sensing data, in addition to solving these limitations and problems, can create a wide spatial coverage and temporal continuity and provide an acceptable level of confidence compared to *in situ* measurements.

Today, the expansion of meteorological satellites and network databases such as TRMM, GLDAS, ESA CCI SM, SMAP, etc. has created a new potential for better and more accurate estimation of rainfall and soil moisture in areas where ground measurements and observations are limited. If it is possible to establish a connection between satellite digital data and soil moisture, the use of satellite images will be able to facilitate, economic and fast the estimation of soil moisture on a wide scale. However, in order to properly use these databases, it is necessary to examine their accuracy and efficiency in different parts of the country. Therefore, in the current research, an attempt has been made to investigate and analyze the accuracy of soil moisture data estimated from satellite images and climate network databases against the recorded data of stations in Lorestan province using statistical tests.

Material and Methods

In this research, the soil moisture data at the Silakhor agricultural weather station in Lorestan province which is located 10 km south of Borujerd city, has been used (Figure 1). Soil moisture data are collected at depths of 5, 20, 30, 50, and 100 cm by soil moisture sensors since 2016. The soil moisture of the station was used to evaluate the accuracy and validate the remote sensing soil moisture of SMAP, ESA, GLDAS and their combined (SGE). Several statistical indicators such as correlation coefficient (R), coefficient of determination (R^2), Root Mean Square Error (RMSE) and Mean Absolute Deviation (MAD) was used for the validation of remote sensing data. For better comparison of different soil moisture production, the values of soil moisture were dimensionless by using the Z index.

Results

Fig. 1 shows the soil moisture values for Silakhor station and soil moisture of satellite data in the common period of 2018 to 2021. The value of soil moisture increase during the wet season (middle of Fall to the end of Spring) and decrease during dry season (Summer to the end of Fall) during the study period (2018-2021).

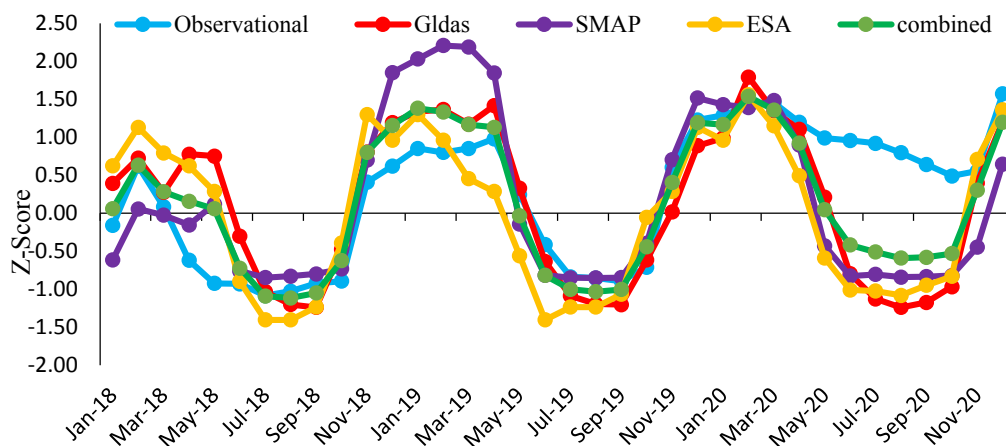


Fig. 1 Soil moisture values for SMAP, ESA CCI SM, GLDAS with Silakhor Station of Lorestan

When comparing the soil moisture of the station to the remote sensing data, SMAP underestimates while ESA and GLDAS overestimate the value of soil moisture. However, in general, remote sensing soil moisture data compared to the station indicates that the values differ more in wet seasons, but values are close to each other in dry seasons. The results show that the temporal behavior (wet and

dry seasons) of soil moisture obtained from remote sensing data is consistent with the data of Silakhor meteorological station and has been estimated with appropriate accuracy. The soil moisture of Silakhor station compared with combined (SGE) data indicate that in addition to the similarity of time behavior, these data are more similar in terms of value to the data recorded in Silakhor station.

Table (1) shows the statistical values of R^2 , RMSE and MAD between estimated remote sensing soil moisture data and the data recorded at the Silakhor meteorological station. Based on these statistical indicators the combined SGE performs better and more accurately to estimate soil moisture compare to GLDAS, ESA and SMAP.

Table 1 Statistical analysis of R, R2, RMSE and MAD between soil moisture of station and SMAP, GLDAS, ESA CCI SM, SGE

Soil Moisture	R^2	RMS E	MA D
Station –SMAP	0.39	0.70	0.58
Station – GLDAS	0.52	0.73	0.51
Station – ESA CCI SM	0.35	0.78	0.63
Station – SMAP, GLDAS, ESA (SGE)	0.59	0.51	0.38

Conclusions

The results of this research are as follows:

1. The monthly soil moisture values of SMAP, ESA, GLDA and combine (SGE) compared with the data of Silakhor station showed that despite of difference between the estimated and observed values, the satellite data are able to estimate the

overall behavior of the soil moisture in the region.

2. The SMAP underestimate and GLDAS, ESA and combine (SGE) overestimate soil moisture.

3. The value of the correlation coefficient between observed soil moisture data with soil moisture data obtained from SMAP and ESA satellites and GLDAS model was obtained as 0.62, 0.59 and 0.72 respectively, and in the combined case (SMAP, ESA and GLDAS) the value of correlation coefficient was increased to 0.77, therefore, it is suggested to use combine data to use soil moisture estimation.

4. This research proved that combine soil moisture data are more suitable, reliable and accurate than soil moisture estimation based on a single sensor. It is suggested to use combined soil moisture to study drought, flood, water resources and climate change.

Data Availability

The data used in this research are presented in the paper.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط‌زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مطالعه موردی

مقایسه ارزیابی محصولات رطوبت خاک SMAP و GLDAS, ESA CC SM با اندازه‌گیری‌های میدانی (مطالعه موردی: استان لرستان)

عبدالنبی عبده کلاهچی^{۱*}، مرتضی میری^۱، مهران زند^۲ و جهانگیر پرهمت^۳

^۱استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۲دانشیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان پژوهشات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۳استاد، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان پژوهشات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۸/۰۵]	هدف پژوهش حاضر ارزیابی کارایی داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از پایگاه داده
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۱۱/۰۵]	GLDAS, ESA و سنجنده SMAP در مقابل داده‌های زمینی ایستگاه هواشناسی
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۱۱/۰۸]	کشاورزی سیلاخور به‌منظور بررسی تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک است. داده‌های
واژه‌های کلیدی:	مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های رطوبت خاک ایستگاه هواشناسی کشاورزی
ESA	سیلاخور، محصولات رطوبت خاک به‌دست آمده از پایگاه داده‌های GLDAS، مرکز ESA و
GLDAS	سنجنده SMAP طی دوره شش ساله ۲۰۱۶-۲۰۲۱ است. ارزیابی داده‌های رطوبت خاک
SMAP	برآوردی در مقابل داده‌های ایستگاهی با استفاده از آماره‌های R^2 ، RMSE و MAD انجام
رطوبت خاک	شد. نتایج نشان داد که هرچند مقادیر آماره‌های به‌کاربرده شده بیانگر کم برآوردی ماهواره
	SMAP و بیش برآوردی مدل GLDAS و ماهواره ESA CCI SM از رطوبت خاک منطقه
	در برابر داده‌های ایستگاهی ثبت شده است، در حالت کلی مقادیر رطوبت خاک برآوردی از
	دقت مناسبی برخوردارند. مقدار ضریب همبستگی بین داده‌های رطوبت خاک مشاهداتی با
	داده‌های رطوبت خاک حاصل از ماهواره‌های SMAP و ESA CCI SM و مدل GLDAS
	به ترتیب ۰/۶۲، ۰/۵۹ و ۰/۷۲ به دست آمد که در حالت ترکیبی مقدار ضریب همبستگی به
	۰/۷۷ افزایش پیدا می‌کند. با توجه به مقادیر همبستگی، پیشنهاد می‌شود برای بررسی
	رطوبت خاک از داده‌های ترکیبی استفاده شود.

