

## Evaluating the Spatiotemporal Variations of Soil Salinity Using Remote Sensing Technique (Case Study: Rudasht, Isfahan)

Leila Jahanbazi <sup>1</sup>, Rayehe Mirkhani <sup>2\*</sup>, Ahmad Heidari <sup>3</sup>, Mohammad Sajad Ghavami <sup>4</sup>

(Received: November 2023      Accepted: May 2019)

### Abstract

Remote sensing technique is an effective and reliable tool in management and monitoring soil salinity. Saline lands can be assessed, mapped, and monitored in different regions using remote sensing techniques. This study was conducted in the Rudasht Region of Isfahan with the aim of investigating changes in soil salinity and its relationship with soil water, as well as the state of vegetation using spectral ratio indices of remote sensing techniques in different years. To achieve this goal, multispectral LANDSAT series of 1994, 1998, 2014, and 2017 were used and three spectral ratio indices were calculated, including Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Normalized Difference Salinity Index (NDSI), and Normalized Difference Water Index (NDWI). Also, 100 soil samples were taken from a depth of 0-30 cm with appropriate spatial distribution from the Rudasht region to measure the electrical conductivity (EC) to match the ground data and the results of the spectral ratio indices. The results indicate that during these 23 years, salinity has increased and a large part of the studied area with dense vegetation has turned into low density vegetation and saline lands. According to the results, allocating fresh water with low EC to farmers in the second half of the year may be a good solution to deal with salinity problems. Also, the findings show that the Rudasht region is exposed to severe salinity and if not properly managed, there is a risk of turning agricultural lands into uncultivable saline lands.

**Keywords:** Rudasht region, NDVI, NDWI, NDSI

Jahanbazi L., Mirkhani R., Heidari A. and Ghavami M.S. 2024. Evaluating the Spatiotemporal Variations of Soil Salinity Using Remote Sensing Technique (Case Study: Rudasht, Isfahan). *Applied Soil Research*, 12 (2): 64-78.

1-Post Doc, Department of Agroecology, Aarhus University, Denmark

2-Researcher, Nuclear Agriculture School, Nuclear Science and Technology Research Institute (NSTRI) (Corresponding Author)

3-Professor, Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, University of Tehran

4-Ph.D. Student., Department of Soil Science and Engineering, Faculty of Agricultural Engineering & Technology, Isfahan University of Technology (IUT)

\* Corresponding Author Email: [rmirkhani@aeoi.org.ir](mailto:rmirkhani@aeoi.org.ir)

## پایش تغییرات مکانی-زمانی شوری با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: رودشت، اصفهان)

لیلا جهانبازی<sup>۱</sup>، رایحه میرخانی<sup>۲\*</sup>، احمد حیدری<sup>۳</sup>، محمد سجاد قوامی<sup>۴</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۲۳)

### چکیده

تکنیک سنجش از دور ابزاری موثر و قابل اعتماد در مدیریت و پایش شوری خاک است. اراضی شور را می‌توان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در مناطق مختلف ارزیابی، نقشه‌برداری و پایش کرد. این مطالعه با هدف بررسی تغییرات شوری خاک و ارتباط آن با آب خاک و همچنین وضعیت پوشش گیاهی با استفاده از شاخص‌های نسبت طیفی تکنیک سنجش از دور در سال‌های مختلف در منطقه رودشت اصفهان انجام شد. برای دستیابی به این هدف، از سری‌های LANDSAT چند طیفی سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۸، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ استفاده شد و سه شاخص نسبت طیفی شامل شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، شاخص تفاضل شوری نرمال شده (NDSI) و شاخص تفاضل رطوبت نرمال شده (NDWI) محاسبه شد. همچنین ۱۰۰ نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر با توزیع فضایی مناسب از منطقه رودشت برای اندازه‌گیری هدایت الکتریکی (EC) به منظور تطبیق داده‌های زمین و نتایج شاخص‌های نسبت طیفی جمع‌آوری شدند. نتایج حاکی از آن است که طی ۲۳ سال، شوری خاک افزایش یافته و بخش زیادی از منطقه مورد مطالعه با پوشش گیاهی متراکم به پوشش گیاهی کم تراکم و اراضی شور تبدیل شده است. با توجه به نتایج، تخصیص آب شیرین با EC پایین به کشاورزان در نیمه دوم سال می‌تواند راه حل مناسبی برای مقابله با مشکلات شوری باشد. همچنین یافته‌ها نشان می‌دهد که منطقه رودشت در معرض شوری شدید قرار دارد و در صورت عدم مدیریت صحیح، خطر تبدیل اراضی کشاورزی به اراضی شور غیرقابل کشت وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: منطقه رودشت، NDVI، NDSI، NDWI

جهانبازی ل، میرخانی ر، حیدری ا، قوامی م.س. ۱۴۰۳. پایش تغییرات مکانی-زمانی شوری با استفاده از سنجش از دور (مطالعه موردی: رودشت، اصفهان). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۲، شماره ۲. صفحه: ۶۴-۷۸.

