Soil moisture estimation based on MODIS NDVI and LST productions in areas with no data

Mina Eghtedarnezhad [a], Hossein Malekinezhad [*b], Elham Rafiei-Sardooi[c]
[a] *Ph.D Student in Watershed Sciences and Engineering. Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd.*
[b] *Associate Professor Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd.*
[C] *.Associate Professor Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Kerman.*

Research Full Paper
Article History (Received: 2023/11/3 Accepted: 2024/04/14)

Extended abstract

1- Introduction

Soil moisture can be considered in the control of desertification, agricultural activities, watershed management and optimal management of water resources. Since the country of Iran is facing many problems in these fields, the expansion of studies in the field of accurate estimation of soil moisture becomes important (Mehrabi et al., 2019). The GLDAS system may have a high error compared to the measured data in some areas. Therefore, it is necessary before the data and results of this product are used as a decision-making tool in the region. The quality of these data should be evaluated locally using ground-measured data (Polo et al, 2016 & Sanchez-Lorenzo et al, 2013 & Zhang, 2019).In this study, Terra MODIS data was used to estimate soil moisture due to higher spatial resolution (1 km). Due to the fact that it is difficult to estimate the humidity time series in the field, and radar remote sensing methods produce humidity maps with low spatial resolution. Therefore, in this study, a new method was introduced to prepare a soil moisture map with higher spatial resolution based on NDVI and LST MODIS products.The purpose of this study is to estimate soil moisture in Jiroft city using the products of the Morris sensor and NDVI and LST indices. Considering that Jiroft plain is one of the agricultural poles of Iran. Estimating the time series of soil moisture and then providing a drought index based on soil moisture is a useful method for investigating agricultural drought in the study area.

3- Results

LST and NDVI have high relative importance in arid regions (Park et al, 2016). In the study area, an algorithm based on remote sensing was used for soil moisture time series due to the lack of access to soil moisture time series. Moody's LST and NDVI products with a resolution of 1 square kilometer were used during 2007-2022. Then multiple linear regression was created using OLS method between soil moisture observations (2021 and 2022) and NDVI and LST time series data. Based on the results, both independent variables NDVI and LST were significant at the 99% level (p-value<0.01). VIF values were less than 10. Therefore, there is no linearity between the independent variables. The standard error is small, which indicates that the estimated value is exactly the true value. The value of t statistic of two variables is higher than 2, which is considered statistically significant. In general, $R^2 = 0.78$ and it shows the accuracy of soil moisture estimation method. R^2 was obtained as 0.74 and 0.8 in the years 2021 and 2022, respectively, which indicates the accuracy of the predicted values.

* **Corresponding Author: hmalekinezhad@yazd.ac.ir**

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

4- Discussion & Conclusions

Estimation of spatial and temporal changes of soil moisture is an important issue in low data areas such as Iran. We proposed a multiple regression model based on Modis NDVI and LST to obtain surface soil moisture at a regional scale. The results showed that the multivariate linear regression method can be used to estimate soil moisture products with high resolution in areas with little data in the surface layers of the soil. Park et al. (2016) stated that LST and NDVI have high relative importance in arid regions. In the studied area, according to previous studies (Bai et al, 2020 & Wang et al, 2007), an algorithm based on remote sensing was used for soil moisture time series due to the lack of access to soil moisture time series became. Moody's LST and NDVI products with a resolution of 1 square kilometer were used during 2007-2022. Then multiple linear regression was created between soil moisture observations (2021 and 2022) and NDVI and LST time series data using OLS method. Based on the results of simulated soil moisture changes and the OLS method in estimating soil moisture (0-30 cm), both independent variables NDVI and LST were significant at the 99% level (p-value <0.01)). VIF values are less than 10 Therefore, there is no linearity between the independent variables. The standard error is small, which indicates that the estimated value is exactly the true value. The value of t statistic of two variables is higher than 2, which is considered statistically significant. Overall, R2 was 0.7 And it showed the accuracy of the soil moisture estimation method, which is consistent with the results of (Khanmohammadi et al, 2008 & Lin et al, 2015).

Key Words: Soil Moisture, Remote Sensing, NDVI, LST.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

Cite this article: Eghtedarnezhad, M., Malekinezhad, H., & Rafiei-Sardooi, E. (2024). Soil moisture estimation based on MODIS NDVI and LST productions in areas with no data. *Journal of* Environmental *Erosion Research. 2023; 14 (2):141-160.* http//doi.org/

© The Author(s).

Published by Hormozgan University Press.

DOI: http//doi.org/ URL: http://magazine.hormozgan.ac.ir

برآورد رطوبت خاک براساس تولیدات NDVI و LST مودیس در مناطق فاقد داده

مینا اقتدارنژاد: *دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد*
حسین ملکی‌نژاد*: *دانشیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد*
الهام رفیعی ساردوئی: *دانشیار گروه مهندسی طبیعت، دانشکده مهندسی منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت*

نوع مقاله: پژوهشی
تاریخچهٔ مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱/۲۶)
DOI: http//doi.org/

چکیده

برآورد رطوبت خاک سطحی برای مدیریت بهینه منابع آب و خاک ضروری است. رطوبت خاک سطحی، متغیری مهم در چرخه آبی طبیعت است که نقش مهمی در تعادل جهانی آب و انرژی و فرآیندهای هیدرولوژیک، اکولوژیک و هواشناسی دارد. رطوبت خاک به‌دلیل تغییرپذیری ویژگی‌های خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و پویایی نیوار در زمان و مکان تغییر می‌کند. اندازه‌گیری رطوبت خاک، به‌طور مستقیم با استفاده از اندازه‌گیری‌های میدانی مانند نوترون‌متر و TDR* یا به‌طور غیر مستقیم به‌وسیله توابع انتقالی و یا سنجش از دور انجام می‌شود. از آنجا که اندازه‌گیری‌های میدانی معمولا در پهنه‌های وسیع هم هزینه‌بر و هم زمان‌بر و گاهی نشدنی می‌باشد، برای برآورد رطوبت خاک در مقیاس‌های مکانی بسیار بزرگ، می‌توان روش‌هایی همچون سنجش از دور را به‌کار گرفت. این تحقیق با هدف بررسی امکان برآورد رطوبت لایه سطحی خاک با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و مقایسه آن با داده‌های زمینی انجام شد. در این مطالعه، رطوبت خاک در عمق‌های صفر تا سی سانتی‌متر با استفاده از رابطه بین شاخص گیاهی ماهواره‌ای (NDVI†)، دمای سطح زمین (LST‡) و رطوبت مشاهده‌ای خاک در مقیاس منطقه‌ای با تفکیک مکانی یک کیلومترمربع برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ برآورد شد. ضریب تعیین R^2 و AIC معادلات رگرسیون به‌ترتیب ۰/۷۸ و ۱۶۶/۲ به‌دست آمد که نشان می‌دهد رویکرد برآورد بر اساس داده‌های NDVI و LST مودیس، مناسب بوده و می‌تواند برای تخمین رطوبت خاک طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ استفاده شود.

واژگان کلیدی: رطوبت خاک، سنجش از دور، NDVI، LST.

* Time Domain Reflectometry
† Normalized Difference Vegetation Index
‡ Land Surface Temperature

* **نویسندهٔ مسئول:** hmalekinezhad@yazd.ac.ir

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

۱ـ مقدمه

رطوبت خاک، به‌ویژه در لایه سطحی نقش بسیار مهمی در مدیریت منابع آب و خاک، چرخه آبی طبیعت و به‌ویژه مقادیر رواناب سطحی و نفوذ حاصل از بارش دارد. بازیابی داده‌های رطوبت خاک اهمیت شایانی در کاربردهای گوناگون هم‌چون هیدرولوژی، کشاورزی، اقلیم‌شناسی و هواشناسی، علوم خاک، اکولوژی و زراعت، جنگل‌داری و مهندسی منابع آب، تبادل جریان انرژی و آب بین سطح زمین و اتمسفر دارد. تغییرات عواملی مانند بافت خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های آبیاری باعث تغییرپذیری زیاد زمانی - مکانی رطوبت خاک می‌شود (Western and Grayson, 1998 & Lunt et al., 2005). هم‌چنین رطوبت خاک از مولفه‌های اصلی در کنترل بیابان‌زایی، فعالیت‌های کشاورزی، آبخیزداری و مدیریت بهینه منابع آب می‌باشد. از آنجا که کشور ایران با مشکلات زیادی در این زمینه‌ها مواجه است، گسترش مطالعات در زمینه برآورد مناسب رطوبت خاک اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Mehrabi et al., 2019). پیشرفت‌های تکنولوژیک اخیر، امکان استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در اندازه‌گیری رطوبت خاک را فراهم ساخته است (Babaeian, 2013). سنجش از دور می‌تواند در پهنه‌های گسترده و با هزینه قابل قبول، پارامترهای گوناگونی از علوم زمین را برآورد کند که رطوبت خاک یکی از آن‌ها می‌باش. در این زمینه پژوهش‌های زیادی برای برآورد رطوبت خاک با رویکرد سنجش از دور انجام شده است.

دو رویکرد اصلی برای تخمین رطوبت خاک با استفاده از نور مرئی و طول موج‌های نزدیک به فروسرخ وجود دارد که شامل شاخص خشکی گیاهی دما (TVDI) (Rahimzadeh-Bajgiran et al, 2012) و اینرسی حرارتی ظاهری (ATI) (Qin et al, 2013) می‌شود. هر دو رویکرد TVDI و ATI اساساً رابطه بین مقدار رطوبت موجود در خاک و شاخص‌های TVDI یا ATI را لحاظ می‌نمایند و در نتیجه می‌توان رطوبت خاک در سطح یک منطقه را برآورد کرد. پژوهش‌گران از آغاز دهه ۱۹۸۰ شروع به استخراج اطلاعات از پوشش گیاهی زمین به‌وسیله سنجنده‌های ماهواره‌ای کردند. از مهم‌ترین نمایه‌هایی که برای نشان دادن وضعیت پوشش گیاهی و خشکسالی مورد استفاده قرار گرفت می‌توان به NDVI (نمایه تفاوت نرمال شده گیاهی) اشاره کرد که به‌صورت گسترده‌ای برای پایش و ارزیابی پوشش گیاهی روی زمین استفاده می شود. این نمایه از دو باند فروسرخ نزدیک و قرمز استفاده می‌کند و به‌دلیل وابستگی نزدیک بین وضعیت پوشش گیاهی و رطوبت در دسترس خاک، بیشتر مورد توجه قرار گرفته است (Wang, 2005 & Tucher, 1989 & Gutman., 1990).