*نویسنده مسئول:

kolahchi@scwmri.ac.ir

۱- مقدمه

اندازه‌گیری دقیق مقادیر رطوبت خاک نقش کلیدی در مطالعات مختلف همچون پیش‌بینی‌های آب و هوایی، مدل‌سازی اقلیمی، رخدادهای فرین اقلیمی (Chen et al., 2005)، پیش‌بینی رواناب، مدیریت منابع عمومی جو (Taylor et al. 2012)، تبخیر و نفوذ (Seneviratne et al. 2010; 2013)، الگوهای گردش



بارندگی و رطوبت خاک در نواحی که اندازه‌گیری‌ها و دیدبانی‌های زمینی محدود هستند، ایجاد کرده است (Erfanian et al. 2014; Miri et al. 2016). (۲۰۱۱) Albergel et al. نشان داد که رطوبت خاک حاصل از داده‌های ماهواره‌ای و همچنین رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل جهانی ECMWF از دقت مناسبی برخوردارند. (۲۰۱۳) Chen et al. در پژوهشی دقت داده‌های رطوبت خاک به دست آمده از AMSR-E و رطوبت خاک شبیه‌سازی شده به وسیله مدل GLDAS را در برابر داده‌های زمینی در قسمت‌های مرکزی تبت ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که هیچ‌کدام از چهار محصول AMSR-E برآورد قابل قبولی از رطوبت خاک در فصل سرد ارائه نمی‌کنند. (2017) Yuan and Quiring در پژوهشی داده‌های رطوبت خاک شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های CMIP5 را برای ایلات متحده آمریکا با استفاده از داده‌های ایستگاهی و ماهواره‌ای طی دوره ۱۰ ساله (۲۰۱۲-۲۰۰۳) ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد مقادیر رطوبت خاک در غرب با رطوبت خاک شرق متفاوت هستند. (Babaeian et al. 2021) استفاده از داده‌های راداری و دورسنجی سنجنده ASAR در برآورد رطوبت خاک بیان کردند که می‌توان در مناطق خشک و نیمه‌خشک و در شرایط عدم پوشش گیاهی، رطوبت سطحی خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را برآورد کرد. (2016) Miri et al. با استفاده از داده‌های شبکه‌ای GLDAS اثر تغییرات رطوبت خاک بر خشکیدگی جنگل‌های بلوط استان ایلام را بررسی و بیان کرد که کاهش این عنصر سبب سرخشکیدگی درختان این منطقه شده است.

با وجود 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 که عملاً انجام آن را به‌ویژه در مناطق صعب‌العبور و کوهستانی غیرممکن می‌سازد، این پارامتر مهم تاکنون به‌طور گسترده در مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده واقع نشده است (Babazadeh et al. 2003; Vilson et al. 2012). چنانچه بتوان ارتباطی بین داده‌های رقومی ماهواره و رطوبت خاک برقرار نمود، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، قادر خواهد بود، تخمین رطوبت خاک در سطح گسترده را تسهیل، ارزان، اقتصادی و سریع کند. همچنین تعیین وضعیت رطوبتی خاک، اهمیت فراوانی

آب، کمیت و کیفیت منابع آب زیرزمینی، مطالعات کشاورزی (Das and Paul 2015; Dorigo et al. 2017)، تبادل جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر (Wang and Qu. 2009) دارد. از این رو تغییر در مقادیر رطوبت خاک به‌صورت کاهشی یا افزایشی می‌تواند در رخداد مخاطرات سیل و خشکسالی نقش مهمی ایفا کند (Koster et al. 2010; Brocca et al. 2012; Wang et al. 2011). اهمیت و نقش کلیدی رطوبت خاک در بسیاری از فرآیندهای کشاورزی و هیدرواقلمی، ارزیابی شرایط محیطی و بوم‌شناختی سطح زمین (Zarenejad et al. 2012) سبب شده است که تغییرات مکانی و زمانی این عنصر مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته و پژوهش‌های مهمی در داخل و خارج از کشور انجام شده است. بطوریکه برخی از شاخص‌های خشکسالی نظیر پالمر (۱۹۶۵) بر اساس رطوبت خاک طراحی شده است و در برخی مطالعات از جمله (Wu and Kinter 2009) و (Spennemann et al. 2015) در ایلات متحده، (Gwak et al 2017) در کره، در اصفهان (Ahmadi et al. 2013) و در بندرعباس (Dehghanpir et al. 2014) خشکسالی را در ارتباط با رطوبت خاک بررسی نموده‌اند.

با وجود این اهمیت، اندازه‌گیری رطوبت خاک در بسیاری از نقاط جهان به‌ویژه کشورهای در حال توسعه همانند ایران با مشکل مواجه است. دلیل این محدودیت، عدم توزیع مناسب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی و در دسترس نبودن آمار طولانی‌مدت رطوبت خاک در ایران است که پیچیدگی واکاوی این عناصر را در کشور دوچندان کرده است (Azizi et al. 2016; Miri et al. 2016). این شرایط سبب می‌شود که برآورد دقیق رطوبت خاک در سطح یک منطقه با مشکل مواجه شود و انجام بسیاری از پژوهش‌ها و برنامه‌های پژوهشی را با مشکل همراه می‌کند. از این رو طی دهه‌های اخیر پژوهشگران مختلف برای رفع این مشکل از داده‌های دورسنجی و شبکه‌ای برای برآورد رطوبت خاک استفاده می‌کنند. چرا که استفاده از دورکاوی هوایی یا ماهواره‌ای علاوه بر رفع این محدودیت‌ها، می‌تواند باعث ایجاد پوشش مکانی وسیع و پیوستگی زمانی شده و سطح قابل قبولی از اطمینان را در مقابل اندازه‌گیری‌های درجا ارائه نماید (Babaeian et al. 2014). امروزه گسترش ماهواره‌های هواشناسی و پایگاه داده‌های شبکه‌ای از جمله TRMM، GLDAS پتانسیل جدیدی برای برآورد بهتر و دقیق‌تر

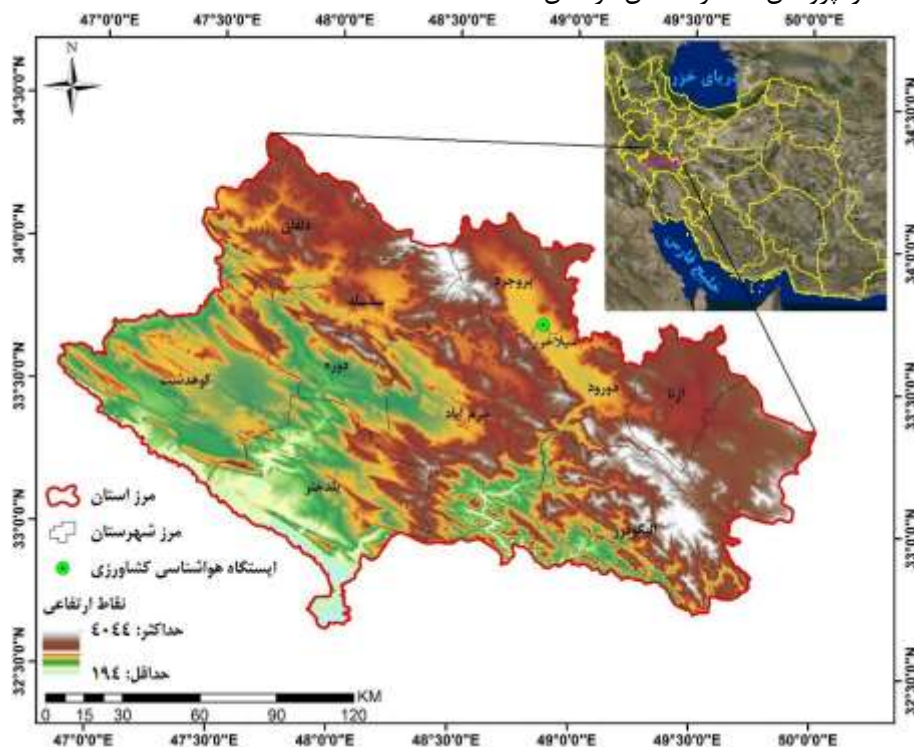
که در شکل (۱) نشان داده شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش دربرگیرنده داده‌های ماهواره‌ای SMAP و ESA، مراکز اقلیمی GLDAS و ایستگاه کشاورزی سیلاخور در استان لرستان است. ایستگاه هواشناسی کشاورزی سیلاخور در ۱۰ کیلومتری جنوب شهر بروجرود واقع شده است. در این ایستگاه از سال ۲۰۱۶ داده‌های رطوبت خاک در اعماق ۵، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ cm از سطح زمین به‌وسیله‌ی حسگرهای مربوطه برداشت می‌شود. قابل‌ذکر است که در سطح استان لرستان تنها ایستگاه سیلاخور داده‌های رطوبت خاک در اعماق مختلف را برداشت می‌کند. از این‌رو در این پژوهش برای ارزیابی دقت داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از مدل GLDAS، ESA و ماهواره SMAP تنها از داده‌های ایستگاه سیلاخور استفاده شد.

