

Spatial analysis of soil salinity anomaly in Fars Province due to heavy spring rains

Muhammad Kamangar^{1*} , Masoud Minaei² 

¹ Postdoc Researcher, Department of Geography and Geographic Information Science/System and Remote Sensing Laboratory (GISSRS: Lab), Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

² Associate Professor, Department of Geography and Geographic Information Science/System and Remote Sensing Laboratory (GISSRS: Lab), Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

Abstract

Introduction

Soil salinization is a global environmental problem with serious economic, social, and economic consequences. Measuring soil salinity includes the concentration of all salts dissolved in the soil, generally expressed in units of electrical conductivity (EC). Determining where, when, and how soil salinity occurs is essential to determining the sustainability of land use and development systems. Due to the ability to repeat and capture a wide range of remote sensing images, this technology will be useful for detecting changes even in short periods of time, and as an essential tool in monitoring soil salinity, it provides very valuable information on the size of the captured pixels. Flooding from this rainy season can have a large impact on soil salinity. The purpose of this research is to extract soil surface salinity with high spatial resolution and the effect of heavy rains and spatial analysis of the resulting anomalies in Fars Province using satellite image processing.

Materials and Methods

Fars Province is located in the south of the central region of Iran with an area of 122,799 square kilometers. The topography of the province consists of mountains and plains. In this province, eight million ha of land is suitable for agriculture and gardens, although only 1.6 million hectares have been used. The agricultural sector in Fars Province, which accounts for a major share of the national gross product, plays one of the most important roles in Iran's production, employment, and food security, so many of the province's agricultural products, such as cereals and citrus fruits, rank first to third in the country. Since our study was carried out in a wide area of the country, it was decided to use Google Earth Engine (GEE) as an open-source platform. Also, the Generalized Difference Vegetation Index (GDVI) prepared by Wu (2014) was used to analyze soil salinity. In order to evaluate the efficiency of the obtained model, R^2 and RMSE indices were used. In order to verify the output of the field data collected from the Agricultural and Natural Resources Research Center of Fars Province, which was used as a ground sample for the evaluation. By using spatial analysis in the form of geostatistics, spatial structures can be identified and spatial planning can be done.

Results and Discussion

For the studied area, soil salinity was between 7.01 and 53.63 dS m⁻¹. The difference between the highest and the lowest soil salinity in the study area is approximately seven times, the highest value being in the east and south of the province in the cities of Niriz, Larestan, Lamard, and Zarindasht. A significant point is the sharp increase in soil salinity in the bed of rivers leading to Bakhtegan and Tashk lakes. According to the available ground data, the accuracy of the map was checked, and the square root of the error and the correlation coefficient were calculated as 0.33 and 0.59, respectively. Then, the soil salinity map was extracted using the same algorithm in the period of Farudin 2018 due to the heavy rains that were associated with the arrival of numerous rain systems in Iran. Soil salinity was obtained between 6.35 and 47.9 and was classified into five classes. The results showed that changes have been made in the minimum and maximum values of salinity and soil salinity levels and soil salinity has decreased especially in the south of the province. Then soil salinity anomaly was obtained and spatially analyzed. The term soil salinity anomaly means deviation from the reference value or long-term

average. The results showed that the amount of abnormality increased and decreased between 0.8 and -0.9 in the province. Areas with lower salinity have experienced a greater share of positive anomalies. The positive anomaly was mostly around Darab, Zanjan, and Babamonir in the northeast of Jahrom. The southern and eastern parts, including Lar, Ozer, Rastaq, Ahl, and Lamard, which were in the medium salinity class, have suffered fewer salinity anomalies. In order to understand the cluster or scatter pattern of soil salinity changes, Moran's spatial autocorrelation coefficient was investigated. The results showed that the anomaly of salinity distribution in the rainy year has a cluster pattern. By examining the available maps, it can be said that the clusters of soil salinity anomalies are mostly located in the north of the province, Baba Monir and Zarian at higher altitudes of the province, and to some extent in the south of the province around Darab and Jahrom. Also, a little clustering has occurred in terms of anomalies in the plains of the province; That is, the rains could not cause major changes in the soil salinity of the plains.

Conclusion

In this research, the soil salinity map using GDVI in two time periods before and after the heavy rains of the water year 1398-1397, using the open source platform Google Earth Engine, extracting and changing the soil salinity classes and converting the salinity classes to each other, as well as the method of spatial clustering. The salinity anomaly was investigated. Soil salinity for the studied area was calculated between 7.01 and 53.63 dS m⁻¹ with a square error and correlation coefficient of 0.331 and 0.59, respectively. Soil salinity has changed between 6.35 and 47.9 after heavy rains. The most changes due to heavy rains are related to the low salinity layer with 19% and the least changes are related to the very saline layer with 0.3%. The amount of anomaly between 0.8 and 0.9 dS m⁻¹ was increasing in the center of the province around Bakhtegan and Tashk lakes and the western highlands of the province and decreasing in the south and east of the province. Areas with lower salinity contribute more positive anomalies. The southern and eastern parts, which have high and very high salinity, undergo less changes. The results of this study showed that the use of remote sensing and satellite data in the Google Earth Engine cloud system and spatial analysis to prepare soil salinity maps in areas that have a large area and are affected by salinity changes has great financial and time savings, and in Areas where sampling is not done or is associated with issues can be very efficient. Such research can easily and quickly identify areas that are most exposed to increasing or decreasing soil salinity and can be used in environmental planning to implement preventive measures.

Keywords: GDVI, Landsat images, Moran's statistic, Soil salinity

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: mohamad.kamangar63@gmail.com

Citation: Kamangar, M., & Minaei, M. (2023). Spatial analysis of soil salinity anomaly in Fars Province due to the heavy spring rains. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(2), 36-49.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11226.1108

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.3.7

Received: 29 July 2022, Received in revised form: 25 August 2022, Accepted: 25 August 2022, Published Online: 25 August 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 2, pp. 36-49

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تحلیل مکانی ناهنجاری تغییرات شوری خاک استان فارس در اثر بارش های سنگین بهاره

محمد کمانگر^{۱*}، مسعود مینائی^۲

^۱ پژوهشگر پسادکتری، گروه جغرافیا و پژوهشگر آزمایشگاه علم، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (GISSRS: Lab)، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
^۲ دانشیار، گروه جغرافیا و پژوهشگر آزمایشگاه علم، سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (GISSRS: Lab)، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

چکیده

شوری خاک یکی از عوامل کاهنده بهره‌وری زمین بوده که به شدت تغییرپذیر است. از این رو برای مدیریت بهینه منابع خاکی پایش شوری خاک، تغییرات زمانی و تحلیل فضایی آن ضروری است. هدف از این پژوهش استخراج شوری سطح خاک با قدرت تفکیک مکانی بالا در استان فارس و تحلیل مکانی اثر بارش های سیلابی فروردین ۱۳۹۸ بر آن است. در این راستا، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و GDVI و به وسیله الگوریتم برنامه نویسی شده در سامانه گوگل ارث اینجین (GEE)، نقشه های شوری خاک استخراج و در پنج کلاس طبقه بندی و تحلیل شد. شاخص های صحت سنجی جذرمربع خطا و ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۳۳۱ و ۰/۵۹ نشان از صحت مناسب نقشه های مستخرج شده دارد. نتایج نشان داد که شوری خاک از ۷/۰۱ تا ۵۳/۶۳ به ۶/۳۵ تا ۴۷/۹ پس از بارش های سیلابی تغییر پیدا کرده است. بیشترین تغییرات مربوط به طبقه شوری کم با ۱۹ درصد و کمترین تغییرات مربوط به طبقه بسیار شور با مقدار ۳ درصد است. مقدار ناهنجاری بین ۰/۸ و ۰/۹- دسی زمینس بر متر در مرکز استان اطراف دریاچه های بختگان و طشک و ارتفاعات غربی استان افزایشی بوده و در جنوب و شرق استان که شوری خاک بیشتری داشته اند، شامل شهرهای لار، اوز و اهل میزان شوری خاک کاهشی بوده است. مناطق با شوری کمتر سهم ناهنجاری مثبت بیشتری را به خود اختصاص داده اند. آماره ۰/۹۹۰۲ شاخص موران خودهمبستگی مکانی ناهنجاری شوری خاک و خوشه ای بودن تغییرات را نشان داد. با استفاده از نتایج و روش این پژوهش می توان به راحتی مناطقی که در معرض تغییرات شوری خاک در اثر بارش های سنگین قرار دارند شناسایی و پایش نمود و در برنامه ریزی های محیطی برای پیاده سازی اقدامات پیشگیرانه مورد استفاده قرار داد.