۱- فوق دکتری، گروه آگرواکولوژی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه آرهوس

۲- پژوهشگر، گروه علوم و مهندسی آب و خاک، پژوهشکده کشاورزی هسته‌ای، پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای (مکاتبه کننده)

۳- استاد، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*پست الکترونیک: [rmirkhani@aeoi.org.ir](mailto:rmirkhani@aeoi.org.ir)

## مقدمه

بخش اعظمی از مساحت کشور ایران در اقلیم خشک و نیمه خشک قرار دارد که بدلیل میزان کم بارندگی و تبخیر زیاد، شوری و پیامدهای حاصله از آن همچون کاهش رشد گیاهان، فرسایش، بیابان‌زایی و تخریب خاک در این مناطق شایع است. با توجه به تغییرات مکانی-زمانی گسترده شوری خاک، داشتن اطلاعات دقیق در این زمینه به منظور جلوگیری از پیشروی شوری و مشکلات حاصله از آن ضروری می‌باشد (Hamzhepour & Bogaer, 2019; Jahanbazi et al., 2023). جمع‌آوری و تهیه اطلاعات درباره تغییرات مکانی-زمانی ویژگی‌های خاک، از جمله شوری با استفاده از روش‌های مرسوم مطالعه خاک نیازمند صرف هزینه و زمان زیاد است. ماهیت نقطه‌ای داده‌های حاصل از روش‌های مرسوم سبب عدم یکپارچگی نتایج پهنه‌بندی تغییرات مکانی ویژگی‌های خاک و همچنین عدم قطعیت نتایج حاصله می‌شود. حال آنکه داده‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای به دلیل ماهیت یکپارچه‌ای که دارند امکان پهنه‌بندی یکنواخت ویژگی‌های خاک را فراهم می‌سازند (Hamzhepour & Bogaer, 2019; Jiao et al., 2019). در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری بر روی کارایی تکنیک‌های جدید مانند سنجش از دور و داده‌های حاصل از آن که با صرف هزینه و زمان کمتر اطلاعات دقیقی در زمینه پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی ویژگی‌های خاک فراهم می‌کنند، صورت گرفته است که نتایج حاکی از کارایی زیاد این تکنیک می‌باشد (Abbas et al, 2013; Allbed et al, 2014; Khaleghi et al, 2018; Jahanbazi et al, 2016 & 2018; Zheng et al, 2018). مترنیشست و زینک (Metternicht & Zink, 2003) در مطالعه‌ای به بررسی کارایی سنجنده‌های مختلف برای بررسی تغییرات مکانی-زمانی شوری پرداختند و نتایج آنها نشان داد که فرآیند تغییر و تبدیل بر روی داده‌های خام حاصل از سنجنده‌های مختلف برای تشخیص و طبقه‌بندی پدیده‌ها ضروری است. بدین منظور آنها از روش‌هایی مانند نسبت‌گیری طیفی و شاخص‌های حاصله مانند شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۱</sup>، شاخص تفاضل رطوبت نرمال شده<sup>۲</sup>، شاخص تفاضل شوری نرمال شده<sup>۳</sup> برای پردازش داده‌های خام حاصل از تصاویر

ماهواره‌ای استفاده کردند و نتایج حاکی از کارایی شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی برای بررسی تغییرات شوری بود. در مطالعه‌ای دیگری لیسو و همکاران (Lhissou et al., 2014) از داده‌های حاصل از سنجنده TM ماهواره لندست برای مطالعه تغییرات مکانی-زمانی شوری در یک زمین تحت آبیاری استفاده کردند که نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر دقت و کارایی زیاد شاخص‌های حاصل از سنجش از دور برای پهنه‌بندی تغییرات مکانی شوری در بازه‌های مختلف زمانی بود. همچنین سودیرو و همکاران (Scudiero et al., 2015) کارایی استفاده از داده‌های حاصل از ماهواره لندست برای بررسی تغییرات شوری در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی را مورد بررسی قرار دادند که نتایج حاصله نشان‌دهنده دقت کافی این داده‌ها برای بررسی تغییرات شوری بود.