در مطالعات حفاظت خاک دارد (Bahmani and Ramazani 2014)، که با تسهیل در محاسبه‌ی رطوبت خاک و استفاده‌ی گسترده‌تر از این پارامتر در مطالعات حوزه‌های آبخیز، نخستین گام در حفاظت منابع آب و خاک برداشته می‌شود. با وجود این برای استفاده صحیح از این پایگاه داده‌ها، لازم است که دقت و کارایی آنها در نقاط مختلف کشور مورد بررسی قرار گیرد. از این‌رو در پژوهش حاضر سعی بر این شد با استفاده از آزمون‌های آماری دقت داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای و پایگاه داده‌های اقلیمی در مقابل داده‌های ثبت‌شده ایستگاه‌های استان لرستان بررسی و تجزیه و تحلیل شود.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در پژوهش حاضر، استان لرستان است



شکل ۱- موقعیت استان لرستان به تفکیک شهرستان در ایران و ایستگاه هواشناسی کشاورزی سیلاخور

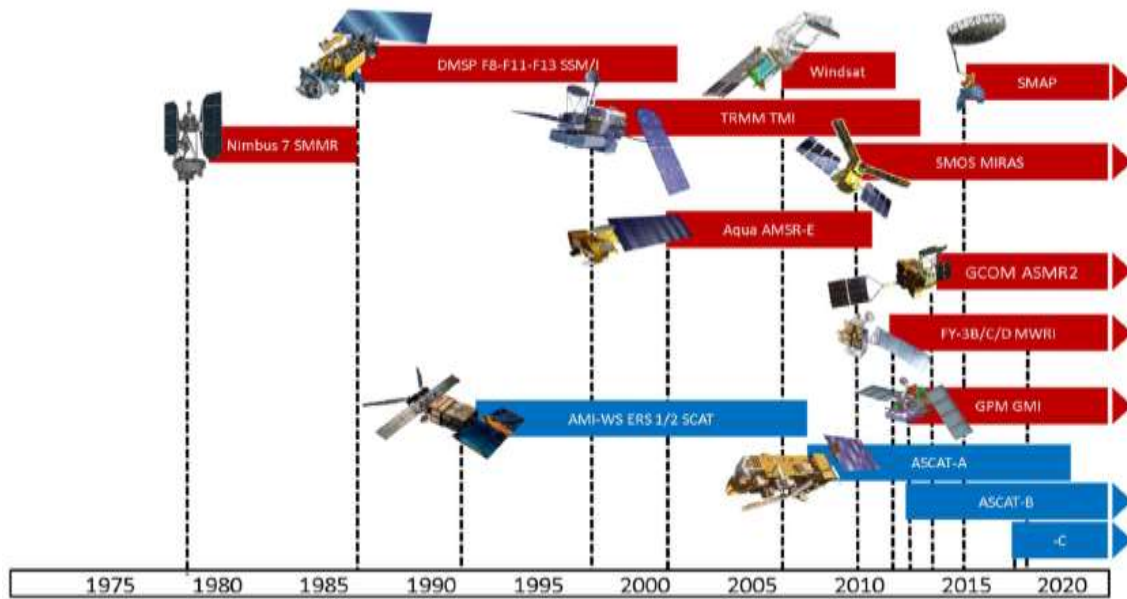
Fig. 1 The location of Lorestan province in Iran and Silakhor agriculture climate station

ماهواره در ۳۱ ژانویه سال ۲۰۱۵ میلادی به فضا پرتاب شد. محصولات این ماهواره با قدرت تفکیک مکانی ۹ km و هر سه روز یکبار در اختیار کاربران مختلف قرار می‌گیرد (Srivastava et al. 2016). محصولات این ماهواره از تارنمای <https://smap.jpl.nasa.gov> قابل دریافت می‌باشند.

۲-۲- ماهواره SMAP

ماهواره SMAP^۱ به‌وسیله ناسا با توصیه سازمان ملی پژوهش‌های علوم زمین با هدف جمع‌آوری مشاهدات مستمر جهانی از رطوبت خاک سطحی (تا عمق ۵ cm) و اندازه میزان انجماد/ ذوب شدگی سطح زمین توسعه یافت. این

^۱Soil Moisture Active Passive



شکل ۲- حسگرهای مایکروویو فعال و غیرفعال مورد استفاده برای محصول رطوبت خاک ESA CCI SM (Scanlon et al. 2022)

Fig. 2 Active and passive microwave sensors used for the generation of the ESA CCI (Scanlon et al. 2022)

فضایی اروپا (ESA CCI SM)، تلفیقی از داده‌های چند سنجنده مایکروویو فعال و غیرفعال است. شکل (۲) حسگرهای مایکروویو فعال و غیرفعال مورد استفاده برای تولید رطوبت خاک توسط بخش تغییر اقلیم سازمان فضایی اروپا را نشان می‌دهد. محصول رطوبت خاک ESA CCI SM براساس چهارچوب پروژه‌های WACMOS و CCI آژانس فضایی اروپا توسعه یافته است. این محصول با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 درجه و به صورت روزانه در دسترس کاربران مختلف قرار می‌گیرد (Rahmanikam, 2015; Liu et al. 2011; Scanlon et al. 2022). داده‌های رطوبت خاک نسخه ESA CCI SM version v07.1 از سال ۱۹۸۷ الی ۲۰۲۱ قابلیت دریافت و استفاده دارد.

۳-۲- روش پژوهش

روش پژوهش ترکیبی از روش‌های آماری و سنجش از دوری است. بدین ترتیب که در ابتدا با مراجعه به سازمان هواشناسی استان لرستان، داده‌های رطوبت خاک ایستگاه سینوپتیک کشاورزی سیلاخور برای دوره چهار ساله (۲۰۱۶-۲۰۱۹) دریافت شد. در ادامه داده‌های دریافتی از نظر نقص داده و وجود یا عدم وجود داده پرت، کنترل کمی و کیفی شدند. قابل ذکر است که داده‌های ثبت شده برای این ایستگاه طی سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۱۷ با داده‌های ماهواره ای و مدل GLDAS تطابق مناسبی نداشت و با نقص زیادی همراه بود. از این رو در پردازش نهایی داده‌های مربوط به این

۳-۲- ماهواره GLDAS

مدل همسان‌سازی داده‌های زمین (GLDAS) به طور مشترک توسط دانشمندان مرکز پرواز فضایی گودارد (GSFC)، مرکز ملی پیش‌بینی محیط‌زیست (NCEFC)، اداره ملی اقیانوس و جو (NOAA) و اداره ملی هوانوردی و فضا (NASA) توسعه داده شده است. مدل GLDAS با استفاده و تلفیق داده‌های ماهواره‌ای و زمینی با استفاده از مدل‌های VIC، CLM، Noah، Mosaic، VIC مؤلفه‌های بیلان آب و انرژی را شبیه‌سازی می‌کنند. در حال حاضر داده‌های این سیستم جهانی در دو نسخه ۲،۰ و ۲،۱ با طول دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۴۸ و ۲۰۱۵-۲۰۰۰ با قدرت تفکیک مکانی ۱، 0.25 و 0.12 درجه و قدرت تفکیک زمانی ۳ ساعته و ماهانه در دسترس می‌باشد (Miri et al. 2016; Benjamin et al. 2010). محصولات این مدل از تارنماهای ناسا و جیووانی قابل دریافت می‌باشند.