دمای سطح زمین (LST) یکی از باارزش‌ترین متغیرها برای کاربرد در فرآیندهای هیدرولوژیک، نظارت بر خشکسالی و تغییرات آب و هوایی است (Li et al, 2013 & Halder et al, 2021). شماری از پژوهش‌گران نیز استفاده ترکیبی از اطلاعات ماهواره‌ای دمای سطح زمین (LST) و نمایه‌های گیاهی را در برآورد رطوبت خاک پیشنهاد کرده و باور دارند که ترکیب این داده‌ها می‌تواند اطلاعات بهتری از تنش‌های گیاهی و شرایط رطوبتی سطح زمین فراهم آورد. از طرفی هر دو دارای وضوح مکانی بالاتر برای تخمین رطوبت خاک هستند (Song et al, 2013 & Colliander et al, 2017).

از جمله پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه برآورد رطوبت خاک می‌توان به مواردی از جمله آنچه که در ادامه تشریح شده اشاره نمود.

Adegoke و همکاران (2002) به بررسی رابطه مستقیم بین نمایه گیاهی NDVI و رطوبت خاک پرداخته و وجود تاخیر در تاثیر مقدار رطوبت بر نمایه گیاهی NDVI را تایید کردند. در کشور چین Wang و همکاران (2007) با استفاده

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

از تصاویر MODIS و شاخص‌های NDVI و LST روابط رگرسیونی برای برآورد رطوبت خاک به‌دست آوردند که نتایج حاصله همبستگی بالایی را با مشاهدات زمینی نشان داده است. در پژوهشی Baghdadi و همکاران (2007) در حوضه Tuchدر کشور فرانسه با استفاده از سنجنده TerraSAR-X مقدار رطوبت خاک را در شرایط زمین لخت با میزان خطای سه درصد برآورد کردند. در مطالعه‌ای Norroozi Aghdam و همکاران (2008) در خراسان رضوی با استفاده از تصاویر MODISبه بررسی رابطه رطوبت خاک سطحی و شاخص NDVI پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد، رابطه معنی‌داری بین رطوبت خاک سطحی و NDVI تأخیری ۱۵ روزه وجود دارد.

در پژوهشی Wang و همکاران (2007) با تلفیق داده‌های رطوبت خاک زمینی با شاخص‌های اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) حاصل از محصولات شاخص گیاهی و دمای سطحی سنجنده مودیس، روابط رگرسیونی را برای برآورد رطوبت خاک به‌دست آوردند که نتایج حاصله، همبستگی بالایی $(R^2 > 0/8)$ را با مشاهدات زمینی نشان داده است. Patel و همکاران (2009) در پژوهش خود با استفاده از LST و NDVI برای تصاویر سنجنده مودیس TVDI را برای ۸ روز بررسی کردند. نتایج نشان داد که ضریب همبستگی بالا و رابطه معکوسی بین TVDI و رطوبت خاک به‌ویژه در پوشش گیاهی وجود دارد $(R^2 = 0/49)$. در چین Zhao و همکاران (2010) از مقایسه نتایج میدانی رطوبت خاک با مقادیر تخمین زده شده و کاربرد تصاویر مودیس، به یک مدل لگاریتمی دست یافتند و تطابق خوبی بین رطوبت اندازه‌گیری شده و تخمینی خاک با RMSE= 0.0503 cm3/cm3 مشاهده کردند.

در پژوهش دیگری Wang و همکاران (2010) با استفاده از داده‌های دو سنجنده TM و ETM و دو شاخص NDVI و TDVI انجام دادند، تغییرات رطوبت سطح خاک را به مدت ۱۸ سال پایش شده و نتایج نشان داد که رابطه خطی مستقیمی بین TDVI و رطوبت خاک سطحی وجود دارد. هم‌چنین نتایج بررسی رطوبت خاک حاصل از پژوهش Babazadeh و همکاران (2012) با استفاده از سه شاخص NDVI و LST و دمای درخشندگی و تصاویر MODIS نشان داد که تخمین رطوبت لایه سطحی خاک و قابلیت‌های ماهواره MODIS برای مطالعات رطوبت خاک در مناطق خشک و نیمه‌خشک قابل قبول می‌باشد.

پژوهش Khazaei و همکاران (2017) با هدف بررسی امکان برآورد رطوبت لایه سطحی خاک منطقه‌ای در گنبد کاووس با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس و مقایسه آن با داده‌های زمینی،و به‌کارگیری نمایه‌های پوشش گیاهی و دمای سطح زمین انجام شد. یافته‌های پژوهش نشان داد که همبستگی معنی‌دار ولی ضعیفی بین نمایه‌های گیاهی NDVI، MDIN و رطوبت خاک وجود دارد (R=۰/۶۲) در حالی که همبستگی منفی و بسیار معنی‌داری (R=-0/89 , p≤0/01) برای نمایه LST و هم‌چنین دمای باندهای گرمایی ۳۱ و ۳۲ سنجنده با رطوبت خاک دیده شد. در مطالعه‌ای Hosseini and Farrokhian (2019) به برآورد رطوبت خاک سطحی در منطقه دهدز در استان خوزستان با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۸ و شاخص‌های نرمال شده رطوبت و پوشش گیاهی وهم‌چنین دمای سطح زمین پرداخته که نتایج نشان داد بین مقادیر رطوبت خاک سطحی با شاخص‌های NDVI،NDMI و LST همبستگی ۷۸ درصدی وجود دارد.

هم‌چنین، برخی در تحقیقات از رطوبت خاک به‌دست آمده از مدل‌های سطح زمین مبتنی بر مشاهده از سیستم جذب داده‌های زمین جهانی (GLDAS[1]) استفاده شده است، (Rodell et al, 2004 & Rui, 2011 & Chen et al 2013 &

[1] Global Land Data Assimilation System

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

(Pablo et al, 2015 & Bi et al, 2016 & Cai et al, 2017 & Zuo et al, 2019). در مطالعه‌ای Chen و همکاران (2013) به ارزیابی بازیابی‌های AMSR-E و شبیه‌سازی GLDAS در برابر مشاهدات یک شبکه رطوبت خاک در فلات مرکزی تبت پرداختند. GLDAS LSM به‌طور سیستماتیک رطوبت لایه سطحی خاک را دست کم می‌گیرند اما رطوبت زیر لایه خاک سطحی را برای این منطقه به خوبی شبیه سازی می‌کنند. عدم قطعیت در پارامترهای اتمسفر و مدل باعث خطاهای شبیه‌سازی می‌شود. در تحقیقی Pablon و همکاران (2015) به مقایسه ناهنجاری‌های رطوبت خاک GLDAS در برابر شاخص استاندارد بارش و تخمین‌های چند ماهواره‌ای در آمریکای جنوبی پرداختند که نتایج حاصل نشان داد GLDAS به‌عنوان اولین رویکرد برای مطالعه تغییرپذیری رطوبت خاک در مقیاس منطقه‌ای، از جمله تجزیه و تحلیل آن توسط مدل‌ها و عوامل مختلف ارزشمند است اما فقدان داده‌ای اندازه‌گیری شده رطوبت خاک، امکان اعتبارسنجی GLDAS را در مقیاس‌های منطقه‌ای در جنوب آمریکا محدود می‌کند.

در پژوهشی Bi و همکاران (2016) به مقایسه رطوبت خاک شبیه‌سازی شده از چهار LSM در مدل GLDAS و مشاهدات میدانی بر روی فلات تبت پرداخته و نتیجه گرفتند که در همه LSMها، رطوبت خاک به‌طور سیستماتیک در لایه سطحی خاک در هر دو منطقه کمتر برآورد می‌شود و در این خصوص هم خطاهای شبیه‌سازی و هم خطاهای اندازه‌گیری می‌توانند باعث سوگیری شوند. تحقیقات در مورد دلایل سوگیری می‌تواند به بهبود دقت محصولات رطوبت خاک GLDAS کمک کند. در مطالعه‌ای Cai و همکاران (2017) به تجزیه و تحلیل ویژگی‌های رطوبت خاک با استفاده از داده‌های GLDAS در شرق چین پرداخته و به این نتیجه رسیدند که اگرچه خروجی‌های GLDAS می‌تواند بسیار نامشخص باشد، ولی ترکیب اعتبارسنجی داده‌ها با مشاهدات میدانی می‌تواند بر محدودیت‌های ناشی از مقیاس‌های زمانی کوتاه و مکانی غلبه کند.

گرچه داده‌های رطوبت سطحی خاک مربوط به سامانه شبیه‌سازی شده سیستم جهانی از سال ۱۳۵۴ در دسترس می‌باشد امّا قدرت تفکیک مکانی این داده‌ها پایین بودهو از دیگر سو قدرت تفکیک مکانی سنجنده‌های ماهواره‌ای و نبود ایستگاه های شبکه‌ای با پراکندگی مناسب، باعث ایجاد محدودیت‌های چنین داده‌هایی در مسائل هیدرولوژیک و کشاورزی شده است. سامانه GLDAS ممکن است در برخی مناطق خطای بالایی نسبت به داده‌های اندازه‌گیری داشته باشد. بنابراین لازم است قبل از به‌کارگیری داده‌ها و نتایج این محصول به‌عنوان ابزار تصمیم‌گیری، کیفیت آنها با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده زمینی به‌صورت محلی ارزیابی شود (Polo et al, 2016 & Sanchez-Lorenzo et al, 2013 & Zhang, 2019). با توجه به اینکه دشت جیرفت یکی از قطب‌های کشاورزی ایران می‌باشد. برآورد سری زمانی رطوبت خاک و به دنبال آن ارائه شاخص خشکسالی مبتنی بر رطوبت خاک در بررسی خشکسالی کشاورزی، روشی مفید در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

در این مطالعه، با توجه به اینکه برآورد سری زمانی رطوبت به‌صورت میدانی مشکل بوده و روش‌های سنجش از دور رادار نقشه‌های رطوبت با قدرت تفکیک مکانی پایین تهیه می‌کنند، از داده‌های Terra MODIS برای تخمین رطوبت خاک به دلیل تفکیک مکانی بالاتر (یک کیلومتر) استفاده شد. از این‌رو در این مطالعه تلاش گردید که یک الگوریتم تخمین رطوبت خاک، با استفاده از رابطه مثلث جهانی بین NDVI، دما و رطوبت خاک (چاهان ۲۰۰۳) برآورد و نقشه رطوبت خاک با قدرت تفکیک مکانی بالاتر تهیه گردد. برای این هدف، از داده‌های رطوبت خاک اندازه‌گیری شده