واژه های کلیدی: آماره موران، تصاویر لندست، GDVI، شوری خاک

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: mohamad.kamangar63@gmail.com

استناد: کمانگر، محمد، و مینائی، مسعود (۱۴۰۲). تحلیل مکانی ناهنجاری تغییرات شوری خاک استان فارس در اثر بارش های سنگین بهاره. مدل سازی و مدیریت آب و خاک، ۳(۲)، ۳۶-۴۹.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11226.1108

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.3.7

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۰۳، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۰۳

مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۲، شماره صفحه ۳۶ تا ۴۹

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

از ابتدای قرن بیستم، بسیاری از فعالیت های انسانی و طبیعی منجر به تغییرات چشم گیر در الگوهای هیدرولوژیکی، بیولوژیکی و پایداری محیط زیستی شده است (Abuelgasima et al., 2019). شور شدن خاک ها یکی از مسائل محیطی است که در تمامی نقاط دنیا وجود دارد. این پدیده از مخرب ترین تنش های محیطی است که باعث کاهش عمده سطح زیر کشت، بهره وری و کیفیت محصول می شود (Shahbaz and Ashraf, 2013). فائو، مساحت جهانی خاک های متأثر از نمک را ۴۲۴ میلیون هکتار خاک سطحی (۰ تا ۳۰ سانتی متر) و ۸۳۳ میلیون هکتار زیرزمینی (۳۰ تا ۱۰۰ سانتی متر) زده است (Negacz et al., 2022). به طور میانگین ۲۰ درصد اراضی تحت آبیاری جهان متأثر از شوری شده اند، اما این مقدار در کشورهایی همچون مصر، ایران و آرژانتین به ۳۰ درصد نیز رسیده است (AlKhair et al., 2003).

بهره وری خاک بر اساس خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک تعیین می شود (Akca et al., 2020). شوری خاک، درجه قلیایی و رطوبت خاک مهم ترین عوامل در بهره وری خاک است (Daliakopoulos et al., 2016). شوری خاک به تجمع نمک در لایه های سطحی و زیرسطحی خاک اشاره دارد (Tanji, 2002). اندازه گیری شوری خاک شامل میزان غلظت همه نمک های محلول در خاک است که معمولاً با واحد هدایت الکتریکی (EC) بیان می شود. نمک موجود در خاک بیش تر از هوازگی سنگ های اولیه بوده و یا توسط عواملی چون آب یا باد منتقل می شوند. از دیگر علت های شوری می توان به توپوگرافی، آبیاری، جنگل زدایی، چرای بیش از حد و قطع بوته ها، بالآمدن سطح ایستابی و آب زیرزمینی شور اشاره کرد (Sahbeni, 2021). تعیین این که شوری خاک کجا، چه موقع و چگونه رخ می دهد برای مشخص نمودن پایداری توسعه اراضی و سامانه های پایش کاربری اراضی حیاتی است. شناخت این مناطق و بررسی چگونگی و سرعت توسعه خاک های شور اطلاعات ارزشمند و قابل اعتمادی برای تنظیم ویژگی این اراضی با انتخاب نوع کارکرد متناسب تر در هر مورد و در مواردی شناخت عامل شوری و ارائه راهکارهایی برای کاهش آن را فراهم می کند. همچنین، دلایل شور شدن خاک فرصت هایی برای سازمان های مرتبط در توسعه پایدار کشاورزی و مدیریت زمین فراهم می آورد. تصمیم گیران نیاز دارند تا مطمئن شوند تمامی داده ها و تخمین های ارائه شده برای آنان، قابل اعتماد و متقن هستند؛ زیرا اثرات اقتصادی و اجتماعی شوری خاک پیش از درک این اتفاق، فاجعه آمیز است (Meternicht et al., 2003). بدین منظور پایش تغییرات شوری خاک در مناطق مستعد شوری مورد نیاز است تا

تصمیم های لازم برای تغییر اقدامات مدیریتی یا احیا اراضی صورت گیرد. پایش شوری بدین معنی است که ابتدا مناطقی که نمک در آنجا مجتمع گشته شناسایی شود و سپس تغییرات زمانی و مکانی شوری در خاک شناسایی شود. تنها پایگاه داده ای که در حال حاضر داده های شوری خاک را با پوشش جهانی ارائه می دهد، پایگاه داده جهانی خاک است، اما در مورد ارزیابی شوری خاک محدودیت های زیادی نیز دارد از جمله این که به جای شبکه بندی خاک از واحدهای پیوسته خاک تشکیل شده است، وضوح مکانی نقشه های این پایگاه داده کم و در حد یک کیلومتر است و همچنین آخرین برزو رسانی آن سال ۲۰۱۲ و از روی نقشه های خاک فائو بوده است. به دلیل ثابت نبودن شرایط مکانی و زمانی شوری خاک تولید نقشه آن با استفاده از داده های زمینی با مسائل زیادی همراه است. داشتن اطلاعات بهنگام در مورد توزیع مکانی و شدت شوری خاک برای مدیریت کشاورزی در معرض این پدیده بسیار مهم است. وجود چنین اطلاعاتی اجازه می دهد تا اقدامات لازم برای کاهش، یا حتی جلوگیری از تلفات اقتصادی و بازگرداندن بهره وری خاک صورت گیرد (Ivushkina et al., 2019). شوری خاک می تواند به سرعت پس از آبیاری یا یک بارندگی تغییر کند. از طرف دیگر، خشک سالی ممکن است در طی چند هفته شوری را افزایش دهد (Fourati et al., 2017). با توجه به توانایی تکرار و برداشت محدوده وسیع تصاویر سنجنش از دوری این فن آوری برای کشف تغییرات حتی در بازه های زمانی کوتاه مفید خواهد بود و به عنوان ابزاری ضروری در پایش شوری خاک به اندازه پیکسل برداشت شده اطلاعات بسیار بالارزشی را در اختیار قرار می دهد (Jiang and Shu, 2019).

از دهه ۱۹۶۰ به بعد از روش های سنجنش از دوری به طور روزافزونی برای تهیه نقشه شوری خاک استفاده می شود (Koshal et al., 2012). استخراج نقشه شوری خاک از تصاویر ماهواره ای به طور کلی سه دیدگاه و مسیر را طی نموده است: ۱) شناسایی مشخصات طیفی خاک شور از تجزیه و تحلیل رابطه بین بازتاب طیفی و شوری خاک و استخراج شاخص های مختلف شوری مبتنی بر طیف بازتابی خاک با انجام روابط مختلف ریاضی، ۲) بررسی روش های تولید نقشه شوری خاک با عوامل ایجاد یا تأثیرگذار غیر طیفی بر اساس تجزیه و تحلیل جامع طیف خاک، مانند رطوبت خاک، پوشش گیاهی و غیره و ۳) استفاده از تلفیق داده های مختلف سنجنش از دور مانند داده های ابر طیفی و داده های ماکروویو یا ادغام سنجنش از دور با سیستم اطلاعات جغرافیایی (Jiang and Shu, 2019).

در زمینه پژوهش حاضر، مطالعات مختلف انجام شده است برای نمونه، Sharma and Mondal (2006) از ترکیب باندی

ایشان با ۲۳ نمونه زمینی دقت ۹۱ درصد را نشان داد و ثابت نمود که رویکرد استفاده از کلاس‌های پوشش زمین در زمان‌های مختلف برای درک دامنه‌های شوری در یک اکوسیستم شهری کاربردی است. همچنین، Ivushkina et al. (2019) با توجه به محدودیت‌های پایگاه داده جهانی خاک، نقشه شوری خاک جهانی را با استفاده از تصاویر لندست استخراج نمودند. فرض ایشان بر آن بوده که ترکیب تصاویر مادون قرمز حرارتی و مجموعه بزرگی از مشاهدات میدانی در یک چارچوب یک طبقه‌بندی یادگیری ماشین امکان توصیف شوری خاک را بهتر می‌دهد. به این منظور از محیط محاسباتی گوگل ارث اینجین و طبقه‌بندی کننده جنگل تصادفی استفاده کردند. صحت‌سنجی نقشه‌ها دقت ۶۷-۷۰ درصد را نشان داد. Nguyen et al. (2020) نفوذ شوری آب به دلتای مکنون^۲ ویتنام را با استفاده تجزیه و تحلیل آماری بین هدایت الکتریکی خاک و شاخص‌های (NDSI) و شاخص (NDVI) و شاخص ابداعی VSS مشتق شده از باندهای تصاویر لندست ۸ را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. نتایج ایشان نشان داد که بین هدایت الکتریکی خاک با مقادیر باند مادون قرمز ۰/۷۷ همبستگی و با شاخص VSSI ۰/۸۹ همبستگی وجود دارد. تحلیل خطای شاخص ابداعی ایشان نیز نشان داد که برای خاک‌های در کلاس کم شور نسبتاً دقیق و برای خاک‌های بسیار شور برآوردی کم‌تری استخراج شده است. ایشان بیان می‌کنند که استفاده از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ پتانسیل بالایی را برای نظارت مکانی میزان شوری در لایه بالایی خاک دارد.