۴-۲- داده‌های ESA CCI SM^v

مجموعه داده‌های رطوبت خاک بخش تغییر اقلیم سازمان

¹Global Land Data Assimilation System

²Goddard Space Flight Center

³National Marine Environmental Forecasting Center

⁴The National Oceanic and Atmospheric Administration

⁵The National Aeronautics and Space Administration

⁶Giovanni

⁷European Space Agency Climate Change Initiative Soil Moisture

دو سال حذف شد. داده‌های مرکز GLDAS و سنجنده‌های SMAP و محصول ترکیبی ماهواره‌ای ESA CCI SM از تارنمای ناسا برای دوره مورد مطالعه دریافت شد. با توجه به اینکه داده‌های مورد نظر با فرمت NC و همچنین به صورت تک فایل و با قدرت تفکیک مکانی روزانه در اختیار کاربر قرار داده می‌شود، داده‌های دریافتی برای GLDAS، SMAP و ESA CCI SM به صورت جداگانه در محیط متلب به داده‌های متنی برای سطح استان لرستان تبدیل شد. پس از پردازش داده‌های ایستگاهی و داده‌های برآوردی حاصل از GLDAS، SMAP و ESA CCI SM یک ماتریس همسان از داده‌های پردازش شده چهار منبع ایجاد شد. قابل ذکر است با توجه به اینکه واحدهای اندازه‌گیری مقادیر رطوبت خاک توسط منابع یاد شده، به صورت درصد، کیلوگرم-مترمربع و به صورت متفاوت است، از این رو قبل از انجام مقایسه داده‌ها با هم، در ابتدا با استفاده از رابطه (۱) شماره استاندارد داده‌های هر منبع به منظور یکسان‌سازی واحد آن‌ها محاسبه و در ادامه مقایسه و ارزیابی دقت آن‌ها در مقابل داده‌های ایستگاهی انجام شد.

مستقیمی با ضریب همبستگی دارد؛ به این ترتیب که با جذر گرفتن از ضریب تعیین می‌توان ضریب همبستگی میان دو سری مورد بررسی را به دست آورد. همانند ضریب همبستگی هر چه مقدار ضریب تعیین به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده ارتباط قوی‌تر میان دو متغیر است. برای شاخص‌های RMSE و MAD هرچه این مقادیر به صفر نزدیک‌تر باشند نشان‌دهنده دقت بالای مدل و خطای کمتر و مقدار صفر نشان‌دهنده عدم وجود خطا در برآورد مدل است. در روابط (۳) و (۴) بالا Ft مقدار پیش‌بینی شده، At مقدار مشاهده شده و N تعداد داده‌ها یا طول سری زمانی می‌باشد (Miri et al. 2019; Amini et al. 2016).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور

شکل (۳) وضعیت رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور طی دوره مورد مطالعه را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۳) مشخص است، به تبع از ویژگی‌های اقلیمی منطقه و به‌ویژه فصل بارش، مقادیر رطوبت خاک ایستگاه هم‌زمان با شروع فصل بارشی و کاهش دما، با افزایش همراه شده که این روند افزایشی تا شروع دوره گرم منطقه یعنی اواسط بهار ادامه پیدا می‌کند. در مقابل با شروع دوره گرم سال و به‌ویژه فصل تابستان روند کاهشی مقادیر رطوبت خاک منطقه شروع و تا اواسط پاییز و شروع دوره سرد سال و آغاز بارش‌ها ادامه پیدا می‌کند. در مقیاس ماهانه، معمولاً بیشینه مقادیر رطوبت خاک در ماه فروردین و کمینه در مهر صورت می‌گیرد. از نظر عمقی، کمترین مقدار رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور طی دوره مورد مطالعه در عمق ۵ سانتیمتری و بیشترین رطوبت خاک در عمق ۱۰۰ cm ثبت شده است. اختلاف مقادیر رطوبت خاک در اعماق مختلف در زمستان - بهار کم ولی در تابستان - پاییز زیاد می‌شود. طی دوره ۳ ساله ۲۰۱۸-۲۰۲۰ متوسط حجمی رطوبت خاک منطقه مورد بررسی در اعماق ۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰ و ۱۰۰ cm به ترتیب ۱۳/۸۶، ۱۶/۷۴، ۲۰/۱۷، ۲۴/۷۵، ۲۷/۹۶ و ۲۹/۶۰٪ ثبت شده است. همان‌طور که از مقادیر متوسط رطوبت خاک در اعماق مختلف مشخص است، مطابق انتظار با فاصله از سطح زمین و حرکت به سمت عمق، مقدار رطوبت خاک به دلایلی چون کاهش دما، کاهش تبخیر و کاهش دخالت‌های انسانی افزایش می‌یابد.

$$Z = \frac{S_i - \bar{S}}{SD} \quad (1)$$

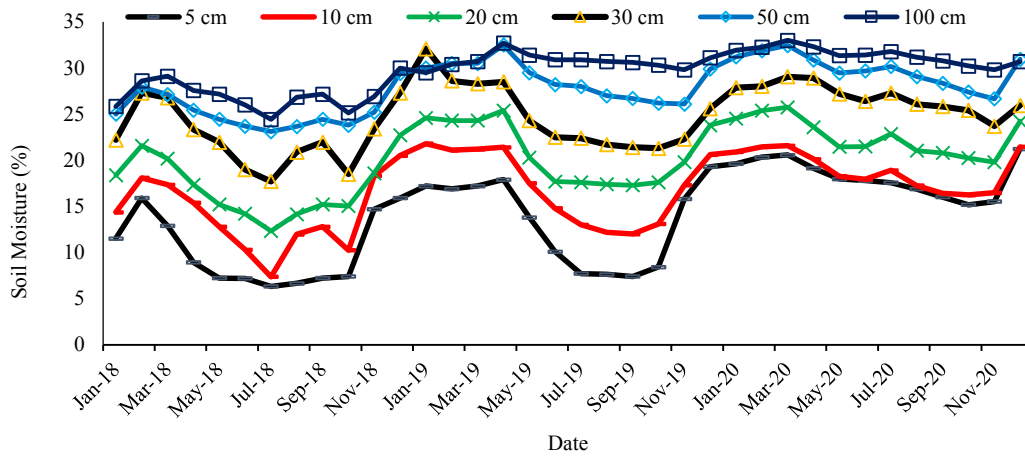
که، Z شاخص استاندارد رطوبت خاک، S_i رطوبت خاک یک دوره معین، \bar{S} متوسط درازمدت رطوبت خاک و SD انحراف معیار داده‌ها می‌باشد. به منظور اعتبارسنجی داده‌های مدل GLDAS، سنجنده SMAP و ESA CCI SM در مقابل داده‌های ایستگاهی، از ضریب تعیین (R^2)، ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین قدر مطلق خطا (MAD) بر اساس روابط (۲)، (۳) و (۴) استفاده شد. در نهایت نتایج حاصل از صحت‌سنجی داده‌های رطوبت خاک برآوردی در مقابل داده‌های رطوبت خاک ایستگاهی به صورت نمودار و جدول ارائه شد.