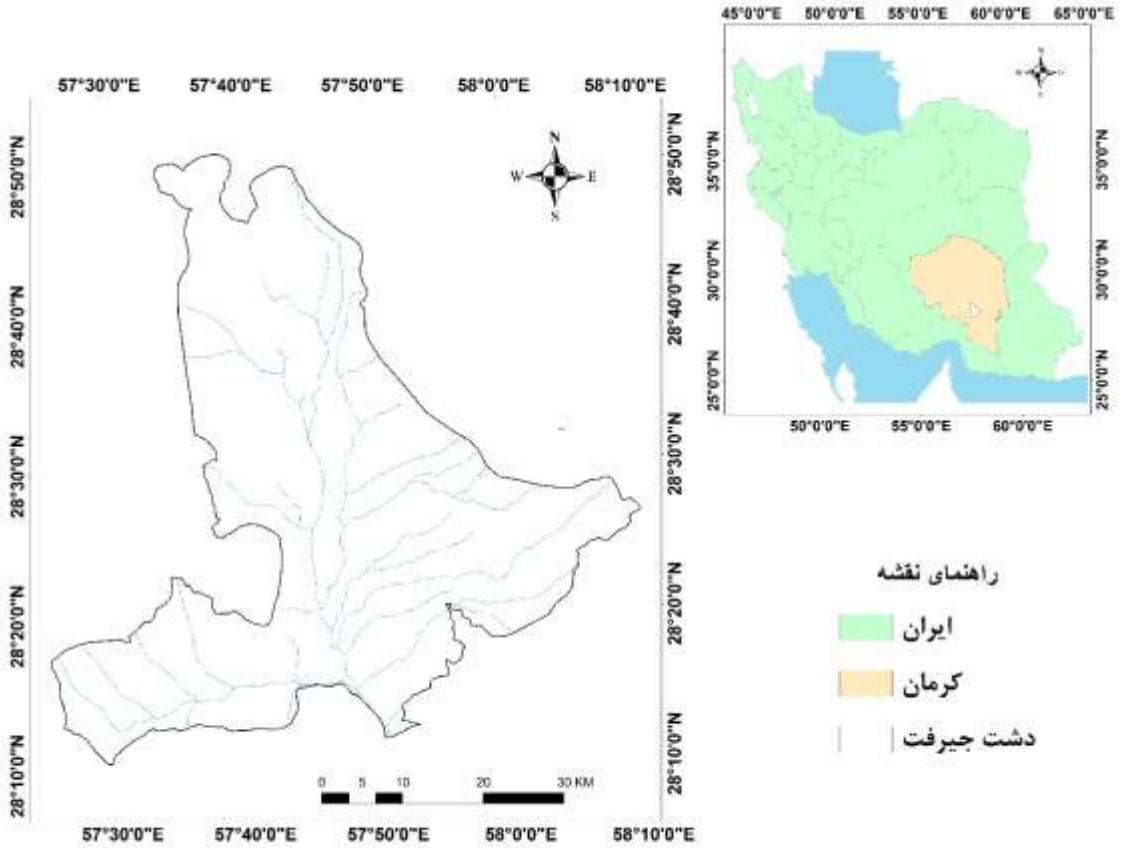
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

به‌صورت میدانی، محصولات سنجنده مودیس شامل شاخص‌های NDVI و LST در دشت جیرفت استفاده و از رابطه به‌دست آمده برای برآورد رطوبت خاک در طول دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ استفاده گردید.

۲- منطقه مورد مطالعه

دشت جیرفت بخشی از حوضه غربی جازموریان می‌باشد که بین طول جغرافیایی ´۱۰ °۵۸ تا ´۲۵ °۵۷ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ´۱۰ °۲۸ تا ´۵۵ °۲۸ درجه شمالی و در جنوب‌شرق ایران در استان کرمان قرار گرفته است. وسعت محدوده مطالعاتی جیرفت ۵۰۵۰ کیلومترمربع، وسعت دشت ۲۲۴۷ کیلومترمربع و ارتفاع از سطح دریا بین ۱۳۲۶-۴۹۷ متر متغیر است. شیب کلی این محدوده از سمت شمال به سمت جنوب و متوسط بارندگی سالانه آن ۱۷۰ میلی‌متر است. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان کرمان در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان کرمان و ایران

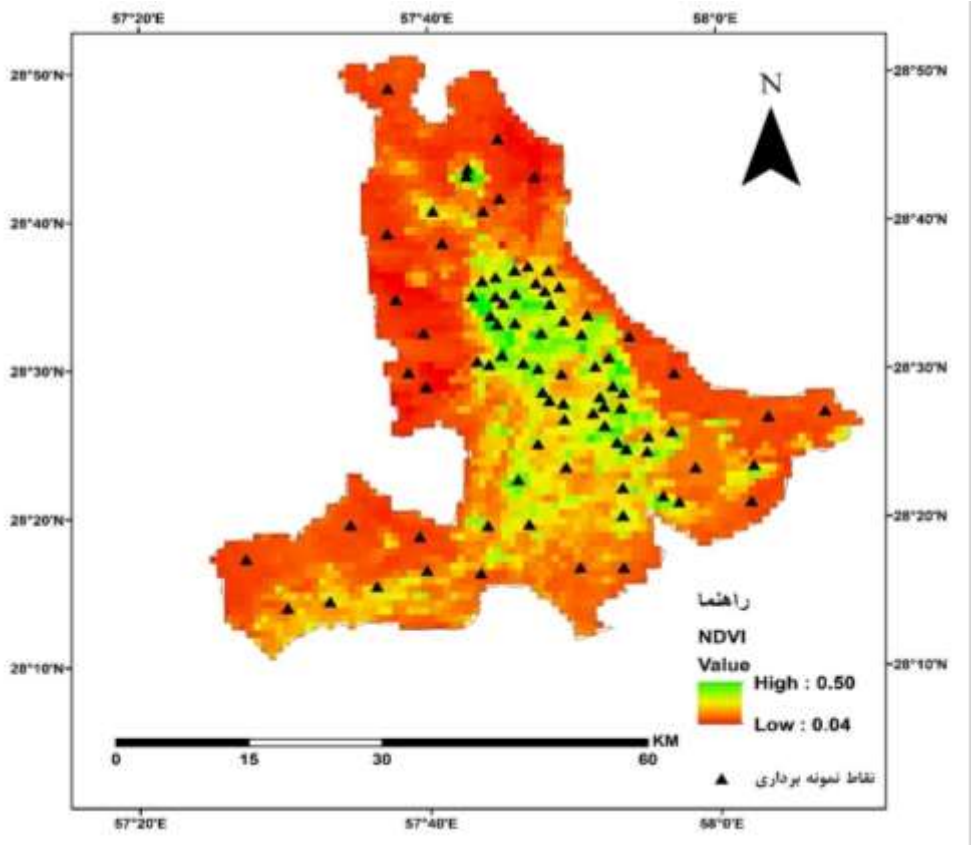
۳- مواد و روش

۳-۱- داده‌ها و مراحل اجرای پژوهش

در این مطالعه از داده‌های رطوبت خاک اندازه‌گیری شده به‌صورت میدانی در سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، محصولات سنجنده مودیس شامل شاخص دمای سطح زمین (LST) و شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) استفاده شد. تصاویر سنجنده مودیس دارای قدرت تفکیک رادیومتری و زمانی بالایی بوده و محصولات زیادی از آن‌ها تهیه شده است (shirazi et al, 2019) از این رو در این تحقیق از تصاویر مودیس استفاده گردید.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

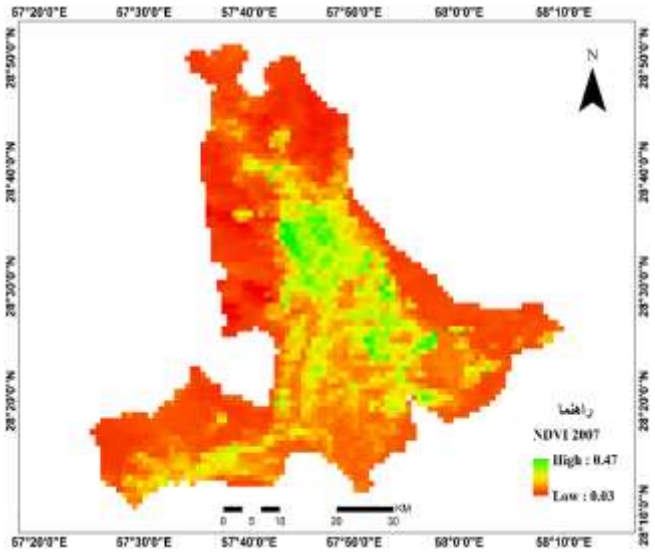
محصولات LST و NDVI مودیس با وضوح یک کیلومتر مربع در طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۲ به کار گرفته شد. داده‌های MODIS شاخص پوشش گیاهی ۱۶ روزه (MOD13A2) برای استخراج NDVI و دمای هشت روزه سطح زمین (MOD11A1) برای استخراج LST در وضوح یک۱ کیلومتر است. این مجموعه داده در https://search.earthdata.nasa.gov/ قابل دسترس است. دمای سطح زمین و پوشش گیاهی رابطه پیچیده‌ای با رطوبت خاک دارند. شاخص دمای سطح زمین (LST) دارای داده‌های دمای سطح زمین است و برآوردهای آن از روی ماهواره ترا (Terra) می‌باشد. این محصول دمای سطح زمین را بر حسب درجه کلوین نشان می‌دهد. شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) هم می‌تواند وضعیت پوشش گیاهی را منعکس کند. رشد پوشش گیاهی بستگی به وجود رطوبت مناسب در خاک دارد (Benedetti and Rossini, 1993). مقادیر مختلف NDVI نمایانگر پوشش‌های مختلف می‌باشند، برای نمونه مقادیر NDVI بین ۰/۰۵ تا ۰/۱ برای مناطق گیاهی تنک، مقادیر بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای مناطق گیاهی معمولی و از ۰/۵ به بالا برای مناطق گیاهی بسیار متراکم و غنی می‌باشد. ابتدا محصولات سنجنده مودیس در نرم‌افزار ENVI 5.3 با استفاده از اکستنشن MODIS TOOLKIT پیش پردازش و مختصات‌دار شده و سپس پردازش‌های نهایی وارد نرم‌افزار ARCGIS 10.8 گردید. برای اندازه‌گیری میدانی داده‌های رطوبت خاک در دو سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، حدود ۷۳ نمونه خاک از نقاط مختلف دشت جیرفت از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری با استفاده از روش نمونه‌برداری تصادفی جمع-آوری شد. شکل ۲ نقشه NDVI منطقه مورد مطالعه و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده را نشان می‌دهد.