در ایران نیز جهت استخراج نقشه شوری خاک با سنجنش از دور، Khademi et al. (2016) و Zinali et al. (2017) شوری خاک و میزان تغییرات آن را با استفاده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بررسی کردند. آن‌ها در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم بوده، به دلیل تداخل بازتاب گیاه و خاک طبقه‌بندی نتوانستند شوری خاک را به‌خوبی استخراج کنند. همچنین آن‌ها بیان کردند که استفاده از سنجنده‌های با تعداد باندها بالاتر (قدرت تفکیک طیفی) می‌تواند صحت نتایج را بهتر نماید. در زمینه اثرات متغیرهای مختلف بر شوری خاک، Uossef Gomrokchi et al. (2020) اثر احداث زهکش حائل بر روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی را با استفاده از سنجنش از دور در بازه ۱۵ ساله بررسی کردند. نتایج ایشان نشان داد که احداث زهکش حائل در شورزار مرکزی دشت قزوین تأثیری در روند تغییرات شوری خاک و پوشش گیاهی نداشته است.

همچنین، Khanamani et al. (2009)، Dashtakian et al. (2011)، Nohegar and Daempanah et al. (2011)، Momopour, Gamarkachi et al. (2018)، Zareh (2012)

ماهواره‌ای لندست و سنجنده TM کلاس‌بندی شوری خاک در دشت گارجاپوترا هند را با سطح صحت ۸۵/۶ را تهیه نمودند. نتایج ایشان نشان داد مناطق با شوری متوسط و بسیار شور در تصاویر ماهواره‌ای نسبت به مناطق با شوری اندک بهتر شناسایی شده و استفاده از تفسیر بصری موجب بهتر شدن دقت طبقه‌بندی کلاس‌ها می‌شود. Weng et al. (2010) از داده‌های فراطیفی هایپریون برای بررسی شوری خاک استفاده کردند. ایشان با استفاده از روش رگرسیونی تک متغیره و شاخص طیف شوری خاک (SSI) و اعتبار مدل $RMSE=0/98$ نشان داد که همبستگی زیادی ($R^2=0/91$) بین SSI و نمک خاک وجود دارد. با توجه نقاط نمونه زمینی اعتبار مدل نقشه شوری کمی $RMSE=1/92$ و $R^2=0/62$ تأیید کرد. مدل آن‌ها نشان داد داده‌های ابر طیفی ماهواره‌ای پتانسیل پیش‌بینی شوری خاک در یک منطقه وسیع را دارد. در پژوهشی دیگر، Jiang and Shu (2019) اثر شوری خاک اعماق مختلف ۰ تا ۱۰، ۱۰ تا ۳۰ و ۳۰ تا ۵۰ سانتی‌متر را بر بازتاب طیف الکترومغناطیسی در منطقه خشک، سین کیانگ چین بررسی کردند. یافته‌ها نشان می‌دهد بین انعکاس طیفی خاک و شوری خاک همبستگی معناداری وجود دارد و ارتباط بین بازتاب طیفی خاک و شوری خاک به تدریج از باند آبی به باند مادون قرمز موج کوتاه تصاویر کاهش می‌یابد. مدل رگرسیون حداقل مربعات جزئی، تأیید می‌کند که استفاده از باندهای یک، چهار و شاخص پوشش گیاهی در تشخیص شوری خاک می‌تواند دقت روش‌های سنجنش از دور شوری خاک لایه سطحی را افزایش دهد. برآورد دقت شوری خاک لایه سطحی صفر تا ۱۰ سانتی‌متر با متغیرها دارای $RMSE=16/48$ و $R^2=0/75$ گرم در کیلوگرم است. این پژوهش همچنین نشان داد که شوری خاک لایه عمیق اثر واسطه‌ای دارد و با تأثیر بر شوری خاک لایه سطحی، بر بازتاب طیفی خاک تأثیر می‌گذارد.

Khadim et al. (2019) جهت ارزیابی تعادل اکوسیستم زمین در اطراف شهرها، نقشه‌های شوری خاک پارک ملی اوارگلایدس آمریکا را تهیه کردند. در این مطالعه، جهت افزایش نقشه‌های شوری خاک مستخرج از شاخص شوری سنجنش از دور، هفت کلاس پوشش گیاهی متشکل از جنگل حرا، درختچه‌های حرا، جنگل کم تراکم، علف‌زارها، چمنزارها و باتلاق‌ها، زمین‌های بایر و جنگل‌های پرتراکم را با استفاده از روش یادگیری ماشین در طبقه‌بندی نیز دخالت دادند. نقشه‌های پوشش گیاهی برای درک خصوصیت آستانه تحمل شوری خاک گیاهان، جهت اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) به کار برده شد. ارزیابی روش پیشنهادی

² Mekong Delta¹ Everglades

به وجود آمده از آن در استان فارس با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ} 31' 42''$ تا $31^{\circ} 31' 23''$ شمالی تا $50^{\circ} 30' 41''$ تا $55^{\circ} 32' 14''$ شرقی با وسعت $122/799$ کیلومتر مربع قرار گرفته است (شکل ۱). این استان از شمال با استان اصفهان و یزد، از غرب با استان‌های کهگیلویه و بویراحمد و بوشهر، از جنوب با استان هرمزگان و از شرق با استان کرمان همسایه است. توپوگرافی استان شامل کوه و دشت است ناهمواری آن دنباله رشته‌کوه‌های زاگرس با جهت شمال غرب-جنوب شرق است. دشت‌های استان فارس از رسوب‌های آبرفتی تشکیل شده‌اند، این دشت‌ها را با توجه به موقعیت جغرافیایی آن‌ها می‌توان به دو بخش میانه و باختری تقسیم‌بندی نمود. در برخی از مناطق بیابانی استان فارس مانند کویر قطریه در شرق استان و محدوده شهر نی‌ریز، به علت تبخیر شدید، نمک سطح بیابان را پوشانده و کویر را به وجود آورده است. بر اساس تقسیم‌بندی به روش تحلیل عاملی که Hatami Bahman Beyglou and Khoushhal Dastjerdi (2010) انجام داده چهار ناحیه اقلیمی در این استان قرار گرفته: ناحیه سرد و خشک شمالی، ناحیه معتدل و مرطوب مرکزی، ناحیه گرم و نیمه مرطوب غربی و ناحیه گرم و خشک جنوبی است. در این استان هشت میلیون هکتار زمین مستعد برای کشاورزی و باغ است. اگرچه از این رقم فقط شش میلیون هکتار مورد استفاده قرار گرفته است. بخش کشاورزی در استان فارس که سهم عمده‌ای از تولید ناخالص ملی را به خود اختصاص می‌دهد، یکی از مهم‌ترین نقش‌های تولید، اشتغال و امنیت غذایی ایران را دارد به‌طوری‌که بسیاری از محصولات کشاورزی استان، مانند انواع غلات و مرکبات رتبه اول تا سوم کشور را به خود اختصاص داده‌اند. از میان مهم‌ترین محصولات کشاورزی استان فارس می‌توان به گندم، جو، برنج، ذرت دانه‌ای، پنبه، چغندر قند، دانه‌های روغنی، سیب‌زمینی، پیاز، گوجه‌فرنگی و نباتات علوفه‌ای اشاره کرد.

۲-۲- مجموعه داده‌ها و روش

از آن‌جا که مطالعه ما در محدوده وسیع از کشور اجرا شد، تصمیم گرفته شد از گوگل ارث اینجین (GEE) به عنوان یک پلت فرم متن‌باز استفاده شود. از مزایای GEE کتابخانه گسترده‌ای از مجموعه داده‌های مکانی است که این امکان را می‌دهد به‌طور گسترده‌ای از تصاویر ماهواره‌ای و قدرت محاسباتی آن استفاده شود. در این پژوهش از میانه تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و به دلیل بررسی تأثیر