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

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (3)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (4)$$

ضریب تعیین که به شکل رابطه (۲) بیان می‌شود یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی ارتباط میان دو متغیر X و Y است که به صورت بی بعد نمایش داده می‌شود. این ضریب ارتباط



شکل ۳- مقادیر رطوبت خاک در اعماق (۵، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، و ۱۰۰ cm) طی دوره ۲۰۱۸-۲۰۲۰ در ایستگاه سیلاخور لرستان
 Fig. 3 Soil moisture values in the depths of (5,10,20,30,50 and 100 cm) during the period of 2018-2020 in Silakhor Station of Lorestan

جدول ۱- مقادیر شاخص Z-Score رطوبت خاک برای ایستگاه سیلاخور، مدل GLDAS و ماهواره‌های SMAP و ESA CCI SM

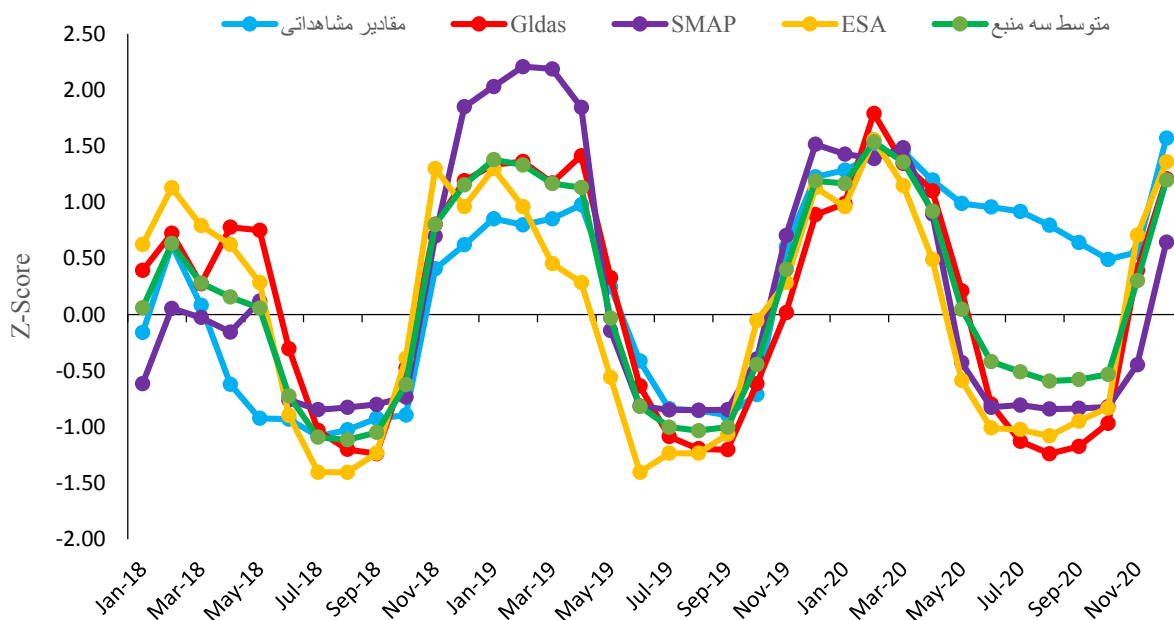
Table 1 Soil moisture Z-Score index values for Silakhor station, GLDAS model and SMAP and ESA CCI SM satellites

Time	Silakhor	Gldas	SMAP	ESA	Average
Jan-18	-0.16	0.39	-0.61	0.62	0.06
Feb-18	0.62	0.72	0.06	1.13	0.63
Mar-18	0.08	0.27	-0.03	0.79	0.28
Apr-18	-0.62	0.78	-0.16	0.62	0.16
May-18	-0.92	0.75	0.12	0.29	0.06
Jun-18	-0.93	-0.30	-0.76	-0.90	-0.72
Jul-18	-1.09	-1.03	-0.85	-1.40	-1.09
Aug-18	-1.03	-1.20	-0.83	-1.40	-1.11
Sep-18	-0.92	-1.24	-0.80	-1.24	-1.05
Oct-18	-0.89	-0.48	-0.73	-0.39	-0.62
Nov-18	0.41	0.80	0.70	1.30	0.80
Dec-18	0.62	1.19	1.85	0.96	1.16
Jan-19	0.85	1.34	2.03	1.30	1.38
Feb-19	0.80	1.36	2.21	0.96	1.33
Mar-19	0.85	1.17	2.19	0.45	1.17
Apr-19	0.98	1.42	1.85	0.29	1.13
May-19	0.25	0.33	-0.14	-0.56	-0.03
Jun-19	-0.41	-0.64	-0.82	-1.40	-0.82
Jul-19	-0.84	-1.09	-0.85	-1.24	-1.00
Aug-19	-0.85	-1.19	-0.85	-1.24	-1.03
Sep-19	-0.89	-1.20	-0.85	-1.07	-1.00
Oct-19	-0.71	-0.61	-0.39	-0.05	-0.44
Nov-19	0.60	0.02	0.71	0.29	0.40
Dec-19	1.23	0.89	1.52	1.13	1.19
Jan-20	1.29	0.99	1.43	0.96	1.17
Feb-20	1.41	1.79	1.39	1.56	1.54
Mar-20	1.45	1.35	1.49	1.15	1.36
Apr-20	1.20	1.10	0.90	0.49	0.92
May-20	0.99	0.21	-0.43	-0.59	0.05
Jun-20	0.96	-0.80	-0.83	-1.01	-0.42
Jul-20	0.92	-1.13	-0.81	-1.02	-0.51
Aug-20	0.80	-1.24	-0.84	-1.08	-0.59
Sep-20	0.64	-1.17	-0.84	-0.95	-0.58
Oct-20	0.49	-0.97	-0.82	-0.83	-0.53
Nov-20	0.55	0.39	-0.45	0.71	0.30
Dec-20	1.57	1.21	0.65	1.36	1.20

۳-۲- رطوبت خاک مدل GLDAS و ماهواره‌های ESA CCI SM و SMAP

منطقه مورد مطالعه با کم برآوردی همراه است. همان‌طور که در روش پژوهش بیان شد داده‌های رطوبت خاک برآوردی توسط مرکز فضائی تغییر اقلیم اروپا نیز در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفت که مقایسه داده‌های این منبع با مقادیر ثبت شده در ایستگاه سیلاخور بیان کننده بیش برآوردی ESA CCI SM نسبت به ایستگاه است. با وجود این همانند GLDAS و SMAP این منبع نیز رفتار زمانی رطوبت خاک منطقه مورد مطالعه را به خوبی و با دقت مناسبی برآورد می‌کند. متوسط رطوبت خاک برآوردی توسط سه منبع یاد شده در مقابل داده‌های ایستگاه سیلاخور نشان داد که نه تنها رفتار زمانی آنها به داده‌های ثبت شده از شباهت بیشتری برخوردار شده است، بلکه از نظر مقدار نیز به داده‌های ثبت شده در ایستگاه سیلاخور شبیه‌تر شده است. پردازش و بررسی داده‌های رطوبت خاک حاصل از ماهواره SMAP، مرکز فضائی تغییر اقلیم اروپا و مدل GLDAS نشان داد که از نظر زمانی مقادیر ثبت شده توسط این منابع، رفتاری مشابه با داده‌های ایستگاهی دارند؛ چرا که کمینه‌ها و بیشینه‌های رطوبت خاک ثبت شده توسط این دو منبع همانند داده‌های ایستگاهی است.

جدول (۱) مقادیر شاخص Z-Score رطوبت خاک ثبت شده در ایستگاه سیلاخور و همچنین مقادیر رطوبت خاک برآوردی به وسیله سه منبع مورد بررسی را نشان می‌دهد. براساس مقادیر شاخص Z به دست آمده برای هر منبع و مقایسه آنها با هم می‌توان گفت که مقادیر برآوردی رطوبت خاک GLDAS در مقایسه با رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور در فصول مرطوب اختلاف بیشتری دارند و در فصول خشک نزدیک به هم می‌شوند. این شرایط در دوره گرم سال و به‌ویژه در تابستان که شرایط جوی پایداری بر منطقه ساکن است به خوبی قابل مشاهده است. البته این در حالی است که می‌توان فصل خشک سال ۲۰۲۰ را استثنا کرد. در مجموع براساس جدول (۱) و شکل (۴) می‌توان گفت که مدل GLDAS در برآورد رطوبت خاک منطقه با بیش برآوردی همراه است. مقایسه مقادیر رطوبت خاک برآوردی حاصل از تصاویر ماهواره SMAP در مقابل داده‌های رطوبت خاک ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سیلاخور نشان داد که در حالت کلی رفتار زمانی مقادیر رطوبت خاک این ماهواره نیز شبیه به داده‌های رطوبت خاک ثبت شده در ایستگاه است که از نظر کلی دارای دقت مناسبی است. با وجود این از نظر مقدار دقیق برآورد رطوبت خاک منطقه، ماهواره SMAP در



شکل ۴- مقادیر رطوبت خاک ماهواره SMAP، ESA CCI SM، GLDAS، ترکیبی سه منبع در مقابل مقادیر مشاهداتی رطوبت خاک

Fig. 4 Soil moisture values for SMAP، ESA CCI SM، GLDAS and their combined with Silakhor Station of Lorestan

شکل (۴) نشان می‌دهد هر چند از نظر مقدار رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در ایستگاه سیلاخور با مقادیر برآوردی بین منابع مورد بررسی، اختلاف وجود دارد، با این وجود هماهنگی با کاهش و افزایش مقدار رطوبت خاک مشاهداتی در ایستگاه سیلاخور، مقادیر رطوبت خاک برآوردی نیز با کاهش و افزایش همراه شده است و از رفتار مشابهی برخوردارند.