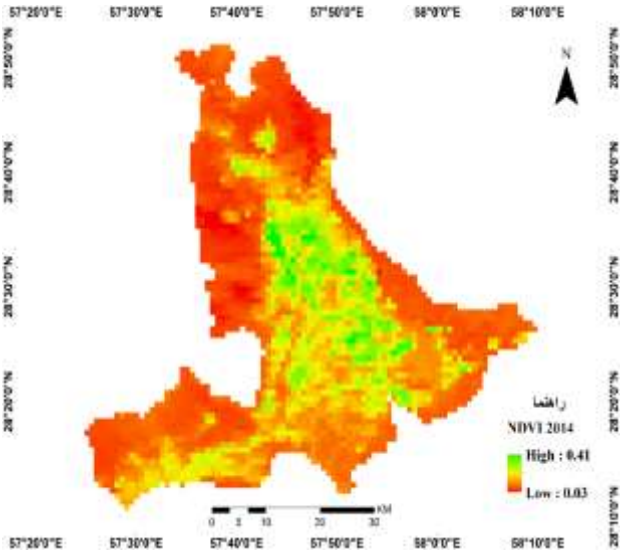
شکل ۲: نقشه شاخص اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) و موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده در منطقه مورد مطالعه

برای نمونه، نقشه‌های سه ساله LST و NDVI و هم‌چنین روند تغییرات آن‌ها در شکل ۳ و ۴ آورده شده است.

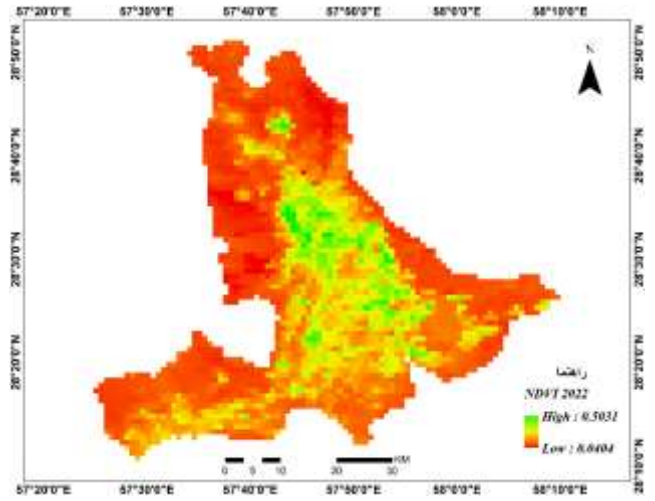
[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]



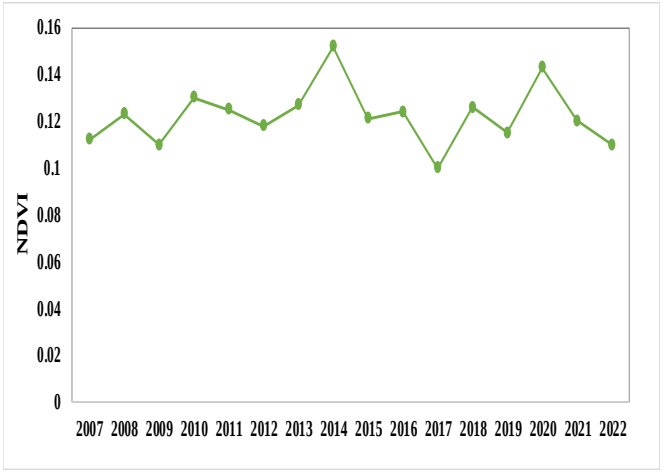
a



b



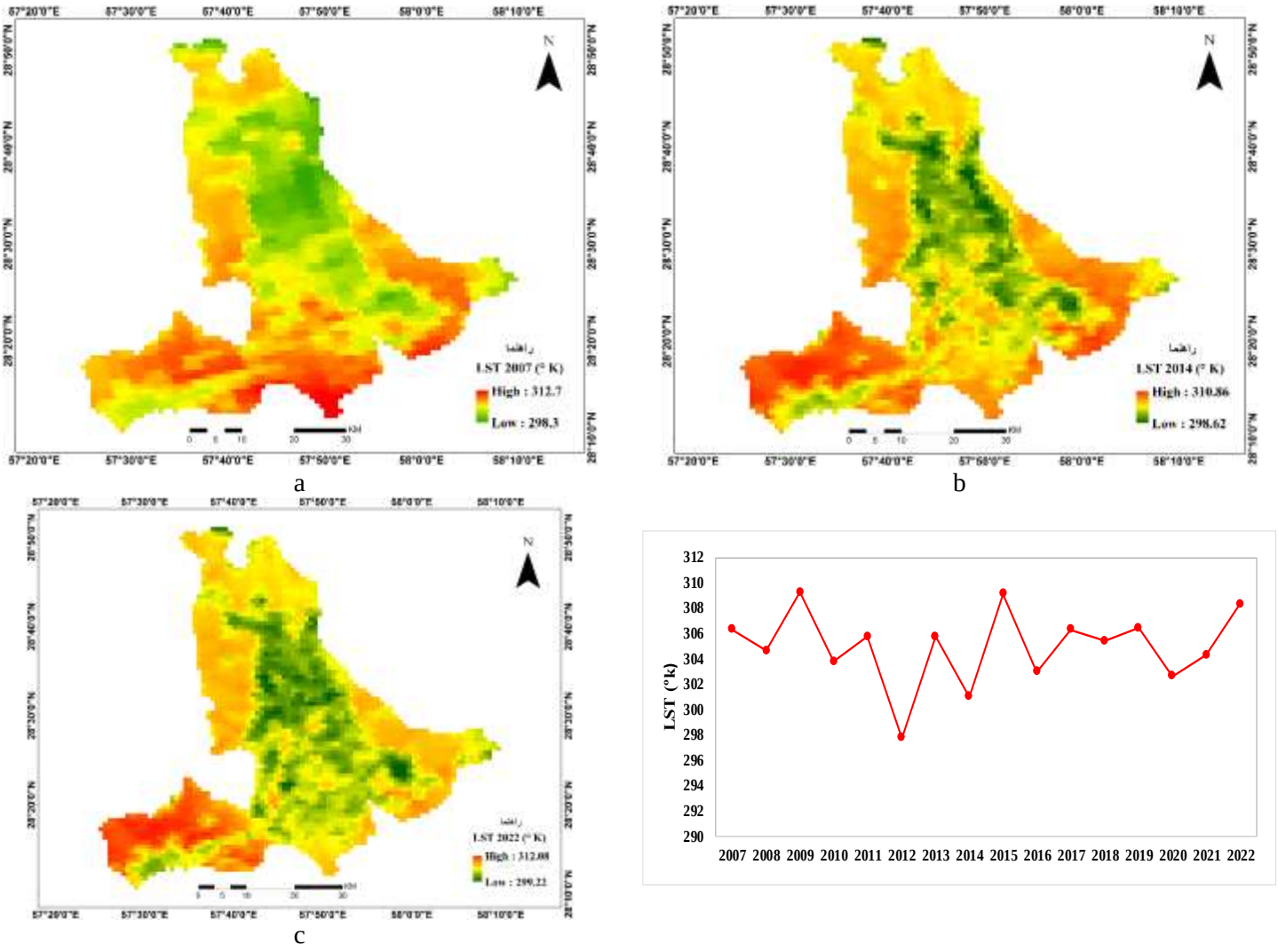
c



شکل ۳: نقشه‌های NDVI در سال‌های۲۰۰۷ (a)، ۲۰۱۴ (b)، ۲۰۲۲ (c) و تغییرات زمانی

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]



شکل ۴: نقشه‌های LST در سال‌های ۲۰۰۷ (a)، ۲۰۱۴ (b)، ۲۰۲۲ (c) و تغییرات زمانی

تخمین رطوبت خاک با کاربرد سنجش از دور

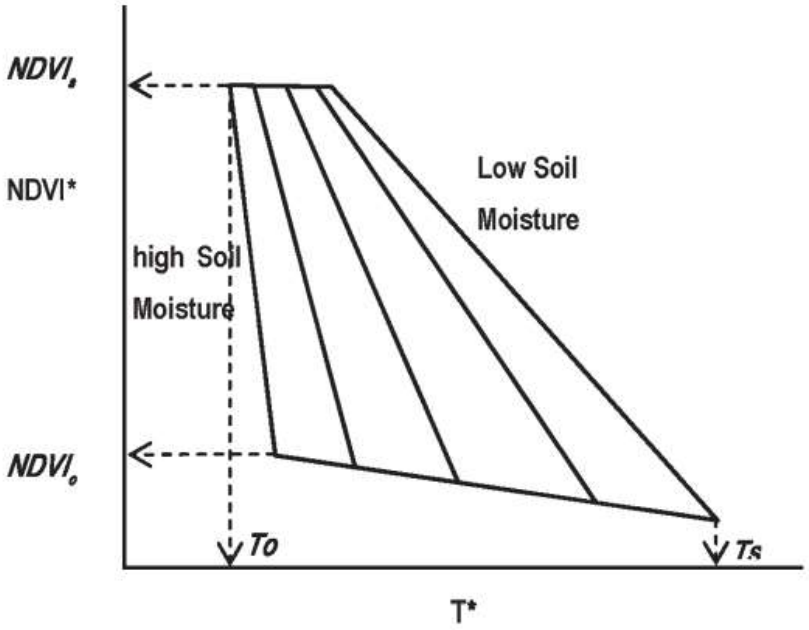
در این مطالعه از داده‌های Terra MODIS برای تخمین رطوبت خاک به‌دلیل تفکیک مکانی بالاتر (یک کیلومتر) استفاده شد. مطالعه حاضر برای ایجاد یک الگوریتم تخمین رطوبت خاک با ترکیب اندازه‌گیری‌های نوری با رطوبت خاک اندازه‌گیری شده بر اساس رابطه مثلث جهانی بین رطوبت خاک، دمای سطح زمین (LST) و شاخص گیاهی تفاوت نرمال شده (NDVI) طراحی شده است.