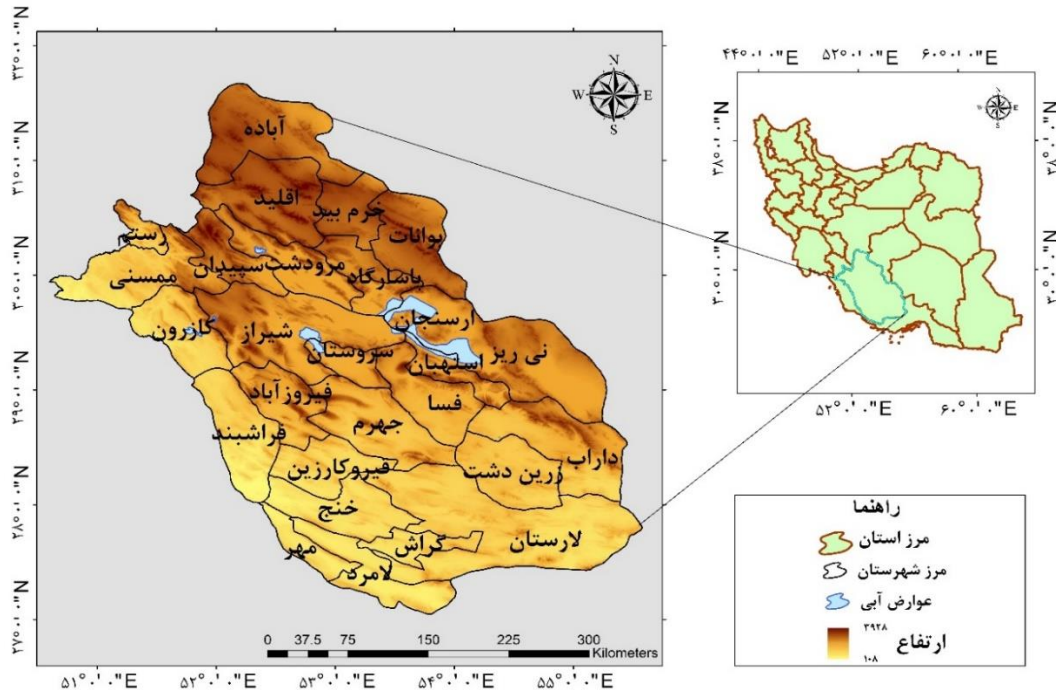
(2018)، مطالعاتی را با استفاده از شاخص‌های شوری خاک انجام داده‌اند که نتایج آن‌ها نشان می‌دهد گرچه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای قابلیت زیادی جهت مشخص نمودن پهنه‌های شور داشته، اما استفاده از شاخص شوری یکسان در کلیه مناطق جهت استخراج نقشه شوری الزاماً همبستگی یکسان با داده‌های زمینی نداشته و نمی‌توان شاخص یکسان کارایی را برای تمامی مناطق تعریف نمود و استفاده از داده‌های زمینی جهت صحت‌سنجی نتایج و بالا بردن دقت پهنه‌بندی ضروری است.

در مطالعات انجام‌شده گذشته بیش‌تر به بررسی استخراج تک‌بعدی متغیر شوری خاک و ارزیابی شاخص‌های سنجش از دور پرداخته شده است گرچه استخراج نقشه‌های شوری خاک مهم است، اما ارزیابی تغییرات مکانی با توجه به پدیده‌های دیگر از جمله بارش و دما می‌تواند تبیین‌کننده نقش پدیده‌ها در شوری خاک باشد. شناخت محدوده‌های خاک شور و بررسی چگونگی و سرعت توسعه خاک‌های شور اطلاعات ارزشمندی را برای ارائه راهکارهای مدیریتی فراهم می‌کند؛ اما باید به چالش‌های آن نیز توجه شود. اولاً، خاک زیرین به راحتی با سنجش از دور نوری تشخیص داده نمی‌شود (Singh and Srivastav, 2007)، گرچه شاخص تنظیم‌شده خاک و پوشش گیاهی را برای جداسازی طیف‌های بازتابی گیاه و خاک مؤثر می‌دانند و تحلیل شوری خاک در عمق یکی از عوامل محدودکننده سنجش از دور در برآورد شوری خاک است. حتی اگر در سطح خاک نیز وجود داشته باشد. اگر مقدار نمک کم باشد گرچه بازتاب افزایش پیدا می‌کند، اما تفکیک سطح شور از خاک دشوار است؛ ثانیاً، رطوبت موجود در خاک موجب کاهش میزان بازتاب مخصوصاً در باندهای مادون قرمز متوسط و نزدیک می‌شود. سوم، هالوفیت گیاهان و حتی محصولات مقاوم به نمک مانند جو، پنبه و یونجه می‌تواند الگوی پاسخ کلی طیفی را به‌ویژه در باندهای سبز و قرمز تغییر دهند (Metternich, 2014). سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ با ورود سامانه‌های بارشی متعددی به ایران همراه بود. این سامانه‌ها که عمدتاً بر بستر تقویت امواج رزبای^۱ و پایین افتادن موج ورتکس قطبی شکل گرفتند، به‌طور ناهنجاری در محدوده خاورمیانه با ایجاد بلاکینگ اتمسفری توده‌های مرطوب و گرم دریای سرخ و ادغام آن با توده‌های مرطوب و سرد مدیترانه‌ای درست در ارتفاعات ایران واقع شده‌اند و باعث بارش‌های بیش‌ازحد نرمال در استان فارس شدند. سیلاب‌های ناشی از این دوره پربارش می‌تواند تأثیر زیادی بر شوری خاک داشته باشد. هدف از این پژوهش استخراج شوری سطح خاک با قدرت تفکیک مکانی بالا و تأثیر بارش‌های سنگین بر آن و تحلیل مکانی ناهنجاری‌های

^۱ Rossby waves

میانگین ممکن است از دور از نقطه تمرکز واقع شود، اما میانه تحت تأثیر مقادیر فرین که ممکن است ناشی از خطای تصاویر باشد قرار نمی‌گیرد.

بارش‌های سیلابی از تصاویر میانه فروردین، ماه پربارش سال آبی ۱۳۹۷-۱۳۹۸ بهره گرفته شد. دلیل این‌که از میانه تصاویر استفاده شد این بود چون در توزیع فراوانی مقادیر عددی پیکسل‌ها به دلیل شرایط ابری، شرایط متغیر پوشش زمین و یا خطاهای رادیو متریک



شکل ۱- موقعیت استان فارس در ایران و ارتفاعات محدوده مورد مطالعه
Figure 1- Location and heights of the studied area

به منظور ارزیابی کارایی مدل به دست آمده از شاخص‌های R^2 و RMSE استفاده شد. RMSE ریشه متوسط مجذور خطاها، توصیف‌کننده متوسط خطاهاست (رابطه ۳)؛ اما چون قبل از میانگین‌گیری خطا را به وزن می‌رساند، خطاها را وزن‌دهی می‌کند و خطاهای بزرگ وزن بیشتری می‌گیرند.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i - \hat{Q}_i)^2} \quad (3)$$

RMSE مقادیری از صفر تا بی‌نهایت را دریافت می‌کند و هرچه مقدار آن‌ها کمتر باشد بهتر است. یکی دیگر از معیارها R^2 است (رابطه ۴). این معیار هر چه به یک نزدیک‌تر باشد مناسب‌تر است (Adamowski and Chan, 2011).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (Q_i - \hat{Q}_i)^2}{\sum Q_i^2 - \frac{(\sum Q_i)^2}{n}} \quad (4)$$

جهت صحت‌سنجی خروجی از داده‌های میدانی برداشت شده از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس که با استفاده از اطلاعاتی از شش مکان نمونه جمع‌آوری شده توسط این مرکز به عنوان نمونه زمینی برای ارزیابی این روش به کار گرفته شد. با

هم‌چنین از شاخص جدید پوشش گیاهی به نام $GDVI^1$ توسط Wu (2014) برای تجزیه و تحلیل شوری خاک تهیه شده، طبق رابطه ۱ استفاده شد.

$$GDVI = (SRn - 1) / (SRn + 1) \quad (1)$$

در این رابطه $SR = (\rho_{NIR} / \rho_R)$ شاخص ساده نسبت دو باند سنجش از دوری است که در معادله محاسبه آن ρ_R و ρ_{NIR} بازتاب باندهای مادون قرمز و قرمز هستند و n عدد توان صحیح غیر صفر از ۱ تا n است، وقتی $GDVI = NDVI$ در نتیجه $n = 1$ همان‌طور که (Wu ۲۰۱۴) دریافت، زمانی که $n = 2$ $GDVI$ بهتر با همه بیوم‌ها، خود را نشان می‌دهد. با این حال، با افزایش n به عنوان مثال $n = 3, 4$ $GDVI$ اشباع به مناطق با پوشش گیاهی متراکم می‌شود. از آن‌جا که در استان فارس انواع پوشش‌های گیاهی، محدوده‌های خشک بیابانی و رده‌های خاک با شوری متفاوت وجود دارد (جدول ۱)، در نتیجه توان $n = 2$ در نظر گرفته شد و در نهایت هدایت الکتریکی (واحد برحسب بر دسی‌زیمنس بر متر) طبق رابطه (۲) محاسبه شد.

$$EC = -2.87 - 23.27 \ln (GDVI) \quad (2)$$

¹ The Generalized Difference Vegetation Index

توجه به قانون جغرافیایی اصل نزدیکی- همانندی آزمون خودهمبستگی فضایی رویدادها و پدیده های آب و هوایی می تواند حاوی اطلاعات ارزشمندی باشد (Asakereh and Sifipour, 2015). برای مثال، رابطه فضایی معنادار بیانگر ارتباط همسایگی معنادار بین نواحی مجاور است. شناسایی این روابط می تواند در تشخیص مرزهای آب و هوایی و نیز تعیین اثر عوامل مکانی بر رفتار پدیده ها حائز اهمیت باشد. بررسی الگوی پراکندگی خوشه ای بودن مکانی رویدادها، در برابر «فرض مقابل» یعنی تصادفی بودن است (Haining, 2004). نمایه موران یکی از شاخص های برآورد تجمع مکانی پدیده ها است که با استفاده از رابطه ۷ قابل برآورد است (Dai et al., 2010).