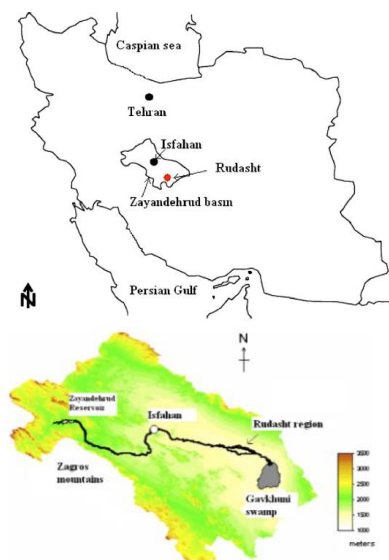
اسفو و همکاران (Asfaw et al., 2018) در مطالعه‌ای به بررسی تغییرات شوری در مزرعه نیشکر در اتیوپی با استفاده از داده‌های ماهواره لندست پرداختند و نتایج آنها نشان داد که تغییرات شوری برآورد شده توسط داده‌های حاصل از سنجش دور همبستگی بالایی با داده‌های واقعی زمینی داشتند. شاخص‌های زیادی بر مبنای بازتاب طیفی توسعه داده شده‌اند، که از جمله مهم‌ترین آنها شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با پایش کاهش رشد پوشش گیاهی در خاک‌های شور به بررسی تغییرات شوری و پیامدهای آن می‌پردازد. اگرچه مطالعات زیادی در زمینه استفاده از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده، به عنوان یک شاخص غیرمستقیم برای مطالعه خشکسالی و شوری در سطح دنیا صورت گرفته است که نتایج آنها بر کارایی این شاخص تأکید دارند (Liu & Kogan, 1996; Heim, 2002; Wan et al, 2004; Spadoni et al, 2020; Xie & Fan, 2021)، اما برخی محققین استفاده از شاخص‌های شوری مانند شاخص تفاضل شوری نرمال شده را کارا تر از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده برای مطالعات خشکسالی و شوری دانسته‌اند (Mombeni et al, 2014; Jahanbazi et al, 2018; Ahmadi et al, 2021). این نتایج نشان می‌دهند که کارایی شاخص‌های مختلف حاصل از سنجش از دور برای پهنه‌بندی تغییرات شوری بسته به شرایط منطقه مطالعاتی مانند عوامل محیطی،

3-Normalized Differential Salinity Index (NDSI)

1- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

2-Normalized Differential Water Index (NDWI)

ماه) با میانگین ۵/۶ درجه سلسیوس و جولای (تیر ماه) با میانگین ۳۷ درجه سلسیوس است. همچنین رژیم‌های رطوبتی و حرارتی خاک در منطقه مورد به ترتیب اریدیک و ترمیک بود. تشکیلات زمین‌شناسی منطقه عمدتاً رسوبات دوران چهارم مانند رسوبات کنگلومرایی، رسوبات تراورتن، آهک‌های الیگومیوسن، قله‌سنگ‌های آهکی و ماسه‌سنگی و همچنین رسوبات رسی می‌باشد. از لحاظ فیزیوگرافی منطقه مورد مطالعه دشت آبرفتی بوده که مواد تشکیل‌دهنده آن رسوبات رودخانه زاینده‌رود است. خاک تشکیل شده بر روی تراس‌های آبرفتی عمدتاً دارای بافت سنگین و محدودیت‌های شوری و قلیائیت بوده و به همین دلیل محصولات غالب در منطقه عمدتاً محصولات مقاوم به شوری مانند گندم، جو، یونجه و چغندر قند بود. تنها منبع آب سطحی در منطقه رودخانه زاینده‌رود بوده که نقش اساسی در تأمین آب اراضی زراعی اطراف داشته است، اما در حال حاضر با توجه به بحران آب این رودخانه خشک شده است و معمولاً در صورت نبودن شرایط خشکسالی در سال چند بار برای کشاورزان باز می‌گردد.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Geographical location of the study area

ابتدا محدوده مورد مطالعه با استفاده از بررسی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌ها و گزارش‌های خاکشناسی موجود، پیمایش‌های زمینی، اندازه‌گیری صحرایی میزان شوری خاک و بررسی عوارضی مانند کراست نمکی در سطح خاک انتخاب گردید. سپس تعداد ۱۰۰ نمونه خاک سطحی با پراکنش مناسب از عمق ۰ تا ۳۰ سانتی‌متری و

ژئومورفولوژی و مدیریتی ممکن است متفاوت باشد و در هر منطقه شاخص‌های متفاوتی قادر به پهنه‌بندی تغییرات شوری باشند (Jahanbazi et al, 2018; Nazarnejad et al, 2021).

اراضی شور در مقایسه با اراضی غیرشور برای تولید محصول نیازمند آب بیشتری بوده که با توجه به محدودیت بارندگی و بحران آب در مناطق خشک و نیمه خشک مانند منطقه مورد مطالعه، پیشروی اراضی شور مانعی جدی برای مدیریت منابع آب و افزایش عملکرد پایدار در سطح می‌باشد. روند افزایشی شوری در مناطق مستعد شوری سبب می‌شود، سالیانه وسعت اراضی دارای مشکل شوری حاد افزایش یافته و بنابراین شرایط فرسایش و تخریب خاک فراهم شود. از آنجایی که بخش بزرگی از اراضی منطقه مورد مطالعه را خاک‌های شور تشکیل داده‌اند، استفاده از شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی سنجش از دور گامی مفید در راستای پایش روند تغییرات اراضی و وضعیت خشکسالی و شوری در مقیاس زمان است. بنابراین با توجه به شرایط اقلیمی و شوری زیاد در منطقه مورد مطالعه، بررسی تغییرات مکانی شوری در ادوار مختلف زمانی به منظور شناسایی حدود اراضی شور و با هدف جلوگیری از پیشروی اراضی شور با استفاده از تکنیک‌های نوین مانند سنجش از دور با صرف کمترین زمان و هزینه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. با توجه به ضرورت مطرح شده، مطالعه حاضر با هدف بررسی تغییرات مکانی-زمانی شوری و بررسی کارایی شاخص‌های حاصل از پردازش داده‌های سنجش دور برای پیش‌بینی تغییرات مکانی-زمانی شوری در ایستگاه تحقیقات شوری رودشت اصفهان در سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۸، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ و ماه‌های آوریل، ژوئن و اوت طراحی گردید.

## مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه در شرق استان اصفهان در بخش مرکزی ایران در محل ایستگاه تحقیقات شوری رودشت واقع شده است (شکل ۱). ایستگاه فوق در مختصات جغرافیایی ۵۲° تا ۵۲° ۴۰' شرقی و ۳۲° ۲۰' تا ۳۲° ۳۰' شمالی و ۱۵۲۷ متر از سطح دریا قرار داد. بر اساس طبقه‌بندی دومارتن اقلیم منطقه مورد مطالعه خشک و میزان بارش بین ۶۰ تا ۱۱۰ میلی‌متر در نوسان بود. سردترین و گرم‌ترین ماه‌های سال، به ترتیب ژانویه (دی

حاصل از نسبت‌گیری به عنوان یک باند در ایجاد تصاویر رنگی مرکب استفاده می‌گردد که برای مطالعه پوشش گیاهی، خاک و شوری خاک بسیار مفید و کاربردی می‌باشند (Al-Khaier 2003; Jahanbazi et al, 2018). در این مطالعه از این نسبت‌گیری‌ها در قالب شاخص پوشش گیاهی، رطوبت و شوری برای بررسی وضعیت رطوبت، پیشروی شوری و تخریب اراضی کشاورزی در ماه‌های آوریل، ژوئن و اوت سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۸، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ استفاده گردیده است.

#### شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده

شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی به صورت یک عملیات ریاضی ساده مانند جمع، تفریق، نسبت‌گیری و یا دیگر ترکیبات خطی می‌باشند که ارزش هر پیکسل در باندهای مختلف را به یک شاخص عددی تغییر می‌دهد (Elhag, 2016). از مهم‌ترین این شاخص‌ها، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است. این شاخص بر پایه این حقیقت که کلروفیل موجود در ساختار گیاهان قادر است نور قرمز را جذب و لایه مزوفیل برگ نور مادون قرمز نزدیک را منعکس سازد، استوار است. مقدار این شاخص از +۱ تا -۱ تغییر می‌کند و توانایی تشخیص مناطق دارای پوشش گیاهی سالم، ناسالم و عاری از پوشش گیاهی را دارد. ارزش عددی +۱ مربوطه به پوشش گیاهی متراکم، مقادیر منفی مربوط به مناطق خیس و آب و مقادیر نزدیک به صفر مربوط به مناطق بدون پوشش گیاهی می‌باشد (Shahid et al, 2018). مقدار این شاخص از طریق کسر زیر قابل محاسبه می‌باشد (Huete et al, 1985):

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

که در آن Red باند قرمز و NIR باند مادون قرمز نزدیک<sup>۱</sup> است.

#### شاخص تفاضل شوری نرمال شده

بر اساس رفتار طیفی خاک‌های بدون پوشش گیاهی، مانند خاک‌های شور، اراضی بایر و بیرون زدگی‌های سنگی، نسبت باندهای مرئی سبز با قرمز و مادون قرمز نزدیک جهت شناسایی این مناطق در قالب شاخص‌های شوری تعریف شده است. شاخص تفاضل شوری نرمال شده که حاصل تقسیم مجموع باندهای مادون قرمز با طول موج

با استفاده از آگر برداشته شد. نمونه‌های خاک به آزمایشگاه انتقال داده شد و پس از هوا خشک کردن میزان هدایت الکتریکی در آنها اندازه‌گیری شد.

#### شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی

به منظور بررسی روابط بین کم‌آبی، شوری خاک و پوشش گیاهی از شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی سنسجش از دور استفاده گردید. برای بررسی روند تغییرات شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی داده‌های مربوط به ماه‌های آوریل، ژوئن و اوت در سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۸، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ تهیه گردید. داده‌های رقومی ماهواره لندست مربوط به گذر ۱۶۳ و ردیف ۳۸ در بازه‌های زمانی فوق مورد استفاده قرار گرفتند. برای تهیه داده در سال‌های ۱۹۹۴ و ۱۹۹۸ از داده‌های ماهواره لندست ۵ و در سال‌های ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ از داده‌های ماهواره لندست ۸ استفاده گردید. پس از ورود اطلاعات رقومی تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار QGIS پردازش اولیه تصاویر رقومی شامل انجام تصحیحات هندسی به منظور زمین مرجع نمودن تصاویر با هدف مختصات‌دار نمودن تصاویر، انجام تصحیحات اتمسفری و رادیومتری به منظور حذف اثرات ذرات معلق در اتمسفر صورت گرفت. همچنین، پردازش ثانویه تصاویر ماهواره‌ای شامل تهیه تصاویر مختلف با ترکیب‌های رنگی متفاوت به منظور مشخص نمودن سطوح مختلف شوری، رطوبت و پوشش گیاهی بر مبنای ترکیب رنگی قرمز، سبز و آبی (RGB) و به دست آوردن شاخص‌های رطوبت، شوری و پوشش گیاهی انجام گرفت.