شکل ۵ توصیفی شماتیک از رابطه اختصاص داده شده به‌عنوان "مثلث جهانی" را نشان می‌دهد. محور x و محور y به ترتیب دما و NDVI (رابطه ۲ و ۳) را نشان می‌دهند، به‌طوری که:

$$T^* = \frac{T - T_0}{T_s - T_0}$$ رابطه ۲

$$NDVI^* = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_s - NDVI_0}$$ رابطه ۳

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]



شکل ۵: رابطه مثلث جهانی بین NDVI، دما و رطوبت خاک (چاهان ۲۰۰۳)

در این معادلات T و NDVI به‌ترتیب LST و NDVI و همچنین o و s مقادیر حداقل و حداکثر می‌باشند.

Carlson و همکاران (1994) رابطه بین رطوبت خاک (M، *NDVI و *T) را از طریق فرمول رگرسیون به‌صورت رابطه ۴ بیان کردند:

$$M = \sum_{i=0}^{i=n}\sum_{j=0}^{j=n} a_{ij} NDVI^{*(i)} T^{*(j)}.$$ رابطه ۴

هم‌چنین Chauhan و همکاران (2003) معادله فوق را به‌عنوان چند جمله‌ای مرتبه دوم (رابطه ۵)گسترش دادند:

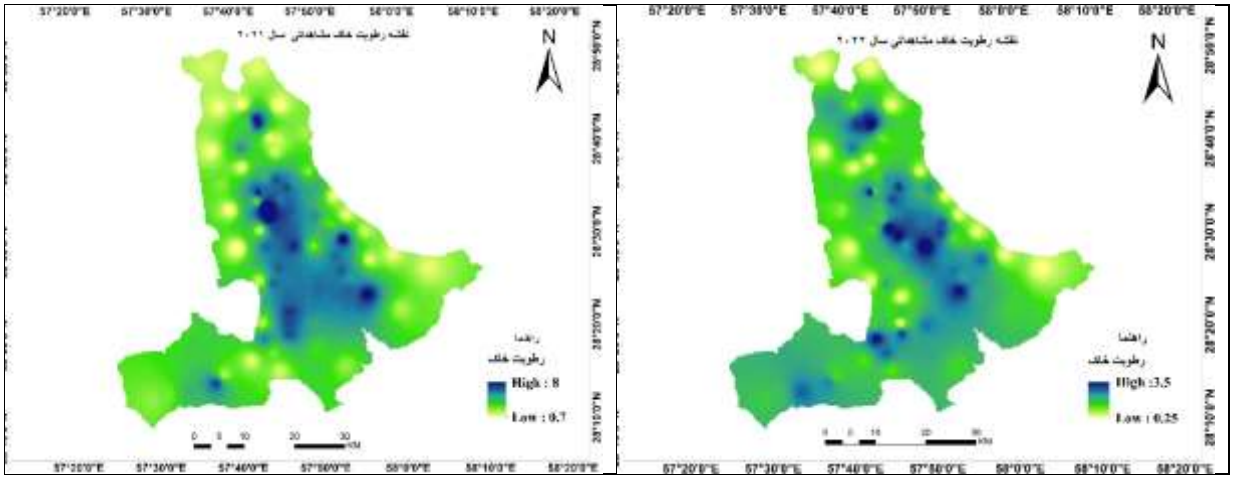
$$M = a_{00} + a_{10}NDVI^{*} + a_{20}NDVI^{*2} + a_{01}T^{*} + a_{02}T^{*2} + a_{11}NDVI^{*}T^{*} + a_{22}NDVI^{*2}T^{*2} + a_{12}NDVI^{*}T^{*2} + a_{21}NDVI^{*2}T^{*}.$$ رابطه ۵

در این تحقیق در ابتدا، برای برآورد سری زمانی رطوبت خاک در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲، داده‌های رطوبت خاک اندازه‌گیری شده در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ با دو پروداکت NDVI و LST به‌دست آمده از سنجنده مودیس (دقت یک کیلومتر) در همان سال و براساس رابطه چاهان (۲۰۰۳) ترکیب گردید.

از این‌رو برای برآورد رطوبت خاک از روش رگرسیون خطی چندگانه و روش حداقل مربعات معمولی (OLS) استفاده شد. نقاط رطوبت خاک مشاهداتی برای تدقیق، ارزیابی مدل و به‌دست آوردن رابطه رگرسیونی پیش‌بینی شده استفاده می‌شوند. نمونه‌برداری خاک در دو مقطع زمانی انجام شده است اما برای به‌دست آوردن نقشه رطوبت خاک نیاز به یک معادله و یک نقشه تک ارزشی می‌باشد. بنابراین برای استخراج معادله رطوبت خاک بر اساس روش OLS، ابتدا برای بدست آوردن یک نقشه واحد و تک ارزشی رطوبت خاک، از نقشه رطوبت خاک مشاهداتی سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ و درون‌یابی شده با روش کریجینگ در ArcGIS 10.8، میانگین‌گیری و استفاده شد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

مشاهدات رطوبت خاک، شاخص گیاهی (NDVI) و دمای سطح زمین (LST) بر اساس رابطه چاهان (۲۰۰۳) با هم ترکیب شد تا نقشه‌های رطوبت خاک طی سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ به‌دست آید. شکل ۶ نقشه‌های رطوبت خاک مشاهداتی در دو مقطع زمانی ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ را نشان می‌دهد.



شکل ۶: نقشه‌های رطوبت خاک مشاهداتی در دو مقطع زمانی ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲

معادله رگرسیون به‌کار رفته در این مطالعه، به شرح رابطه ۶ است (Bai et al, 2020):

$$SMC = \alpha_0 + \alpha_1 * LST + \alpha_2 * NDVI$$ رابطه ۶

در این معادله، SMC مقدار رطوبت حجمی خاک ($m^3\ m^{-3}$)، LST دمای سطح زمین (°K)، NDVI شاخص گیاهی اختلاف نرمال شده و a_0، a_1 و a_2 ضرایبی هستند که باید تعیین شوند، a_1 بر حسب $m^3\ m^{-3}$ و a_2 بدون بعد است.

در این تحقیق ضرایب رگرسیون بر اساس روش حداقل مربعات معمولی (OLS) در نرم‌افزار SPSS 26 به‌دست آمد. بدین ترتیب که در نرم‌افزار ARCGIS 10.8 با استفاده از دستور Extract multi values to points، مقادیر NDVI و LST متناظر با نقاط رطوبت خاک مشاهداتی استخراج و خروجی آن‌ها به نرم‌افزار SPSS 26 وارد و در نهایت ضرایب رگرسیون و معیارهای ارزیابی خطا (خروجی‌های روش OLS) محاسبه گردید. رگرسیون حداقل مربعات معمولی (OLS) یک تکنیک رایج برای تخمین ضرایب معادلات رگرسیون خطی است که رابطه بین یک یا چند متغیر کمی مستقل و یک متغیر وابسته (رگرسیون خطی ساده یا چندگانه) را توصیف می‌کند (Mahara et al, 2016).

در پایان با استفاده از روش OLS یک معادله رگرسیون چندگانه خطی به‌دست آمد و براساس مقادیر مشاهداتی رطوبت خاک، NDVI و LST، نقشه‌های رطوبت خاک با دقت یک کیلومتر از ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ محاسبه و برآورد شد. در این پژوهش از معیارهای ارزیابی خطای استاندارد (SE)، آماره t (t-stat)، معیار اطلاعات آکائیکه (AIC)، p-value، ضریب تورم واریانس (VIF)، R^2 برای ارزیابی دقت روش استفاده شد. آماره‌های خطا خروجی روش OLS می‌باشند. هم‌چنین، ضریب همبستگی R^2 بین داده‌های رطوبت مشاهداتی و محاسباتی طی دو سال ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ در نرم‌افزار اکسل بررسی و برآورد شد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

ضریب تعیین R^2 همبستگی خطی متغیر وابسته (رطوبت خاک) و متغیرهای توضیحی چندگانه را در رگرسیون خطی چند متغیره توصیف می‌کند (Krause et al, 2005).

این ضریب به صورت رابطه ۷ به‌دست می‌آید:

رابطه ۷

$$R^2 = \left[\frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(s_i - \bar{s})(o_i - \bar{o})}{\sigma_s \times \sigma_o} \right]^2$$

که در آن o_i و s_i داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با میانگین‌های مربوطه و نشان‌دهنده مقادیر انحراف استاندارد می‌باشند. ضریب تعیین R^2 دارای مقادیری بین صفر تا یک بوده و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، عملکرد مدل بهتر در نظر گرفته می‌شود. سطح اطمینان P سطح معنی‌داری معادله رگرسیون را نشان می‌دهد. p-value کمتر از ۰/۰۱ و ۰/۰۵ به ترتیب در سطح اطمینان ۹۹ درصد و ۹۵ درصد معنی‌دار است. AIC تخمین‌گر خطای پیش‌بینی و در نتیجه کیفیت نسبی مدل‌های آماری برای مجموعه‌ای از داده‌ها است (Cavanaugh, 1997). از AIC به‌عنوان راهی برای مقایسه مدل‌های رگرسیون استفاده می‌شود. مدل با کمترین AIC بهترین تناسب را ارائه می‌دهد (Sen and Shitan, 2002).

ضریب تورم واریانس (VIF) اندازه‌گیری مقدار چندخطی در تحلیل رگرسیون است (Miles, 2014). چندخطی زمانی وجود دارد که بین چندین متغیر مستقل در یک مدل رگرسیون چندگانه همبستگی وجود داشته باشد که می‌تواند بر نتایج رگرسیون تأثیر منفی بگذارد. اگر VIF > 10 باشد نشان می‌دهد که مشکل هم‌خطی در بین متغیرهای مستقل وجود دارد (Thompson et al, 2017).

آماره t نسبت انحراف مقدار تخمینی یک پارامتر از مقدار فرضی آن به خطای استاندارد آن است. در آزمون فرضیه‌ها از طریق آزمون t-student (Box et al., 1978) استفاده می‌شود. آماره t در آزمون t برای تایید یا رد فرضیه صفر استفاده می‌شود. آماره t زمانی قابل قبول تلقی می‌شود که از نظر آماری معنادار باشد، به این معنی که تفاوت بین دو میانگین تصادفی نبوده است (Kim, 2015).