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})}{(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}) \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

استفاده از تحلیل فضایی در قالب علم زمین آمار می توان ساختارهای فضایی را شناسایی و برنامه ریزی های مکانی را انجام داد. اندازه گیری توزیع مکانی داده ها این امکان را می دهد که تغییرات توزیع فضایی در راستای مؤلفه های مکان؛ یعنی طول، عرض و ارتفاع مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد. برای محاسبه شاخص های مکانی گرانی گاه (مرکز میانگین و بیضوی انحراف استاندارد) از روش های مختصات طولی (xc) عرضی (yc) آن ها بر اساس رابطه های ۵ و ۶ برآورد شد:

$$X_c = \frac{\sum_{i=1}^n T_i X_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (5)$$

$$Y_c = \frac{\sum_{i=1}^n T_i Y_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \quad (6)$$

در اینجا x_i و y_i مختصات عارضه i و $\{X, Y\}$ به ترتیب میانگین مرکزی عوارض و n برابر با تعداد کل عوارض در لایه مورد تحلیل است. برای به دست آوردن الگوی مکانی شوری خاک و این که آیا شوری خاک خوشه ای است یا نه روش های مختلفی وجود دارد. با

جدول ۱- درجه بندی شوری خاک مورد استفاده در کلاس بندی شوری
Table 1- Soil salinity classification used in salinity classification

توضیحات	کلاس شوری	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)
هیچ پوشش گیاهی تحت تأثیر شوری نیست و طیف وسیعی از گیاهان موجود است.	غیر نمکی	<2
گونه های مقاوم به نمک مانند چمن، علف ها و درختچه ها ممکن است در جامعه گیاهی برجسته باشند.	کمی شور	2-4
تمام گیاهان حساس به نمک به طور قابل توجهی تحت تأثیر سطوح شوری خاک قرار می گیرند. حیوانات تقریباً وجود ندارند زیرا جامعه گیاهی تحت سلطه علف ها، درختچه ها و علف های هرز مسطح است.	شوری متوسط	4-8
فقط گیاهان مقاوم به نمک بی تأثیر باقی می مانند. در مناطق کم بارش بعید است که گونه های بهبود یافته وجود داشته باشد	شوری زیاد	8-16
فقط گیاهان بسیار مقاوم به نمک زنده می مانند و جامعه تحت سلطه ۲ یا ۳ گونه خواهد بود. گونه های نسبتاً متحمل به شوری ممکن است قرمزی برگ ها را نشان دهند	بسیار شور	> 32

دلخواه ارزیابی می شود. در سطح اطمینان ۹۵ درصد اگر قدر مطلق نمره Z مشاهده شده (ZI) بزرگ تر از نمره Z بحرانی (± 1.96) باشد؛ فرض صفر در سطح اطمینان مذکور رد شده و معناداری روابط قابل استنباط خواهد بود (Asakereh and Shademan, 2015).

۳- نتایج و بحث

پس از اجرای الگوریتم استخراج شوری خاک پراکندگی این پدیده قبل از بارش های سیلابی در استان فارس مطابق شکل ۲ به دست آمد. برای محدوده مورد مطالعه، شوری خاک بین ۷/۰۱ تا ۵۳/۶۳ دسی زیمنس بر متر به دست آمد. اختلاف بین بیشترین و کمترین مقدار شوری خاک در محدوده مورد مطالعه تقریباً هفت برابر است که بیشترین مقدار مربوط به شرق و جنوب استان شهرستان های نیریز، لارستان، لامرد و زرین دشت است. نکته قابل توجه افزایش شدید شوری خاک در بستر رودهای منتهی به دریاچه های بختگان و طشک است. با توجه به داده های زمینی موجود صحت سنجی نقشه صورت گرفت که جذر مربع خطا و ضریب همبستگی

در این رابطه، n تعداد پدیده ها، x_i اندازه مشاهده شده بر روی مکان پدیده i ام، میانگین $\bar{x}$ هاست، y_{ij} اندازه وزن متعلق به i و j است که بر اساس مجاورت برآورد شده و نشان دهنده میزان وابستگی فضایی است. مجموع وزن ها در ماتریس وزن های $\{w_{ij}\}$ و گویای اندازه مجموعه روابط فضایی مفروض بین نواحی است. که به روش های مختلفی قابل محاسبه اند. یکی از راه ها، به کارگیری وزن هایی با ارزش صفر و یک (دو دوئی) است. در این حالت، اگر نواحی i و j هم مرز باشند، $w_{ij} = 0$ خواهد بود. آماره مورن کلی مانند ضریب خودهمبستگی بین $+1$ و -1 بوده تفسیر مشابهی دارد. مقادیر نزدیک به $+1$ گویای الگوی مکانی قوی است. مقادیر نزدیک به -1 گواهی بر خودهمبستگی مکانی منفی بوده، گویای این است که مقادیر با ارزش بالا نزدیک مقادیر با ارزش کم هستند (وضعیت نادر) و در نهایت، مقدار نزدیک صفر، عدم الگوی مکانی (تصادفی) را گواهی می دهد. بنابراین، اگر مقادیر آماره برای دو نقطه مجاور مثبت یا منفی باشد، به معنی این است که مقادیر دو نقطه مذکور بالاتر از میانگین باشد، همبستگی مکانی منفی است (Gail et al., 2007). سپس نمره Z ، در یک سطح اطمینان

خوشه‌بندی‌های ناهنجاری شوری خاک بیش‌تر در شمال استان، بابا منیر و زریان در ارتفاع‌های بالاتر استان و تا حدودی در جنوب استان در اطراف داراب و جهرم قرار گرفته است. همچنین خوشه‌بندی کمی به لحاظ ناهنجاری‌ها در دشت‌های استان رخ داده است؛ یعنی بارش‌ها نتوانسته تغییرات عمده در شوری خاک دشت‌ها ایجاد کند.

در این مطالعه به‌صورت کمی مشخص شد که توزیع کلاس‌های شوری خاک بعد بارش‌های سیل‌آسا سال ۱۳۹۸ تغییر کرده است. به‌طور کلی می‌توان بیان داشت شوری خاک در محدوده مورد مطالعه کاهش یافته است، گرچه در جاهایی که شوری خاک افزایش داشته، به‌طور موردی و محدود بوده است. تغییرات کلاس اراضی به‌گونه‌ای است که اکثر مناطق با شوری شدید که کلاس ارتفاعات کم وجود داشته تغییری نکرده گرچه تبخیر و ترق و آبیاری با آب‌های شور از مهم‌ترین عوامل در شوری خاک هستند، اما در بازه زمانی کوتاه‌مدت چندماهه و بعد از بارش‌های سنگین، مهم‌ترین عامل در تغییرات پراکندگی شوری خاک را می‌توان بارش به‌حساب آورد. برای این که بدانیم پراکنش مکانی شوری با در نظر گرفتن این فرض که مقادیر ویژگی موردنظر الگوی خوشه‌ای و یا پراکنده دارد آماره موران خودهمبستگی مکانی مورد بررسی قرار گرفت. با به‌دست آوردن، مقدار $0/4566$ شاخص موران و $P\text{-Value}=0/00$ فرض صفر مبنی بر این که هیچ‌گونه خودهمبستگی بین مقادیر شوری خاک مرتبط با مکان وجود ندارد در سطح معناداری ۹۹ درصد رد می‌شود؛ و وجود خودهمبستگی مکانی شوری خاک در استان فارس پذیرفته می‌شود. مشکل واقعی در این پژوهش فراهم آوردن داده زمینی، عدم نمونه‌گیری کامل میدانی و نبود داده‌های با پراکندگی مناسب مربوط به شوری خاک در محدوده مورد مطالعه بود. با بررسی مطالعات گذشته مزیت و پتانسیل سنجش از دور مشخص شده و توانایی سنجش از دور به‌عنوان یک ابزار مفید برای ارزیابی شوری خاک به‌ویژه در مقیاس بزرگ می‌تواند به‌کار آید. برای درک بهتر دلایل تغییرات شوری خاک، یک مدل‌سازی صریح مکانی که شامل داده‌های آب و هوایی، طبیعی، اقتصادی و انسانی در آینده مورد نیاز است.