نسبت‌گیری طیفی به معنای تقسیم مقدار درجه روشنایی یک بلند طیفی به بلند طیفی قبل از انطباق دیگر می‌باشد. این کسر برای آشکارسازی تغییراتی که توسط تغییرات روشنایی تک باندها امکان‌پذیر نیست، بکار می‌رود و سبب به تصویر کشیده شدن تغییرات شیب منحنی بازتاب‌های طیفی بین دو باند می‌گردد. لازم به ذکر است که این شیب منحنی بسته به وضعیت منطقه و باندهای مختلف متفاوت خواهد بود. محاسبه این نسبت بین درجه روشنایی دو تصویر سبب به وجود آمدن یک تصویر جدید می‌گردد که می‌توان از این تصویر جدید نیز به عنوان یک مؤلفه برای اعمال سایر روش‌های آشکارسازی استفاده کرد. از تصاویر

1- Near-Infrared (NIR)

گیاه بسیار کمتر از زمانی است که از آب با کیفیت مناسب استفاده می‌شود. بنابراین بررسی نتایج تصاویر ماهواره‌ای در ماه ژوئن تأثیر مقدار آب آبیاری و کیفیت آن بر تغییرات مکانی شوری در طی سالیان مختلف را به خوبی آشکار ساخت (Meimei & Ping, 2011; Korolyuk, 2015).

دلیل انتخاب ماه اوت قطع آبیاری‌ها، بارندگی‌ها، اتمام برداشت محصولات و حرکت رو به سطح نمک بدلیل تبخیر زیاد در منطقه و رخنمون آن بر سطح خاک بود. همچنین مطالعات بسیاری بهترین زمان بررسی تصاویر ماهواره‌ای برای بررسی تغییرات شوری را در ماه‌های گرم سال بدلیل افزایش قدرت بازتاب امواج در اثر لخت بودن سطح خاک، افزایش دما، کاهش رطوبت، افزایش شوری و به دنبال آن رخنمون نمک بر سطح خاک دانسته‌اند. در مقیاس زمانی سالیانه مواردی همچون تغییر مساحت کلی اراضی قابل کشت، تغییر کاربری اراضی، تأثیر افزایش سهم حق‌آبه، روند پیشروی شوری و خشکسالی در بازه زمانی مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت (Afsharinia & Panahi, 2021; Nazarnejad et al., 2021).

کاهش بارندگی و کاهش تخصیص حق‌آبه به کشاورزان سبب تغییر کاربری به سمت کاربری بایر و افزایش شوری در منطقه شد (شکل ۲ و ۳ و جدول ۱). همان‌گونه که در شکل ۲ و ۳ مشاهده می‌گردد، میزان رطوبت در ماه آوریل از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۷ کاهش یافته است. این کمبود رطوبت سبب افزایش خشکی ناگهانی در سال ۲۰۱۴ گشته و سبب گسترش خشکی و کاهش شدید میزان رطوبت در سال ۲۰۱۷ گردیده است. تغییرات شوری در طی این ماه در سالیان مورد مطالعه به گونه‌ای بود که مساحت مناطق با شوری زیاد از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۷ کاهش پیدا کرده، اما از سوی دیگر، شاهد افزایش وسعت مناطق با شوری متوسط بودیم. نتیجه این تغییرات به صورت واضحی در وضعیت پوشش گیاهی قابل مشاهده است.

در ماه ژوئن افزایش میزان رطوبت به دلیل آبیاری در منطقه مشاهده می‌شود، اما لازم به ذکر است به دلیل تجمع نمک و پایین بودن کیفیت آب مورد استفاده افزایش چشمگیری در کاهش میزان شوری خصوصاً در اراضی با شوری متوسط در سال ۲۰۱۷ دیده نشده است که همین امر سبب شده که میزان پوشش گیاهی به نسبت سال

کوتاه<sup>۱</sup> (SWIR) به تفاضل آن‌ها است، یکی از این شاخص‌ها می‌باشد. این شاخص برای شناسایی مناطق شور و کم کردن اثر پوشش گیاهی کاربرد دارد و استفاده از آن نسبت به باندهای تک، جهت مطالعات شوری مفیدتر می‌باشد:

$$NDSI = \frac{SWIR1 - SWIR2}{SWIR1 + SWIR2} \quad (2)$$

در این فرمول  $SWIR_1$  و  $SWIR_2$  نشان دهنده طیف مادون قرمز کوتاه می‌باشند (Al-Khaier, 2003).