۳-۳- ارزیابی صحت داده‌های رطوبت خاک برآوردی
جدول (۲) مقادیر آماره همبستگی و ضریب تعیین بین داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از ماهواره SMAP، ESA CCI SM مدل و GLDAS و ترکیب سه منبع در مقابل داده‌های ثبت شده در ایستگاه هواشناسی سیلاخور را نشان می‌دهد.

جدول ۲- مقادیر آماره‌های ضریب تعیین، ریشه دوم میانگین مربع خطا و میانگین قدر مطلق خطا داده‌های رطوبت خاک SMAP, GLDAS, ESA و ترکیب آنها در مقابل داده‌های ایستگاه سیلاخور

Table 2 R², RMSE and MAD values between Soil Moisture Silakhor Station and SMAP, ESA CCI SM, GLDAS

Soil Moisture	R ²	RMS E	MA D
Station- SMAP	0.39	0.70	0.58
Station - GLDAS	0.52	0.73	0.51
Station - ESA CCI SM	0.35	0.78	0.63
Station - SMAP, GLDAS, ESA	0.59	0.51	0.38

بر اساس مقادیر آماره ضریب تعیین، داده‌های مدل GLDAS نسبت به ماهواره SMAP و ESA CCI SM از دقت بالاتری برای برآورد رطوبت خاک منطقه برخوردارند. کمترین ارتباط بین داده‌های مشاهده‌ای با مقادیر برآوردی رطوبت خاک توسط منابع مختلف، برای داده‌های ESA CCI SM با مقدار ضریب تعیین ۰/۳۵ و ضریب همبستگی

یکی از دلایل برآورد بهتر رطوبت خاک منطقه توسط GLDAS نسبت به داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند در نتیجه دخالت دادن تصاویر ماهواره‌ای و پارامترهای اقلیمی در شبیه‌سازی رطوبت خاک توسط GLDAS باشد، در حالی که داده‌های رطوبت خاک با منشأ ماهواره‌ای تنها براساس مقادیر انرژی دریافتی از عوارض سطح زمین برآورد می‌شود. بررسی مقادیر متوسط رطوبت خاک ترکیبی سه منبع یاد شده در مقابل داده‌های ایستگاهی سیلاخور نشان داد که ارتباط بین آنها به میزان قابل قبولی افزایش پیدا می‌کند چرا که مقدار ضریب تعیین به ۰/۵۹ و مقدار ضریب همبستگی به ۰/۷۷ می‌رسد که این مقدار از ضریب همبستگی نشان‌دهنده دقت مناسب داده‌های ترکیبی رطوبت خاک در مقابل داده‌های مشاهده‌ای است. از این رو می‌توان گفت که داده‌های رطوبت خاک حاصل از منابع ترکیبی همانند مدل GLDAS و داده‌های ماهواره‌ای ESA CCI SM نسبت به داده‌های رطوبت خاک مبتنی بر یک حس‌گر و یا منبع از دقت بالاتری برخوردارند. در مطالعات انجام شده همچون (Dorigo et al., 2017; Chen et al., 2018; Gruber et al., 2019) نیز تأکید شده است که کارایی محصولات ادغام شده عموماً از محصولات ورودی تک حس‌گر بهتر است. با وجود این کارایی مناسب محصولات SMAP نیز در بسیاری مطالعات همانند (Colliander et al., 2017) تأیید شده است.

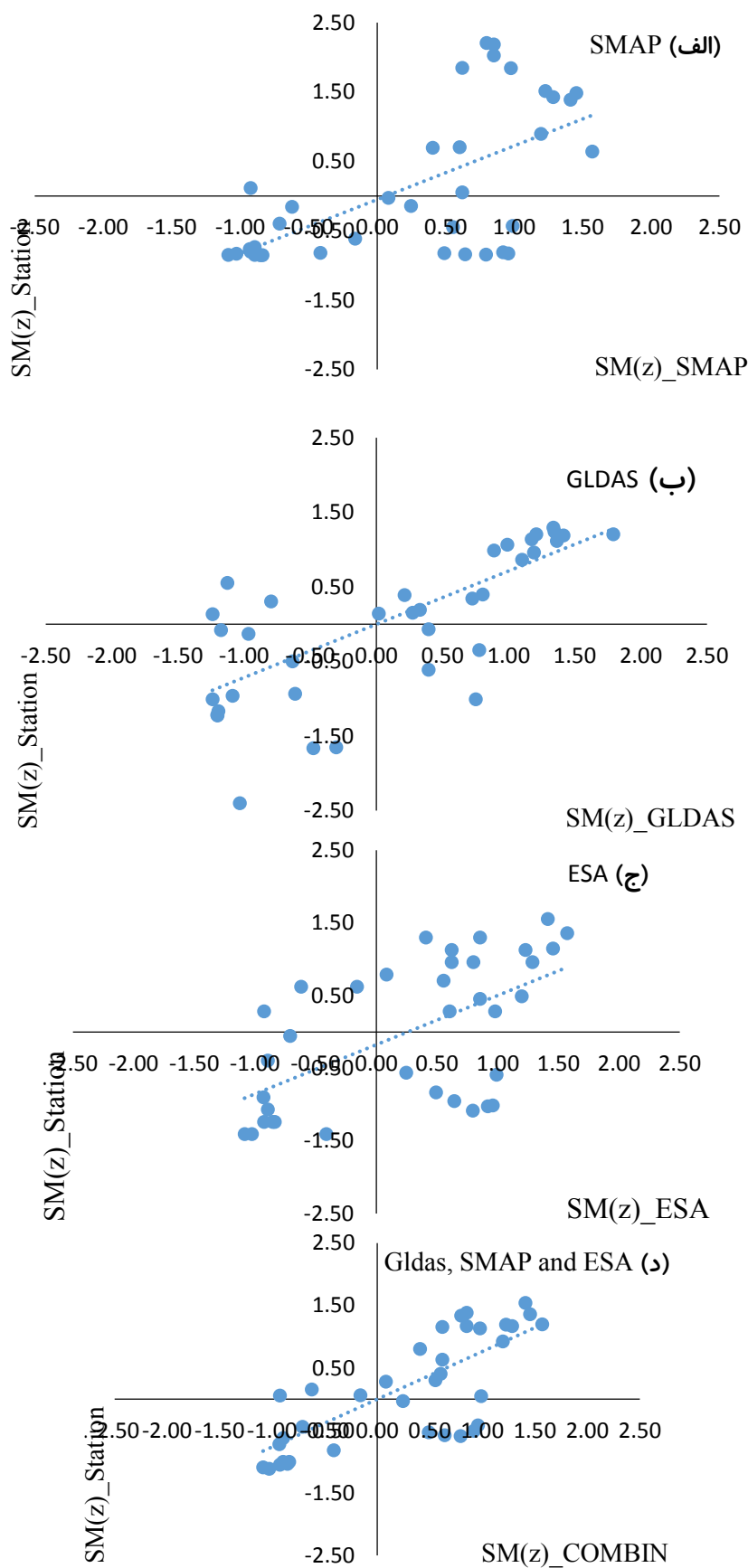
جدول ۲- مقادیر آماره‌های ضریب تعیین، ریشه دوم میانگین مربع خطا و میانگین قدر مطلق خطا داده‌های رطوبت خاک SMAP, GLDAS, ESA و ترکیب آنها در مقابل داده‌های ایستگاه سیلاخور