۴- نتیجه‌گیری

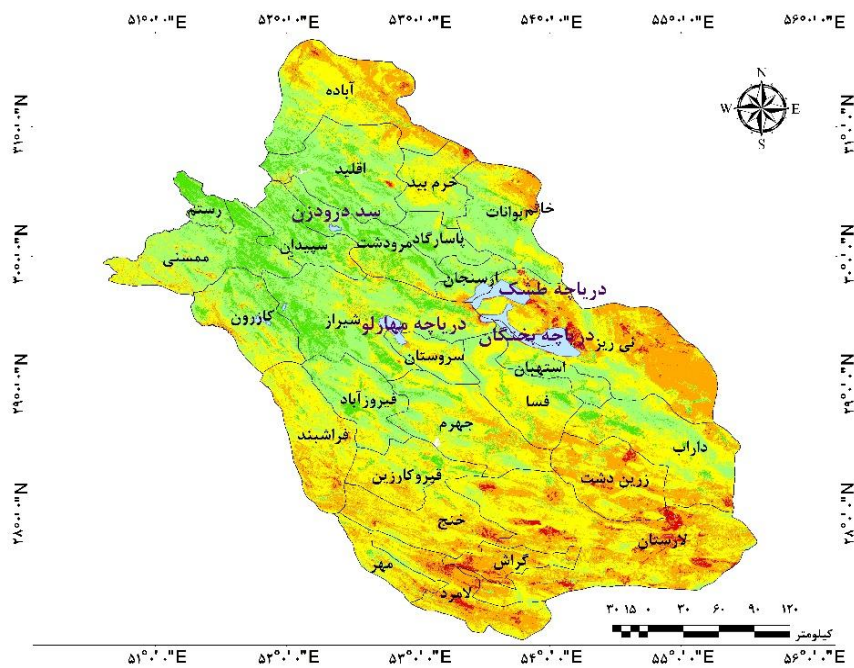
در این پژوهش نقشه شوری خاک با استفاده از GDVI در دو بازه زمانی قبل و بعد از بارش‌های سنگین سال آبی ۱۳۹۸-۱۳۹۷ با استفاده از پلتفرم متن‌باز گوگل‌ارث اینجین استخراج و تغییرات کلاس‌های شوری خاک و تبدیل کلاس‌های شوری به یکدیگر مورد و همچنین نحوه خوشه‌بندی مکانی ناهنجاری شوری مورد بررسی قرار گرفت.

به‌ترتیب $0/33$ و $0/59$ محاسبه شد. سپس نقشه شوری خاک با استفاده از همان الگوریتم در بازه زمانی فرودین ۱۳۹۸ با توجه به بارش‌های سنگین که با ورود سامانه‌های بارشی متعددی به ایران همراه بود، استخراج شد. شوری خاک بین $6/35$ تا $47/9$ به‌دست آمد و در پنج کلاس طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که در حداقل و حداکثر مقادیر شوری و طبقات شوری خاک تغییراتی ایجاد شده و شوری خاک به‌خصوص در جنوب استان کاهش یافته است (شکل ۳).

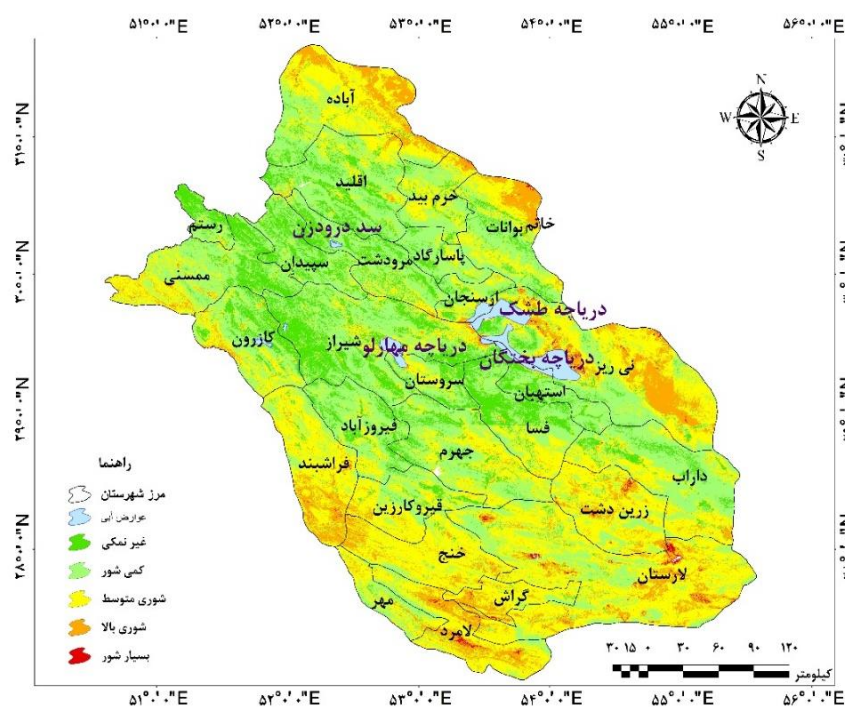
کشف تغییرات ممکن است به‌صورت کلی فهمیده شود، اما جهت برنامه‌ریزی نیاز به کمیت و کیفیت این تغییرات وجود دارد تا متناسب با آن برنامه‌ریزی شود. درصد تغییرات کلاس‌های مختلف شوری پس از بارش‌های سیلابی مطابق جدول دو محاسبه شد. بیش‌ترین تغییرات مربوط به طبقه شوری کم با 19 درصد و کم‌ترین تغییرات مربوط به طبقه بسیار شور با مقدار $0/3$ درصد است. بیش‌ترین تبدیل طبقات نیز مربوط به طبقه شوری متوسط به طبقه با شوری کم است که احتمالاً در نتیجه بارش‌های سیلابی شوری خاک شسته شده و به پایاب انتقال یافته است.

سپس ناهنجاری شوری خاک به‌دست‌آمده و تحلیل مکانی شد. اصطلاح ناهنجاری شوری خاک به معنای انحراف از مقدار مرجع یا میانگین بلندمدت است. یک ناهنجاری مثبت نشان می‌دهد که شوری خاک مشاهده‌شده بیش‌تر از مقدار مرجع بوده است، درحالی‌که یک ناهنجاری منفی نشان می‌دهد که شوری خاک مشاهده‌شده کم‌تر از مقدار مرجع بوده است. نتایج نشان داد مقدار ناهنجاری بین $0/8$ و $-0/9$ در استان افزایش و کاهش یافته است. مناطق با شوری کم‌تر سهم ناهنجاری مثبت بیش‌تری را تجربه کرده‌اند. ناهنجاری مثبت بیش‌تر در اطراف داراب، زریان و بابامنیر شمال شرق جهرم بوده است. قسمت‌های جنوبی و شرقی شامل لار، اوزر، رستاق، اهل و لامرد که در کلاس شوری متوسط بوده‌اند کم‌تر دچار ناهنجاری شوری قرار گرفته‌اند.

برای درک الگوی خوشه‌ای و یا پراکنده‌ای بودن تغییرات شوری خاک آماره موران خودهمبستگی مکانی مورد بررسی قرار گرفت؛ که نتایج طبق شکل ۴ و جدول ۳ به‌دست آمد. در این شکل نحوه پراکنش تجمع رویدادها از حالت پراکنده تا خوشه‌ای و سطح معناداری با آماره $p\text{-value}$ و مقادیر بحرانی (آماره Z) آورده شده است؛ مقدار شاخص $0/9701$ موران مکانی با $P\text{-Value}=0.000$ محاسبه شد (جدول ۳). با در نظر گرفتن مقادیر هر پیکسل و شاخص‌های جدول ۳ نشان داده شد که ناهنجاری پراکندگی شوری در سال پربارش الگوی خوشه‌ای دارد. با بررسی نقشه‌های موجود می‌توان بیان کرد



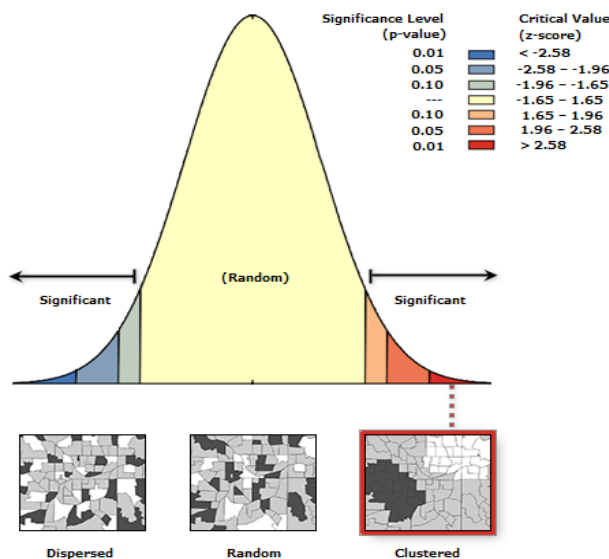
شکل ۲- پراکندگی شوری خاک قبل از بارش هاش سیلابی
Figure 2- Distribution of soil salinity before floods