#### شاخص تفاضل رطوبت نرمال شده

هنگام بروز مشکل شوری، پوشش گیاهی به شدت تحت تأثیر استرس آب است و بنابراین وضعیت رطوبتی نقش به سزایی در بقای پوشش گیاهی و یا نابودی آن دارد. با در دست داشتن اطلاعات دقیق زمانی تغییرات رطوبتی خصوصاً در مناطق تحت آبیاری می‌توان تصمیمات مدیریتی صحیحی را جهت حفظ پوشش گیاهی و مدیریت بحران شوری اتخاذ نمود. این شاخص با استفاده از رابطه (۳) قابل محاسبه می‌باشد (Gao, 1996):

$$NDWI = \frac{NIR - SWIR2}{NIR + SWIR2} \quad (3)$$

#### نتایج و بحث

به منظور بررسی روند تغییرات شوری، مقادیر شاخص‌های پوشش گیاهی، شوری و رطوبت نرمال شده در دو مقیاس کوتاه مدت (ماهانه: آوریل، ژوئن و اوت) و بلند مدت (سالیانه: ۱۹۹۴، ۱۹۹۸، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷) مورد بررسی قرار گرفت. در بخش تغییرات کوتاه مدت، ماه آوریل به دلیل وجود بارش، آبیاری و تراکم پوشش گیاهی برای نمایش تغییرات شوری در ارتباط با حضور رطوبت و گیاه انتخاب شد. به دلیل آبیاری، شوری از سطح خاک شسته شده و پوشش گیاهی بصورت متراکم‌تری در این ماه حضور دارد. ماه ژوئن که یکی از گرم‌ترین ماه‌های سال در منطقه مورد مطالعه است و بازگشت نمک شستشو شده به سطح خاک بدلیل تبخیر اتفاق افتاده می‌افتد. لازم به ذکر است که کیفیت آب آبیاری مورد استفاده در منطقه پایین بوده و بنابراین تأثیر آبیاری بر کاهش غلظت املاح و بنابراین رشد

1- Short-Wavelength Infrared (SWIR)

بودن کیفیت آب آبیاری و عدم انتقال املاح به خارج از ناحیه رشد فعال ریشه می‌باشد.

۱۹۹۸ کمتر باشد. در سال ۲۰۱۴ سهم حق‌آبه بیشتری به کشاورزان داده شد، اما علی‌رغم بالا بودن مقدار رطوبت و کاهش خشکی و اراضی با شوری زیاد توسعه چندان‌ی در میزان پوشش گیاهی دیده نشده است. دلیل این امر پایین

جدول ۱- تغییر مساحت اراضی در بازه زمانی سال‌های مطالعه در ماه آوریل

Table 1. Change of land area during the study years in April

Land type/Land area (ha)	1998 (year)	2014 (year)	2017 (year)
Dry Lands	201087	221210	204231
Wet Lands	10999	696	139
High Salinity Lands	4004	256	61
Medium Salinity Lands	41916	65143	75358
Dense Vegetation Lands	32764	5675	10872
Bare Lands	172367	175520	193509

جدول ۲- تغییر مساحت اراضی در بازه زمانی سال‌های مطالعه در ماه ژوئن

Table 2. Change of land area during the study years in June

Land type/Land area (ha)	1998 (year)	2014 (year)	2017 (year)
Dry Lands	347747	195161	204809
Wet Lands	41945	29737	41012
High Salinity Lands	2075	603	14895
Medium Salinity Lands	78683	96289	76208
Dense Vegetation Lands	31099	6077	20362
Bare Lands	360197	304085	322385

اراضی با پوشش گیاهی کم به اراضی بایر است. عامل اصلی کاهش پوشش گیاهی در طی این سال‌ها تغییرات اقلیمی بوده که منجر به افزایش میزان تبخیر و کاهش مقدار نزولات جوی و مشکلات مدیریتی که منجر به تشدید مشکل شوری شده است (Shahid et al, 2018; Nazarnejad et al, 2021; Bannari & Al-Ali, 2020; Afsharinia & Panahi, 2021).