جدول ۲- مقادیر آماره‌های ضریب تعیین، ریشه دوم میانگین مربع خطا و میانگین قدر مطلق خطا داده‌های رطوبت خاک SMAP, GLDAS, ESA و ترکیب آنها در مقابل داده‌های ایستگاه سیلاخور

Table 2 R², RMSE and MAD values between Soil Moisture Silakhor Station and SMAP, ESA CCI SM, GLDAS

Soil Moisture	R ²	RMS E	MA D
Station- SMAP	0.39	0.70	0.58
Station - GLDAS	0.52	0.73	0.51
Station - ESA CCI SM	0.35	0.78	0.63
Station - SMAP, GLDAS, ESA	0.59	0.51	0.38

بر اساس مقادیر آماره ضریب تعیین، داده‌های مدل GLDAS نسبت به ماهواره SMAP و ESA CCI SM از دقت بالاتری برای برآورد رطوبت خاک منطقه برخوردارند. کمترین ارتباط بین داده‌های مشاهده‌ای با مقادیر برآوردی رطوبت خاک توسط منابع مختلف، برای داده‌های ESA CCI SM با مقدار ضریب تعیین ۰/۳۵ و ضریب همبستگی



شکل ۵- مقادیر ضریب تعیین بین رطوبت خاک بدون بعد (Z-Score) برآوردی توسط الف - ماهواره SMAP ب-مدل GLDAS ج- داده‌های ESA، و د- ترکیب منابع مختلف در مقابل داده‌های رطوبت خاک بدون بعد (Z-Score) ایستگاه سیلاخور
 Fig. 5 R² value between Soil Moisture (z) Station and Soil Moisture (z) of a) SMAP, b) GLDAS, c) ESA, and d) combinatorial

۴- نتیجه گیری

با توجه به نقش مهم و کلیدی رطوبت خاک در مطالعات هیدرو-اقلیم و همچنین عدم توزیع مناسب و کافی ایستگاه‌های هواشناسی کشاورزی برداشت کننده رطوبت خاک و در دسترس نبودن آمار طولانی مدت این متغیر در ایران و منطقه مورد مطالعه، این پژوهش با هدف اعتبارسنجی داده‌های رطوبت خاک برآوردی حاصل از ماهواره SMAP، ESA CCI SM و مدل GLDAS به منظور استفاده از داده‌های آنها به عنوان معرفی یک منبع جایگزین منبع در مطالعات مختلف هیدرو-اقلیم و مطالعات مرتبط، تدوین شد. برای این منظور از داده‌های روزانه ایستگاه هواشناسی سیلاخور، داده‌های روزانه رطوبت خاک برآوردی توسط ماهواره SMAP، ESA CCI SM و مدل GLDAS طی دوره ۲۰۱۶-۲۰۲۰ استفاده شد. نتایج این پژوهش به صورت زیر می‌باشد:

۱- که مقادیر رطوبت خاک منطقه همانند سایر نواحی، تابع ویژگی‌های محیطی و اقلیمی است. همچنین مشخص شد هرچند بین مقادیر برآوردی با مقادیر مشاهداتی اختلاف وجود دارد و برخی منابع با بیش برآوردی و یا کم برآوردی رطوبت خاک همراه هستند، با وجود این تغییرات زمانی و رفتار کلی رطوبت خاک استان لرستان را به خوبی نشان می‌دهند.

۲- نتایج نشان داد که ESA CCI SM و GLDAS در برآورد رطوبت خاک منطقه با بیش برآوردی و ماهواره SMAP با کم برآوردی رطوبت خاک همراه هستند.

۳- مقایسه مقادیر ضریب تعیین سه منبع مورد بررسی در

مقابل داده‌های رطوبت خاک ایستگاه سیلاخور نشان داد که داده‌های مرکز GLDAS، ESA CCI SM و ماهواره SMAP به ترتیب از بیشترین دقت برخوردارند.

۴- ترکیب داده‌های رطوبت خاک برآوردی توسط سه منبع مختلف و مقایسه آن‌ها در برابر داده‌های مشاهده‌ای بیانگر افزایش قابل توجه دقت آنها در برابر داده‌های مشاهداتی است.

با توجه به اینکه داده‌های سه منبع فوق در حالت کلی از دقت مناسبی برخوردارند و در مقیاس وسیع می‌توانند تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک مناطق مختلف کشور را نشان دهند، از این رو پیشنهاد می‌شود که از داده‌های ترکیبی دو منبع ماهواره‌ای ESA CCI SM و SMAP و داده‌های رطوبت خاک حاصل از مدل GLDAS برای مطالعات مرتبط با منابع آب و تغییر اقلیم استفاده شود. همچنین پیشنهاد می‌شود که در پژوهش‌های آینده به بحث ریزمقیاس‌نمایی داده‌های رطوبت خاک GLDAS، ESA CCI SM و SMAP پرداخته شود و ارزیابی دقت آنها در سطح بیشتری از کشور ایران انجام شود.

دسترسی به داده‌ها

داده‌های استفاده شده (یا تولید شده) در این پژوهش در متن مقاله ارائه شده است.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که، هیچ‌گونه تضاد منافعی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

References

- Ahmadi, M., Nosrati, K., & Salki, H. (2013). Drought and its relationship with soil moisture. *Geora.*, 38, 77-91 [in Persian].
- Albergel, C., De Rosnay, P., Gruhier, C., Munoz-Sabater, J., Hasenauer, S., Isaksen, L., Kerr, Y. F., & Wagner, W. (2011). Evaluation of remotely sensed and modelled soil moisture products using global ground-based *in situ* observations. *Tech. Memor.*, 652, 1-25, DOI: [10.1016/j.rse.2011.11.017](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.017).
- Amini, A., Abdeh Kolahchi, A., Nadhir Al-Ansari, N., Karami Moghadam, M., & Mohammad, T. (2019). Application of TRMM precipitation data to evaluate drought and its effects on water resources instability. *Appl. Sci.*, 9(24), DOI: [10.3390/app9245377](https://doi.org/10.3390/app9245377).
- Azizi, G., Safarrad, T., Mohammadi, H., & Faraji Sabokbar, H. A. (2016). Evaluation and Comparison of Reanalysis Precipitation Data in Iran. *Phys. Geogra. Res. Quart.*, 48(1), 33-49. DOI: [10.22059/JPHGR.2016.57026](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2016.57026), [in Persian].
- Babaeian, E., Homae, M., & Noroozi, A.A. (2014). Retrieving surface soil water content using ENVISAT ASAR RADAR data in a semi-arid region of Iran. *Water Res. Agri.*, 27(4), 611-622. DOI: [10.22092/jwra.2014.128867](https://doi.org/10.22092/jwra.2014.128867) [in Persian].