خطای استاندارد SE یک آماره، انحراف معیار توزیع نمونه آن یا برآورد انحراف استاندارد آن است. خطای استاندارد میزان اختلاف مورد انتظار در یک تخمین نمونه را نسبت به مقدار واقعی آن محاسبه می‌کند (Altman and Bland, 2005). بنابراین خطای استاندارد کمتر نشان‌دهنده کم بودن اختلاف بین مقادیر مشاهداتی و واقعی است. در واقع، خطای استاندارد صفر (یا نزدیک به آن) نشان می‌دهد که مقدار تخمینی دقیقاً مقدار واقعی است (Hanley, 1987).

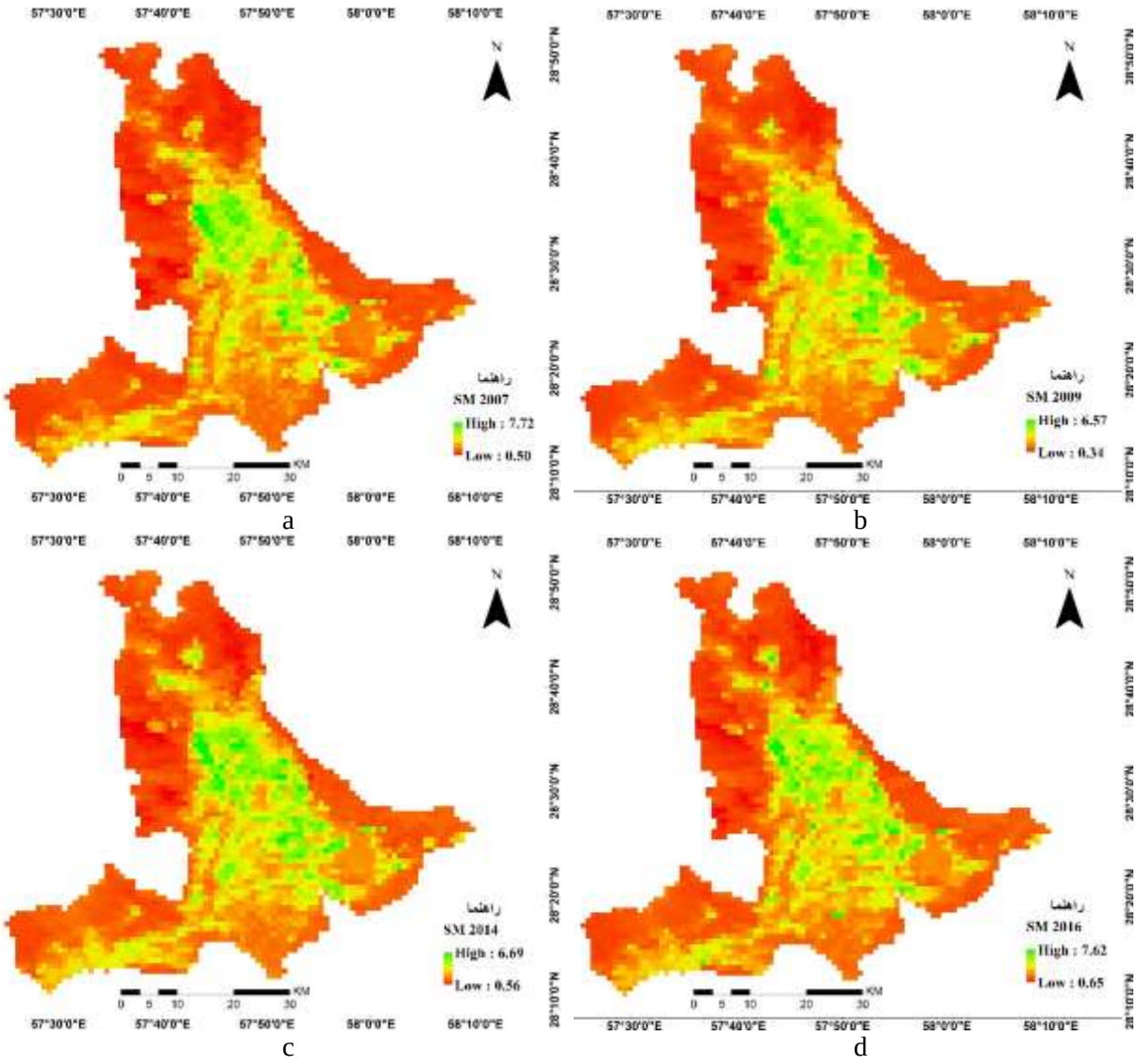
۴- یافته‌ها

نمونه‌برداری خاک در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ انجام شد تا صحت نقشه‌های رطوبت خاک تهیه شده بر اساس معادله بررسی گردد. رگرسیون خطی چندگانه بین مشاهدات رطوبت خاک و داده‌های سری زمانی NDVI و LST در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، با استفاده از روش OLS برقرار و نقشه‌های رطوبت خاک در طول سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۲۲ بر طبق

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

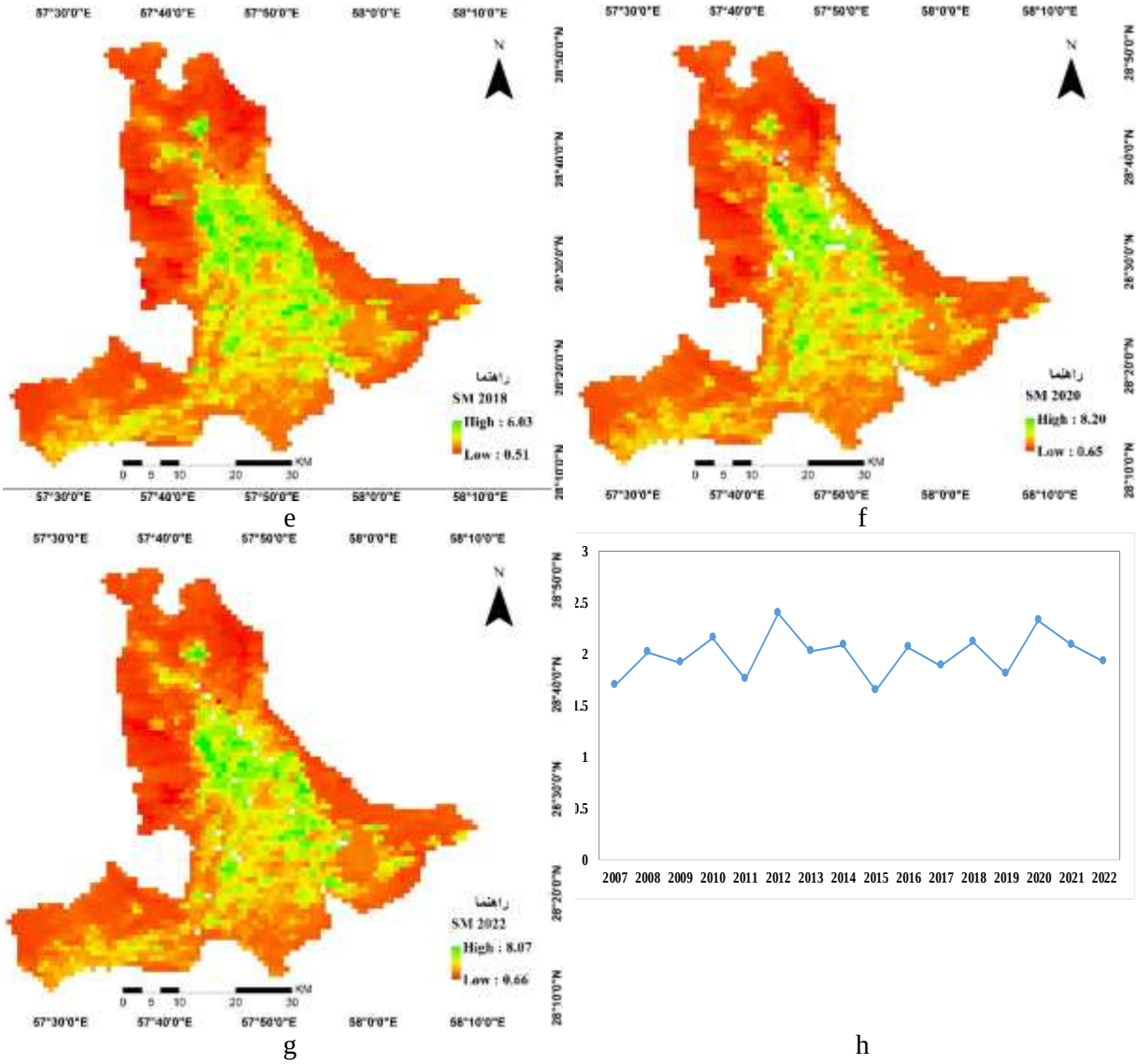
الگوریتم به‌دست آمده، تهیه شد. به علت حجم زیاد نقشه‌ها، فقط نقشه‌های رطوبت خاک خروجی OLS در سال‌های ۲۰۰۷، ۲۰۰۹، ۲۰۱۴، ۲۰۱۶، ۲۰۱۸، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۲ در شکل ۷ نشان داده شده است. هم‌چنین تغییرات رطوبت خاک به‌دست آمده از الگوریتم برآوردی به صورت نمودار در انتهای شکل ۷ نشان داده شده است.



a b c d

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]



شکل ۷ : نقشه‌های رطوبت خاک در سال‌های (a) ۲۰۰۷، (b) ۲۰۰۹، (c)۲۰۱۴، (d) ۲۰۱۶، (e) ۲۰۱۸، (f) ۲۰۲۰، (g) ۲۰۲۲ و (h) تغییرات زمانی

ارزیابی روش تخمین رطوبت خاک

جدول ۱ نتایج خروجی‌های روش OLS را در برآورد رطوبت خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) نشان می‌دهد. براساس نتایج، هر دو متغیر مستقل NDVI و LST در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بودند (p-value<0.01). هم‌چنین هم‌خطی متغیرهای NDVI و LST بر اساس ضریب تورم واریانس به‌دست آمده در جدول ۱ بررسی شد. با توجه به اینکه VIF هر دو متغیر کمتر از ۱۰ می‌باشد، بنابراین مشکل هم‌خطی در بین متغیرهای مستقل NDVI و LST وجود ندارد.