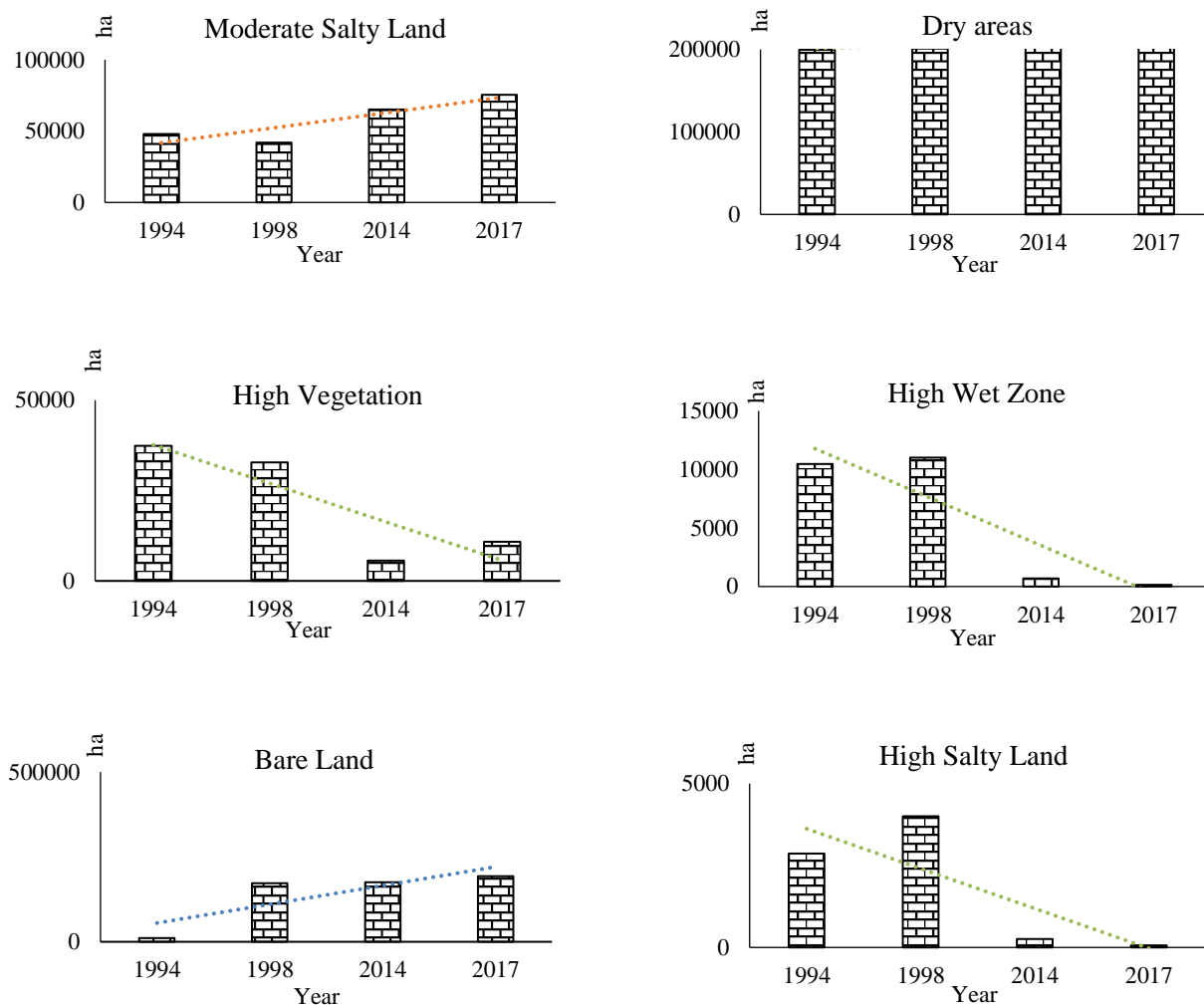
نتایج حاصل از محاسبه مقدار شاخص شوری در سال‌های مختلف حاکی از کاهش وسعت مناطق با شوری زیاد و افزایش مناطق با شوری متوسط است. شوری سبب کاهش رشد گیاهان می‌گردد، از بین رفتن کامل پوشش گیاهی در مناطق با شوری متوسط در سال ۲۰۱۷ مؤید این نکته است زیرا این مناطق در سال ۱۹۹۴ دارای مشکل شوری کم بوده و پوشش گیاهی نسبتاً خوبی داشته‌اند.

شاخص آب نشان دهنده سیر نزولی مقدار رطوبت از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۷ است. به‌گونه‌ای که کمترین میزان رطوبت در سال ۲۰۱۷ مشاهده گردید. با مقایسه این سه شاخص در سری‌های مختلف می‌توان این‌گونه استنباط نمود که از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۷ همواره کاهش پوشش گیاهی با افزایش شوری و کاهش میزان رطوبت خاک همراه بوده است.

علاوه بر این روش آبیاری مورد استفاده در منطقه روش جویچه‌ای بوده که با توجه به ریز بافت بودن خاک‌ها و بنابراین افزایش مدت زمان نفوذ آب به درون خاک و پتانسیل تبخیر زیاد در منطقه سبب هدر رفت آب شده است (Meimei & Ping, 2011; Korolyuk, 2015) (شکل ۴ و ۵ و جدول ۲).