- Babazadeh, H., Norouzi Aghdam, Elnaz., Aghighi, H., Shamsnia, S. A., & Khodadadi dehkordi, D. (2012). Estimation of soil surface moisture in arid and semi-arid rangelands using remotely sensed temperature/vegetation index measurements, Case study: Khorasan Province. *Iran. J. Range Desert Res.*, 19(1), 120-132, DOI: [10.22092/ijrdr.2012.103074](https://doi.org/10.22092/ijrdr.2012.103074) [in Persian].
- Bahmani, O., & Ramazani, B. (2014). Evaluation of the performance of pedotransfer functions for estimating soil moisture retention curve with SWRC model. *J. Water Res. Agri.*, 28(4), 773-785. DOI: [10.22092/jwra.2015.100831](https://doi.org/10.22092/jwra.2015.100831) [in Persian].
- Benjamin, F.Z., Matthew, R., & Francisco, O. (2010). Evaluation of the global land data assimilation system using global river discharge data and a source-to-sink routing scheme. *Water Resour. Res.*, 46, W06507. DOI: [10.1029/2009WR007811](https://doi.org/10.1029/2009WR007811).
- Brocca, L., Moramarco, T., Melone, F., Wagner, W., Hasenauer, S., & Hahn, S. (2012). Assimilation of surface- and root-zone ASCAT soil moisture products into rainfall-runoff modeling. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 50(7), 2542-2555. DOI: [10.1109/TGRS.2011.2177468](https://doi.org/10.1109/TGRS.2011.2177468).
- Cashion, J., Lakshmi, V., Bosch, D., & Jackson, T. (2005). Microwave remote sensing of soil moisture: Evaluation of the TRMM microwave imager (TMI) satellite for the Little River Watershed Tifton, Georgia. *J. Hydrol.*, 307(1), 242-253. DOI: [10.1016/j.jhydrol.2004.10.019](https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2004.10.019).
- Chen, F., Crow, W. T., Bindlish, R., Colliander, A., Burgin, M. S., Asanuma, J., & Aida, K. (2018). Global-scale evaluation of SMAP, SMOS and ASCAT soil moisture products using triple collocation. *Remote Sens. Environ.*, 214, 1-13. DOI: [10.1016/j.rse.2018.05.008](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.008).
- Chen, Y., Yang, K., Qin, J., Zhao, L., Tang, W., & Han, M. (2013). Evaluation of AMSR-E retrievals and GLDAS simulations against observations of a soil moisture network on the central Tibetan Plateau. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, 1-10. DOI: [10.1002/jgrd.50301](https://doi.org/10.1002/jgrd.50301).
- Colliander, A., Jackson, T. J., Bindlish, R., Chan, S., Das, N., & Kim, S. B. (2017). Validation of SMAP surface soil moisture products with core validation sites. *Remote Sens. Environ.*, 191, 215-231. DOI: [10.1016/j.rse.2017.01.021](https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.01.021).
- Das, K., & Paul, P. K. (2015). Soil moisture retrieval model by using RISAT-1, C-band data in tropical dry and sub-humid zone of Bankura district of India. *Egypt. J. Remote Sens. Space Sci.*, 18, 297-310. DOI: [10.1016/j.ejrs.2015.09.004](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.09.004).
- Dehghanpir, S., Bazrafshan, O., & Asgarinejad, A. (2014). Drought and its relationship with soil moisture (case study: Bandar Abbas meteorological station), The first regional conference on sea, development and water resources of the coastal areas of the Persian Gulf, Bandar Abbas. [in Persian].
- Dorigo, W.A., Wagner, W., Albergel, C., Albrecht, F., Balsamo, G., & Brocca, L., (2017). ESA CCI Soil Moisture for improved Earth system understanding: State-of-the art and future directions. *Remote Sens. Environ.*, 203, 185-215. DOI: [10.1016/j.rse.2017.07.001](https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.001).
- Erfanian, M., Kazempour, S., & Heidari, H. (2014). Calibration of TRMM satellite 3B42 and 3B43 rainfall data in climatic zones of Iran. *Phys. Geogra. Res. Quart.*, 48(2), 287-303 DOI: [10.22059/JPHGR.2016.59370](https://doi.org/10.22059/JPHGR.2016.59370) [in Persian].
- Gruber, A., Scanlon, T., Schalie, R. V., Wagner, W., & Dorigo, W. (2019). Evolution of the ESA CCI Soil Moisture climate data records and their underlying merging methodology. *Earth Syst. Sci. Data*, 11, 717-739. DOI: [10.5194/essd-11-717-2019](https://doi.org/10.5194/essd-11-717-2019).
- Koster, R. D., Mahanama, S. P. P., Livneh, B., Lettenmaier, D. P., & Reichle, R. H. (2010). Skill in streamflow forecasts derived from large-scale estimates of soil moisture and snow. *Nat. Geosci.*, 3, 613-616. DOI: [10.1038/NGEO944](https://doi.org/10.1038/NGEO944).
- Liu, Y. Y., Parinussa, R. M., Dorigo, W. A., De Jeu, R. A. M., Wagner, W., Van Dijk, A. I. J. M., & Evans, J. P. (2011). Developing an improved soil moisture dataset by blending passive and active microwave satellite-based retrievals. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(2), 425-436. DOI: [10.5194/hess-15-425-2011](https://doi.org/10.5194/hess-15-425-2011).
- Miri, M. (2016). Analysis of Relationship between Climate Change and Zagros forests decline (A case study: Ilam Region), PhD Thesis, Faculty of Geography, University of

- Tehran. [in Persian].
- Miri, M., Azizi, G., Mohammadi, H., & Pourhashemi, M. (2018). Introduction and evaluation of global model of land data assimilation. *Sci. Res. Quart. Geogra. Data (SEPEHR)*, 26(104), 5-17. DOI: [10.22131/sepehr.2018.30514](https://doi.org/10.22131/sepehr.2018.30514) [in Persian].
- Miri, M., Raziei, T., & Rahimi, M. (2016). Evaluation and statistically comparison of TRMM and GPCP datasets with observed precipitation in Iran. *J. Earth Space Phys.*, 42(3), 657-672. DOI: [10.22059/JESPHYS.2016.56102](https://doi.org/10.22059/JESPHYS.2016.56102) [in Persian].
- Rahmanikam, A. (2015). Extraction and trending of soil moisture using remote sensing satellite data, Master thesis, Shahrood University of Technology. [in Persian].
- Scanlon, T., Pasik, A., Dorigo, W., de Jeu, R. A. M., Hahn, S., van der Schalie, R., Wagner, W., Kidd, R., Gruber, A., Moesinger, L., Preimesberger, W., van der Vliet, M., & Stradiotti, P. (2022). Algorithm theoretical baseline document (ATBD) supporting product Version 07.1, Earth Observation Data Centre for Water Resources Monitoring (EODC) GmbH. Available at: <https://www.cen.uni-hamburg.de/en/icdc/data/land/docs-land/esa-cci-sm-rd-d2-1-v3-atbd-v07-1-issue-1-0.pdf>.
- Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., & Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth Sci. Rev.*, 99, 125–161. DOI: [10.1016/j.earscirev.2010.02.004](https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2010.02.004)
- Spennemann, P. C., Rivera, J. A., Saulo, A. C., & PENalba, O. C. (2015). A comparison of GLDAS soil moisture anomalies against standardized precipitation index and multisatellite estimations over south America. *J. Hydrometeorol.*, 16, 159-171. DOI: [10.1175/JHM-D-13-0190.1](https://doi.org/10.1175/JHM-D-13-0190.1).
- Taylor, C. M., De Jeu, R. A. M., Guichard, F., Harris, P. P., & Dorigo, W. A. (2012). Afternoon rain more likely over drier soils. *Nat.*, 489, 282–286. DOI: [10.1038/nature11377](https://doi.org/10.1038/nature11377).
- Wang, L., & Qu, J. J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Front. Earth Sci. China*, 3(2), 237-247. DOI: [10.1007/s11707-009-0023-7](https://doi.org/10.1007/s11707-009-0023-7).
- Wu, R., & Kinter, J. (2009). Analysis of the relationship of U.S. droughts with SST and soil moisture: distinguishing the time scale of droughts. *J. Climat.*, 22, 4520- 4538. DOI: [10.1175/2009JCLI2841.1](https://doi.org/10.1175/2009JCLI2841.1).
- Yuan, S., & Quiring, S. M. (2017). Evaluation of soil moisture in CMIP5 simulations over the contiguous United States using in situ and satellite observations. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 21, 2203–2218. DOI: [10.5194/hess-21-2203-2017](https://doi.org/10.5194/hess-21-2203-2017).
- Zarenejad, F. (2012). Estimation of surface soil moisture using improved triangle method and soil index, Master thesis, Faculty of Technology and Engineering, Isfahan University, pp 155. [in Persian].

How to cite this paper:

Abdeh Kolahchi, A., Miri, M., Zand, M. and Porhemmat, J. (2023). Evaluation of satellites and model-based surface soil moisture datasets with ground-based observations (Case study: Lorestan Province). *Environ. Water Eng.*, 9(4), 548-562. DOI: [10.22034/EWE.2023.367471.1819](https://doi.org/10.22034/EWE.2023.367471.1819).