خطای استاندارد کم نشان می‌دهد مقدار تخمینی اختلاف ناچیزی با مقدار واقعی دارد. مقدار آماره t دو متغیره بالاتر از ۲ است که از نظر آماری معنی‌دار در نظر گرفته می‌شود. به‌طور کلی، مقدار R^2= 0.78 نشان‌دهنده دقت مناسب روش تخمین رطوبت خاک می‌باشد. رابطه رگرسیون به‌دست آمده به‌صورت زیر می‌باشد.

$$SMC = 3.76 - 0.13 * LST + 8.8 * NDVI$$

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

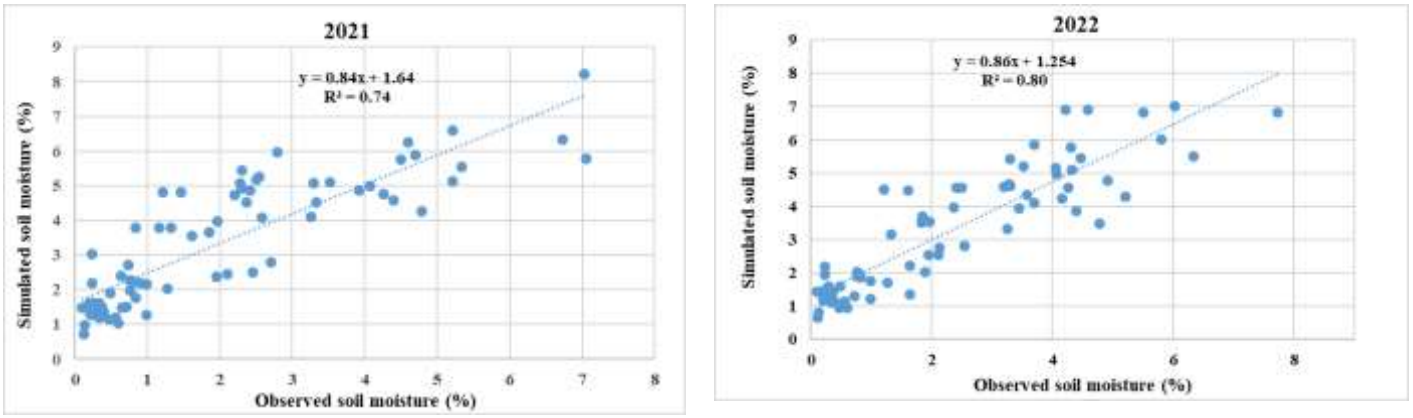
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

جدول ۱: نتایج روش OLS در برآورد رطوبت خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر)

Variable	Ordinary Least Squares Model				
	Cofficent (a)	St-Error	T-stat	p-value	VIF
Intercept	3.76	1.8	3.31	0.005	-
LST	-0.13	0.11	2.25	0.003	3.12
NDVI	8.8	2.03	4.3	0.0012	2.12
R^2	0.78				
AIC	166.2				

AIC: Akaike Information Criterion, $p < 0.05$.

رابطه بین رطوبت خاک شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸: رابطه بین رطوبت خاک شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲

همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود، R^2 به ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸ در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به‌دست آمده است که نشان‌دهنده دقت مناسب مقادیر پیش‌بینی‌شده است.

۵ـ بحث و نتیجه‌گیری

تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های سنجش از دور قابلیت بالایی در برآورد رطوبت سطحی خاک در محدوده‌های وسیع جغرافیایی دارد. در این مطالعه، برای شناخت بهتر ارتباط بین رطوبت سطحی خاک و نمایه‌های ماهواره‌ای از تولیدات سنجنده مودس با دقت مکانی و زمانی بالا استفاده شد.

برآورد تغییرات مکانی و زمانی رطوبت خاک یک مسئله مهم در مناطق کم‌داده مانند ایران است. در این پژوهش یک مدل رگرسیون چندگانه را براساس NDVI و LST مودیس برای به‌دست آوردن رطوبت سطحی خاک در مقیاس منطقه‌ای ارائه شد. نتایج نشان داد که روش رگرسیون خطی چندمتغیره را می‌توان برای تخمین رطوبت لایه‌های سطحی خاک محصولات در مناطق کم‌داده به‌کار برد.

Park و همکاران (2016) بیان کردند که LST و NDVI اهمیت نسبی بالایی در مناطق خشک دارند. در منطقه مورد مطالعه، با توجه به نتایج پژوهش‌های پیشین (Bai et al, 2020 & Wang et al, 2007) از یک الگوریتم مبتنی بر سنجش

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

از دور برای سری‌های زمانی رطوبت خاک به‌دلیل عدم دسترسی به سری‌های زمانی رطوبت خاک استفاده شد. محصولات LST و NDVI مودیس با وضوح یک کیلومترمربع در طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۲۲ به‌کار گرفته شده و سپس رگرسیون خطی چندگانه بین مشاهدات رطوبت خاک (۲۰۲۱ و ۲۰۲۲) و داده‌های سری زمانی NDVI و LST در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲، با استفاده از روش OLS ایجاد شد.

براساس نتایج تغییرات رطوبت شبیه‌سازی شده خاک و روش OLS در برآورد رطوبت خاک (۰-۳۰ سانتی‌متر) هر دو متغیر مستقل NDVI و LST در سطح ۹۹ درصد معنی‌دار بودند (p-value<0.01). مقادیر VIF کمتر از ۱۰ است. بنابراین، یک‌خطی بین متغیرهای مستقل وجود ندارد. خطای استاندارد کم هم نشان می‌دهد که مقدار برآوردی با مقدار واقعی اختلاف ناچیزی دارد. مقدار آماره t دو متغیره بالاتر از ۲ بدست آمد که از نظر آماری معنی‌دار می‌باشد. به‌طور کلی، R^2= 0.78 بود و نشان‌دهنده دقت مناسب روش تخمین رطوبت خاک است.

در این راستا، Khanmohammadi و همکاران (2015) در پژوهش خود مقدار ضریب تبیین ۰/۶۵ را به دست آوردند و هم‌چنین بیان نمودند که این شاخص‌ها قادر به پیش‌بینی رطوبت خاک سطحی هستند. هم‌چنین Lin و همکاران (2008) با تلفیق داده‌های رطوبت سطحی خاک با شاخص‌های NDVI و LST حاصل از محصولات شاخص گیاهی و دمای سطحی سنجنده MODIS، روابط رگرسیونی را برای برآورد رطوبت خاک به‌دست آورده که نتایج حاصل همبستگی بالایی با مشاهدات زمینی نشان داد که با نتایج Hoseini و همکاران (۲۰۱۹) که بین مقادیر رطوبت خاک سطحی با شاخص‌های NDMI،NDVI و LST همبستگی ۷۸ درصدی به‌دست آوردند مطابقت دارد. هم‌چنین نتایج حاصل از بررسی رابطه رطوبت خاک سطحی و شاخص NDVI توسط Norroozi Aghdam و همکاران (2008) در خراسان رضوی با استفاده از تصاویر MODIS رابطه معنی‌داری بین رطوبت خاک سطحی و NDVI تأخیری ۱۵ روزه نشان داد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد.

ضریب تعیین R^2 در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۲۲ به‌ترتیب ۰/۷۴ و ۰/۸ به‌دست آمد که نشان‌دهنده دقت مناسب مقادیر پیش‌بینی‌شده است که با نتایج Bai و همکاران (۲۰۲۰) که به تخمین رطوبت سطحی خاک در بالادست حوضه آبخیز رودخانه هیهه در شمال غربی چین با استفاده از داده‌های سری زمانی NDVI و LST سنجنده مودیس پرداختند هم‌خوانی دارد. نتایج تحقیق آن‌ها نشان دهنده مناسب بودن روش برآورد رطوبت خاک بر مبنای داده‌های NDVI و LST سنجنده مودیس است و می‌تواند در مناطقی با توپوگرافی، خاک و انواع پوشش گیاهی پیچیده اعمال شود.

در حال حاضر تحقیقات مختلفی به‌عنوان نمونه، Wang et al, 2007 & Bai et al, 2020، بر روی تخمین رطوبت خاک با استفاده از روش‌ها و محصولات سنجش از دور متمرکز شده است. بنابراین افزایش کارهای پژوهشی در زمینه استفاده از سنجش از دور، مانند الگوریتم پیشنهادی در مطالعه حاضر، تخمین رطوبت خاک در مقیاس منطقه‌ای را امکان‌پذیر می‌نماید. هرچند که عدم دسترسی به سری‌های زمانی درازمدت رطوبت مشاهده‌ای خاک برای اعتبارسنجی مقدار برآوردی توسط این الگوریتم محدودیت آن محسوب می‌شود، با این حال، نتایج پژوهش نشان داد که روش ارائه شده کارآمدی مناسبی دارد و پیشنهاد می‌شود در سایر مناطق کم‌داده نیز اعمال شود. نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای مدیریت بهینه منابع آب و خاک، مدیریت خشکسالی و شناسایی و کنترل فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرد.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