شکل ۳- پراکندگی شوری خاک پس از بارش های سیلابی
Figure 3- Distribution of soil salinity after floods

جدول ۲- درصد تغییرات کلاس های مختلف شوری قبل و پس از بارش های سیلابی
Table 2- Percentage changes of different salinity classes after floods

مجموع	بسیار شور	شوری زیاد	متوسط شوری	شوری کم	غیر نمکی	طبقات شوری
0.0614	0.0000	0.0003	0.0058	0.0246	0.0307	غیر نمکی
0.192	0.0001	0.0042	0.0688	0.1120	0.0051	شوری کم
0.1862	0.0006	0.0583	0.1144	0.0118	0.001	شوری متوسط
0.0471	0.0007	0.0367	0.032	0.0002	0.0001	شوری زیاد
0.0032	0.0029	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000	بسیار شور



شکل ۴- نحوه خوشه‌بندی ناهنجاری شوری
Figure 4- cluster the salinity anomaly

تغییرات می‌شوند. نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از روش سنجش از دور و داده‌های ماهواره‌ای در سامانه ابری گوگل‌ارت اینجین و تحلیل‌های مکانی تهیه نقشه‌های شوری خاک در مناطقی که دارای وسعت زیاد هستند و تحت تأثیر تغییرات شوری قرار دارند، صرفه‌جویی‌های مالی و زمانی زیادی دارد و در مناطقی که نمونه‌گیری در آن انجام نشده و یا با مسائلی همراه است می‌تواند بسیار کارا باشد. چنین پژوهش‌هایی می‌تواند موجب شناسایی مناطقی به‌راحتی و با سرعت بالا که بیش‌تر در معرض افزایش یا کاهش شوری خاک قرار دارند شده و در برنامه‌ریزی‌های محیطی برای پیاده‌سازی اقدامات پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان این پژوهش بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه فردوسی مشهد به‌دلیل حمایت مالی خود طبق قرارداد شماره ۲۵۱۴۳ صمیمانه تشکر می‌نمایند.

جدول ۳- خلاصه آماره کلی موران محاسبه‌شده

Table 3- Summary of the calculated overall Moran's statistic

P-value	Z-score	واریانس	شاخص مورد انتظار	شاخص موران
0.00	321.74	0.00003	-0.00009	0.9701

شوری خاک برای محدوده مورد مطالعه بین ۷/۰۱ تا ۵۳/۶۳ دسی‌زیمنس بر متر با جذرمربع خطا و ضریب همبستگی به‌ترتیب ۰/۳۳۱ و ۰/۵۹ محاسبه شد. شوری خاک پس از بارش‌های سنگین بین ۶/۳۵ تا ۴۷/۹ تغییر یافته است. بیش‌ترین تغییرات ناشی از بارش‌های سنگین مربوط به طبقه شوری کم با ۱۹ درصد و کم‌ترین تغییرات مربوط به طبقه بسیار شور با مقدار ۰/۳ درصد است. مقدار ناهنجاری بین ۰/۸ و -۰/۹ دسی‌زیمنس بر متر در مرکز استان اطراف دریاچه‌های بختگان و طشک و ارتفاعات غربی استان افزایشی و در جنوب و شرق استان کاهش‌ی بود. مناطق با شوری کم‌تر سهم ناهنجاری مثبت بیش‌تری را ایجاد می‌کند. قسمت‌های جنوبی و شرقی که شوری به بالا و بسیار زیاد دارند کم‌تر دچار

منابع

- ایمانی، مینا، بهرامی، حسینعلی، سکوتی اسکویی، رضا، و قربانی زمانی، فائزه (۱۳۹۳). تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از تصاویر فراطیفی هایپرسپکتر، مطالعه موردی: شمال دشت اورمیه. *پژوهش‌های آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۱(۴۵)، ۶۷-۷۴.
- حاتمی بهمن بیگلر، خداکرم، و خوشحال دستجردی، جواد (۱۳۸۹). نواحی اقلیمی استان فارس به روش تحلیل عاملی. *فضای جغرافیایی*، ۱۰(۳۲)، ۱۳۵-۱۵۰.
- خادمی، فاطمه، پیرخراطی، حسین، و شاه کرمی، سجاد (۱۳۹۳). مطالعه روند افزایش خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از
- GIS و RS. *علوم زمین*، ۲۴(۹۴)، ۹۳-۹۸.
doi:10.22071/gsj.2015.43262
- خانمانی، علی، جعفری، رضا، سنگونی، حامد، و شهبازی، علی (۱۳۹۰). ارزیابی وضعیت خاک با استفاده از فن‌آوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: دشت سگری اصفهان). *سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۲(۳)، ۲۵-۳۷.
- دائم‌پناه، راضیه، حق نیا، غلامحسین، علی‌زاده، امین، و کریمی کارویه، علیرضا (۱۳۹۰). تهیه نقشه شوری و سدیمی خاک سطحی با روش‌های دورسنجی و زمین آماری در جنوب شهرستان مه ولات. *آب و خاک*، ۲۵(۳)، ۴۹۸-۵۰۸.
doi:10.22067/jsw.v0i0.9637

- ایمانی، مینا، بهرامی، حسینعلی، سکوتی اسکویی، رضا، و قربانی زمانی، فائزه (۱۳۹۳). تخمین هدایت الکتریکی خاک با استفاده از تصاویر فراطیفی هایپرسپکتر، مطالعه موردی: شمال دشت اورمیه. *پژوهش‌های آب و خاک ایران (علوم کشاورزی ایران)*، ۱(۴۵)، ۶۷-۷۴.
- حاتمی بهمن بیگلر، خداکرم، و خوشحال دستجردی، جواد (۱۳۸۹). نواحی اقلیمی استان فارس به روش تحلیل عاملی. *فضای جغرافیایی*، ۱۰(۳۲)، ۱۳۵-۱۵۰.
- خادمی، فاطمه، پیرخراطی، حسین، و شاه کرمی، سجاد (۱۳۹۳). مطالعه روند افزایش خاک‌های شور اطراف دریاچه ارومیه با استفاده از

علیجانی، بهرام (۱۳۹۴). تحلیل فضایی در مطالعات جغرافیایی. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*، ۲(۳)، ۱-۱۴. doi:10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.1

مومی پور، مهدی (۱۳۹۷). بررسی تغییرات زمانی و مکانی شوری خاک شهرستان آبادان در بازه ۲۴ ساله با تصاویر ماهواره‌ای. *جغرافیا و پایداری محیط (پژوهشنامه جغرافیایی)*، ۸(۲۷)، ۴۷-۵۸. doi:10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.1

نوحه‌گر، احمد، و زارع، غلامرضا (۱۳۹۱). استخراج پهنه‌های شوری خاک در مناطق خشک و نیمه خشک با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: شهرستان داراب). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱۱(۱)، ۴۹-۶۴. doi:10.22067/geo.v1i1.16522

یوسف گمرکچی، افشین، اکبری، مهدی، حسن اقلی، علیرضا، و یونسی، مهدی (۱۳۹۹). پایش شوری خاک و پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های سنجش از دور چندطیفی در محدوده زهکش حائل شوره‌زار دشت قزوین. *جغرافیا و پایداری محیط*، ۱۰(۳۴)، ۳۷-۵۲. doi:10.22126/ges.2020.4434.2103

References

- Abuelgasima, A., & Ammad, R. (2019). Mapping soil salinity in arid and semi-arid regions using Landsat 8 OLI satellite data. *Remote Sensing Applications*, 13, 415-425. doi:10.1016/j.rsase.2018.12.010
- Adamowski, J., & H.F. Chan. (2011). A wavelet neural network conjunction model for groundwater level forecasting. *Journal of Hydrology*, 407(1-4), 28-40. doi:10.1016/j.jhydrol.2011.06.013
- Akca, P., Aydin, M., Kapur, S., Kume, T., Nagano, T., Watanab, S., Çilek, A., & Zorlu, K. (2020). Long-term monitoring of soil salinity in a semi-arid environment of Turkey. *Catena*, 19, 104614. doi:10.1016/j.catena.2020.104614
- Alijani, B. (2014). Spatial analysis in Geography Studies. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 2(3), 1-14. doi:10.18869/acadpub.jsaeh.2.3.1 [In Persian]
- AlKhair, F. (2003). Soil salinity detection using satellite remote sensing. International institute for Geo-information science and earth observation. *Geo-Information Science Netherlan*, 70-71.
- Asakereh, H., & Shademan, H. (2015). Identifying the spatial relationships of pervasive hot days in Iran. *Journal of Geographical Research*, 30(1), 53-70. [In Persian]
- Asakereh, H., & Sifipour, Z. (2015). Spatial modeling of annual precipitation in Iran. *Geography and Development*, 10(29), 15-30. doi:10.22111/GDIJ.2013.117 [In Persian]
- Daempanah, R., Haghnia, H., Alizadeh, A., & Karimi, A. (2011). Mapping salinity and sodicity of surface soil by remote sensing and geostatistic methods in south side of Mah Valat