منابع

1. Adegoke, J. O., & Carleton, A. M. (2002). Relations between soil moisture and satellite vegetation indices in the US Corn Belt. *Journal of hydrometeorology*, 3(4), 395-405.
2. Altman, D. G., & Bland, J. M. (2005). Standard deviations and standard errors. *Bmj*, 331(7521), 903.
3. Bai, X., Zhang, L., He, C., & Zhu, Y. (2020). Estimating regional soil moisture distribution based on NDVI and land surface temperature time series data in the upstream of the Heihe River Watershed, *Northwest China*. *Remote Sensing*, 12(15), 2414.
4. Babaeian, E., Homaee, M., & Noroozi, A. A. (2013). Deriving and validating point spectrotransfer functions in VIS-NIR-SWIR range to estimate soil water retention. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 2(3), 27-42 (in persian).
5. Babazadeh, H., Aghdam, E. N., Aghighi, H., Shamsnia, S. A., & Dehkordi, D. K. (2012). Estimation of soil surface moisture in arid and semi arid rangelands using remotely sensed Temperature/Vegetation Index measurements (TVX)(case study: Khorasan province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 19(1), 120-132.
6. Baghdadi, N., Aubert, M., Cerdan, O., Franchistéguy, L., Viel, C., Martin, E., ... & Desprats, J. F. (2007). Operational mapping of soil moisture using synthetic aperture radar data: application to the Touch basin (France). *Sensors*, 7(10), 2458-2483.
7. Bi, H., Ma, J., Zheng, W., & Zeng, J. (2016). Comparison of soil moisture in GLDAS model simulations and in situ observations over the Tibetan Plateau. Journal of Geophysical Research: *Atmospheres*, 121(6), 2658-2678.
8. Bai, X., Zhang, L., He, C., & Zhu, Y. (2020). Estimating regional soil moisture distribution based on NDVI and land surface temperature time series data in the upstream of the Heihe River Watershed, *Northwest China*. *Remote Sensing*, 12(15), 2414.
9. Benedetti, R., & Rossini, P. (1993). On the use of NDVI profiles as a tool for agricultural statistics: the case study of wheat yield estimate and forecast in Emilia Romagna. Remote Sensing of Environment, 45(3), 311-326.
10. Box, G. E., Hunter, W. H., & Hunter, S. (1978). Statistics for experimenters (Vol. 664). New York: John Wiley and sons.
11. Cai, J., Zhang, Y., Li, Y., Liang, X. S., & Jiang, T. (2017). Analyzing the characteristics of soil moisture using GLDAS data: A case study in eastern China. *Applied Sciences*, 7(6), 566.
12. Carlson, T. N., Gillies, R. R., & Perry, E. M. (1994). A method to make use of thermal infrared temperature and NDVI measurements to infer surface soil water content and fractional vegetation cover. *Remote sensing reviews*, 9(1-2), 161-173.
13. Chauhan, N. S., Miller, S., & Ardanuy, P. (2003). Spaceborne soil moisture estimation at high resolution: A microwave-optical/IR synergistic approach. *International Journal of Remote Sensing*, 24(22), 4599-4622.
14. 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. Journal of Geophysical Research: *Atmospheres*, 118(10), 4466-4475.
15. Colliander, A., Fisher, J. B., Halverson, G., Merlin, O., Misra, S., Bindlish, R., ... & Yueh, S. (2017). Spatial downscaling of SMAP soil moisture using MODIS land surface temperature and NDVI during SMAPVEX15. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(11), 2107-2111.
16. Gutman, G. G. (1990). Towards monitoring droughts from space. Journal of climate, 3(2), 282-295.
17. Hanley, J. A. (1987). Standard error of the kappa statistic. *Psychological bulletin*, 102(2), 315.
18. Halder, B., Bandyopadhyay, J., & Banik, P. (2021). Evaluation of the climate change impact on urban heat island based on land surface temperature and geospatial indicators. *International Journal of Environmental Research*, 15, 819-835.
19. Hosseini Chamani, F., Farrokhian Firouzi, A., & Amerykhah, H. (2019). Pedotransfer Function (PTF) for Estimation Soil moisture using NDVI, land surface temperature (LST) and normalized moisture (NDMI) indices. *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), 239-254 (in persian).

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

20. Khanmohammadi, F., Homaee, M., & Noroozi, A. A. (2015). Soil moisture estimating with NDVI and land surface temperature and normalized moisture index using MODIS images. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 4(2), 37-45 (in persian).
21. Khazaei, S., Raeini Sarjaz, M., Valizadeh, E., & Ghorbani, K. (2017). Estimation of Surface Soil Moisture from Satellite Images Using Vegetation and Thermal Indices. *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, 11(2), 151-162 (in persian).
22. Kim, T. K. (2015). T test as a parametric statistic. Korean journal of anesthesiology, 68(6), 540-546.
23. Krause, P., Boyle, D. P., & Bäse, F. (2005). Comparison of different efficiency criteria for hydrological model assessment. *Advances in geosciences*, 5, 89-97.
24. Lin, M. L., Cao, Y., Juan, C. H., Chen, C. W., Hsueh, I. C., Wang, Q. B., & Lee, Y. T. (2008, July). Monitoring drought dynamics in the ejin oasis using drought indices from modis data. In IGARSS 2008-2008 IEEE *International Geoscience and Remote Sensing Symposium* (Vol. 4, pp. IV-834). IEEE.
25. Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., ... & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote sensing of environment*, 131, 14-37.
26. Mahara, G., Wang, C., Yang, K., Chen, S., Guo, J., Gao, Q., ... & Guo, X. (2016). The association between environmental factors and scarlet fever incidence in Beijing region: using GIS and spatial regression models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 13(11), 1083.
27. Mehrabi, M., Hamzeh, S., Alavipanah, S. K., Kiavarz, M., & Ziaee, R. (2019). Estimating soil moisture using remotely sensed data and surface energy balance system. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 759-770 (in persian).
28. Miles, J. (2014). Tolerance and variance inflation factor. *Wiley statsref: statistics reference online*.
29. Nourouzi, A. E., Behbahani, S., Rahimi, K. A., & Aghighi, H. (2008). Surface Soil Moisture Model with NDVI (Case Study: Rangelands of Khorasan Province). *Journal of Environmental Studies*, 48, 127-136.
30. Park, S., Im, J., Jang, E., & Rhee, J. (2016). Drought assessment and monitoring through blending of multi-sensor indices using machine learning approaches for different climate regions. *Agricultural and forest meteorology*, 216, 157-169.
31. Patel, N. R., Anapashsha, R., Kumar, S., Saha, S. K., & Dadhwal, V. K. (2009). Assessing potential of MODIS derived temperature/vegetation condition index (TVDI) to infer soil moisture status. *International Journal of Remote Sensing*, 30(1), 23-39.
32. Pablon, C. Spennemann, Juan A. River, A. Celeste Saulo, Olga C.(2015) Penalba, A Comparison of GLDAS Soil Moisture Anomalies against Standardized Precipitation Index and Multisatellite Estimations over South America, *Journal of Hydrometeorology*, Volume 16, 158-171.
33. Polo, J., Wilbert, S., Ruiz-Arias, J. A., Meyer, R., Gueymard, C., Suri, M., ... & Cebecauer, T. (2016). Preliminary survey on site-adaptation techniques for satellite-derived and reanalysis solar radiation datasets. *Solar Energy*, 132, 25-37.
34. Qin, J., Yang, K., Lu, N., Chen, Y., Zhao, L., & Han, M. (2013). Spatial upscaling of in-situ soil moisture measurements based on MODIS-derived apparent thermal inertia. *Remote Sensing of Environment*, 138, 1-9.
35. Rodell, M., Houser, P. R., Jambor, U. E. A., Gottschalck, J., Mitchell, K., Meng, C. J., ... & Toll, D. (2004). The global land data assimilation system. *Bulletin of the American Meteorological society*, 85(3), 381-394.
36. Rui, H., Teng, W. L., Vollmer, B., Mocko, D. M., Beaudoing, H. K., & Rodell, M. (2011, December). NASA Giovanni portals for NLDAS/GLDAS online visualization, analysis, and intercomparison. In 2011 American Geophysical Union Fall Meeting (No. GSFC. CPR. 5791.2011).
37. Rahimzadeh-Bajgiran, P., Omasa, K., & Shimizu, Y. (2012). Comparative evaluation of the Vegetation Dryness Index (VDI), the Temperature Vegetation Dryness Index (TVDI) and the improved TVDI (iTVDI) for water stress detection in semi-arid regions of Iran. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 68, 1-12.
38. Shirazi, M., Akhavan Qalibaf, M., Matinfar, H., & Nakhkesh, M. (2019). Comparison of MODIS and OLI sensor image data integration methods to improve the visibility of dust in industrial areas. *Scientific Journal of Pasture and Desert Research of Iran*, 26(3), 570-586 (in persian).
39. Sanchez-Lorenzo, A., Wild, M., & Trentmann, J. (2013). Validation and stability assessment of the monthly mean CM SAF surface solar radiation dataset over Europe against a homogenized surface dataset (1983–2005). *Remote sensing of environment*, 134, 355-366.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]
[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]

40. Sen, L. K., & Shitan, M. (2002). The performance of AICC as an order selection criterion in ARMA time series models. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 10(1), 25-33.
41. Song, C., Jia, L., & Menenti, M. (2013). Retrieving high-resolution surface soil moisture by downscaling AMSR-E brightness temperature using MODIS LST and NDVI data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(3), 935-942.
42. Tucker, C. J. (1989). Comparing SMMR and AVHRR data for drought monitoring. *International Journal of Remote Sensing*, 10(10), 1663-1672.
43. Thompson, C. G., Kim, R. S., Aloe, A. M., & Becker, B. J. (2017). Extracting the variance inflation factor and other multicollinearity diagnostics from typical regression results. *Basic and Applied Social Psychology*, 39(2), 81-90.
44. Wang,X. 2005. Relation between ground- based soil moisture and satellite image – based NDVI.
45. Wang, L., Qu, J. J., Zhang, S., Hao, X., & Dasgupta, S. (2007). Soil moisture estimation using MODIS and ground measurements in eastern China. *International Journal of Remote Sensing*, 28(6), 1413-1418.
46. Wang, L., & Qu, J. J. (2009). Satellite remote sensing applications for surface soil moisture monitoring: A review. *Frontiers of Earth Science in China*, 3, 237-247.
47. Wang, H., Li, X., Long, H., Xu, X., & Bao, Y. (2010). Monitoring the effects of land use and cover type changes on soil moisture using remote-sensing data: A case study in China's Yongding River basin. *Catena*, 82(3), 135-145.
48. Western, A. W., & Grayson, R. B. (1998). The Tarrawarra data set: Soil moisture patterns, soil characteristics, and hydrological flux measurements. *Water resources research*, 34(10), 2765-2768.
49. Zhao, S., Yang, Y., Qiu, G., Qin, Q., Yao, Y., Xiong, Y., & Li, C. (2010). Remote detection of bare soil moisture using a surface-temperature-based soil evaporation transfer coefficient. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(5), 351-358.
50. Zuo, J., Xu, J., Li, W., & Yang, D. (2019). Understanding shallow soil moisture variation in the data-scarce area and its relationship with climate change by GLDAS data. *Plos one*, 14(5), e0217020.
51. Zhang, T., Stackhouse Jr, P. W., Cox, S. J., Mikovitz, J. C., & Long, C. N. (2019). Clear-sky shortwave downward flux at the Earth's surface: Ground-based data vs. satellite-based data. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*, 224, 247-260.

[Downloaded from magazine.hormozgan.ac.ir on 2026-11-22]

[DOI: 10.61186/jeer.14.2.9]