- دشتکیان، کاظم، پاک پرور، مجتبی، و عبدالحی، جلال (۱۳۸۷). بررسی روش‌های تهیه نقشه شوری خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای لندست در منطقه مروست. *تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، ۱۵(۲)، ۱۳۹-۱۵۷.
- زینالی، محمد، جعفرزاده، علی اصغر، شهبازی، فرزین، اوستان، شاهین، و ولی زاده کامران، خلیل (۱۳۹۵). ارزیابی شوری خاک سطحی با روش پیکسل مینا بر اساس داده‌های سنجنده TM، مطالعه موردی: اراضی شرق شهرستان خوی-استان آذربایجان غربی. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۵(۹۹)، ۱۲۷-۱۳۹.
- عساکره، حسین، و سیفی‌پور، زهره (۱۳۹۱). مدل سازی مکانی بارش سالانه ایران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۰(۲۹)، ۱۵-۳۰. doi:10.22111/GDIJ.2013.117
- عساکره، حسین، و شادمان، حسین (۱۳۹۴). شناسایی روابط فضایی روزهای گرم فراگیر در ایران زمین. *تحقیقات جغرافیایی*، ۳۰(۱)، ۵۳-۷۰.

- County. *Journal of Water and Soil*, 25(3), 498-508. doi:10.22067/jsw.v0i0.9637 [In Persian]
- Dai, X., Guo, Z., Zhang, L., & Li, D. (2010). Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai. *Environment Risk Assessment*, 24, 247-257. doi:10.1007/s00477-009-0314-2
- Daliakopoulos, N., Tsanis, K., Koutroulis, A., Kourgialas, N., Varouchakis, A., Karatzas, P., & Ritsema, C. (2016). The threat of soil salinity: A European scale review. *Science Total Environment*, 573, 727-739. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.08.177
- Dashtakian, K., Pakparvar, M., & Abdolahi, J. (2009). Study of soil salinity preparing methods by using landsat images in Marvast.. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 15(2), 139-157. [In Persian]
- Fischer, M., & Manfred, M. (2006). *Spatial analysis and geo computation*. Germany Springer, 344 pages.
- Fourati, T., Bouaziz, H., & Benzina, M. (2017). Detection of terrain indices related to soil salinity and mapping salt-affected soils using remote sensing and geostatistical techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, 189, 177. doi:10.1007/s10661-017-5877-7
- Gail, M., Krickeberg, K., Samet, J., Tsiatis, A., & Wong, W. (2007). *Statistics for biology and health*. USA Springer, 402 pages.
- Ghabour, T., & Daels, L. (1993). Mapping and monitoring of soil salinity. *Soil Science*, 33(4), 355-370.
- Haining, R. (2004). *Spatial data analysis: Theory and practice*. Cambridge University Press, UK.
- Hatami Bahman Beyglou, K., & Khoushhal Dastjerdi, J. (2010). Climatic regions of Fars

- province. *Geographic Space*, 10(32), 135-150. [In Persian]
- Imani, M., Bahrami, H., & Askoi, S. (2014). An Estimation of the soil electrical conductivity by use of hyperion satellite images: A case study in the North of the Urmia plain. *Iranian Soil and Water Research*, 45(1), 67-74. [In Persian]
- Ivushkina, K., Bartholomeusa, H., Bregta, A., Alim, K., & Bas, S. (2019). Global mapping of soil salinity change. *Remote Sensing of Environment*, 231(15), 111260. doi:10.1016/j.rse.2019.111260
- Jiang, H., & Shu, H. (2019). Optical remote-sensing data based research on detecting soil salinity at different depth in an arid-area oasis. *Earth Science Information*, 12, 43-56. doi:10.1007/s12145-018-0358-2
- Khademi, F., Pirkhayati, H., & Shahkarami, S. (2016). Investigation of Increasing Trend of Saline Soils Around Urmia Lake and its Environmental Impact, Using RS and GIS. *Earth Sciences*, 24(94), 93-98. [In Persian]
- Khadim, F., Su, H., Xu, L., & Tian, J. (2019). Soil salinity mapping in Everglades National Park using remote sensing techniques and vegetation salt tolerance. *Physics and Chemistry of the Earth*, 31-50. doi:10.1016/j.pce.2019.01.004
- Khanamani, A., Sangoi, R., & Shabazi, H. (2011). Assessment of soil condition using remote sensing technology and GIS (Case study of Segzi plain of Isfahan). *Journal of Remote Sensing and GIS Application in Natural Resources Sciences*, 2(3), 25-37. [In Persian]
- Koshal, K. (2012). Spectral characteristics of soil salinity areas in parts of South-West Punjab through remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing and GIS*, 1(2), 84-89.
- Meternicht, G., & Zink, J. (2003). Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 58(1), 1-20. doi:10.1016/S0034-4257(02)00188-8
- Moradian, S., Nabiollahi, K., Tahizade, K., & Merjordi, R. (2017). Prediction of soil salinity using tree regression and neural network in Qorveh region of Kurdistan province. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 7(4), 115-129. doi:10.22069/ejsms.2018.13223.1741
- Mumipour, M. (2018). Temporal and spatial variation of soil salinity variations in a 24-year Period in Abadan District using satellite images. *Geography and Environmental Sustainability*, 8(27), 47-58. doi:10.1001.1.23223197.1397.8.2.4.8 [In Persian]
- Negacz, K., Malek, Z., de Vos, A., & Vellinga, P. (2022). Saline soils worldwide: Identifying the most promising areas for saline agriculture. *Journal of Arid Environments*, 203, 104775. doi:10.1016/j.jaridenv.2022.104775
- Nguyen, K., Liou, Y., & Tran, H. (2020). Soil salinity assessment by using near-infrared channel and vegetation soil salinity index derived from Landsat 8 OLI data: a case study in the Tra Vinh Province, Mekong Delta Vietnam. *Progeram Earth Planet Science*, 7(1), 1-16. doi:10.1186/s40645-019-0311-0
- Nohegar, A., & Zareh, G. (2012). Extraction of soil salinity zones in arid and semi-arid regions using remote sensing data Case study: Darab city. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 1(1), 49-64. doi:10.22067/geo.v1i1.16522 [In Persian]
- Sahbeni, G. (2021). Soil salinity mapping using Landsat 8 OLI data and regression modeling in the Great Hungarian Plain. *Applied Sciences*, 3, 587. doi:10.1007/s42452-021-04587-4
- Shahbaz, M., & Ashraf, M. (2013). Improving salinity tolerance in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32, 237-249. doi:10.1080/07352689.2013.758544
- Sharma, R., & Mondal, A. (2006). Mapping of soil salinity and sodality using digital image analysis and GIS in irrigated lands of the Indo-Genetic plain. *Agropedology*, 16, 71-76.
- Singh, P., & Srivastav, K. (2007). Mapping of waterlogged and salt affected soils using microwave radiometers. *International Remote Sensing*, 11, 1879-1887. doi:10.1080/01431169008955135
- Tanji, K. (2002). Salinity in the Soil Environment. *Springer Dordrecht the Netherlands*, 21-51.
- Uossef Gomrokchi, A., Akbari, M., Hassanoghli, A., & Younesi, M. (2020). Monitoring soil salinity and vegetation using multispectral remote sensing data in interceptor drain of salt marsh in Qazvin Plain. *Geography and Environmental Sustainability*, 10(34), 37-52. doi:10.22126/ges.2020.4434.2103 [In Persian]
- Weng, L., Gong, P., & Zhu, Z. (2010). A spectral index for estimating soil salinity in the Yellow River Delta Region of China Using EO-1 Hyperion Data. *Pedosphere*, 20(3), 378-388. doi:10.1016/S1002-0160(10)60027-6
- Wu, W. (2014). The generalized difference vegetation index (GDVI) for dry land characterization. *Remote Sensing*, 6, 1211-1233. doi:10.3390/rs6021211
- Zinali, M., Jafarzadeh, A., Farzin, O., & Valizadehkamran, K. (2017). Evaluation of surface soil salinity by pixel based method based on TM sensor data case study of lands of Khoy city West Azerbaijan province. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 25(99), 127-139. [In Persian]