در ماه اوت میزان رطوبت در سال ۲۰۱۴ نسبت به سایر سال‌ها کاسته شده و این روند کاهش‌ی در پوشش گیاهی و شوری نیز مشاهده گردید (شکل ۶ و ۷ و جدول ۳). همانطور که مشاهده می‌شود، بیشترین مقادیر مربوط به خشکی، شوری و اراضی بایر مربوط به ماه اوت است که در آن نه بارندگی روی می‌دهد و نه آبیاری به دلیل برداشت محصول صورت می‌گیرد. در این ماه بدلیل لختی سطح خاک و نبود رطوبت مقادیر بازتاب امواج مربوط به نمک قدرت بیشتری داشته و بنابراین به عنوان شاهدی دال بر تغییرات شوری و خشکسالی در منطقه در طی سالیان مطالعه انتخاب گردید (Jahanbazi et al, 2018; Khaleghi et al, 2018; Zheng et al, 2018).

نتایج بدست آمده از محاسبه شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده در سال‌های مورد مطالعه بیانگر کاهش میزان پوشش گیاهی از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۷ و تبدیل

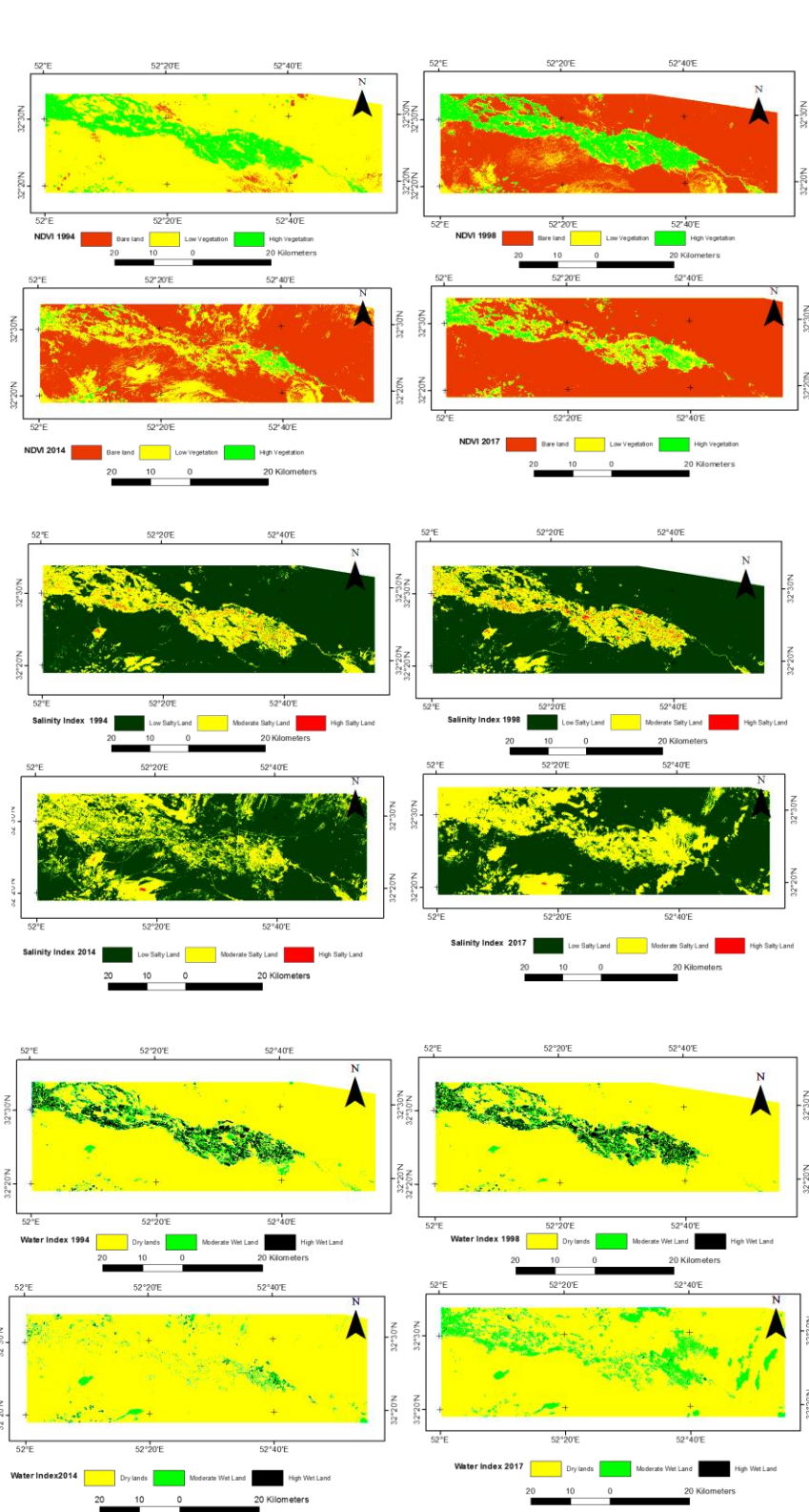


شکل ۲- تغییرات وضعیت آب، شوری و پوشش گیاهی در ماه آوریل سال‌های مورد مطالعه  
 Figure 2. Changes in salinity, water and vegetation in April in the studied years

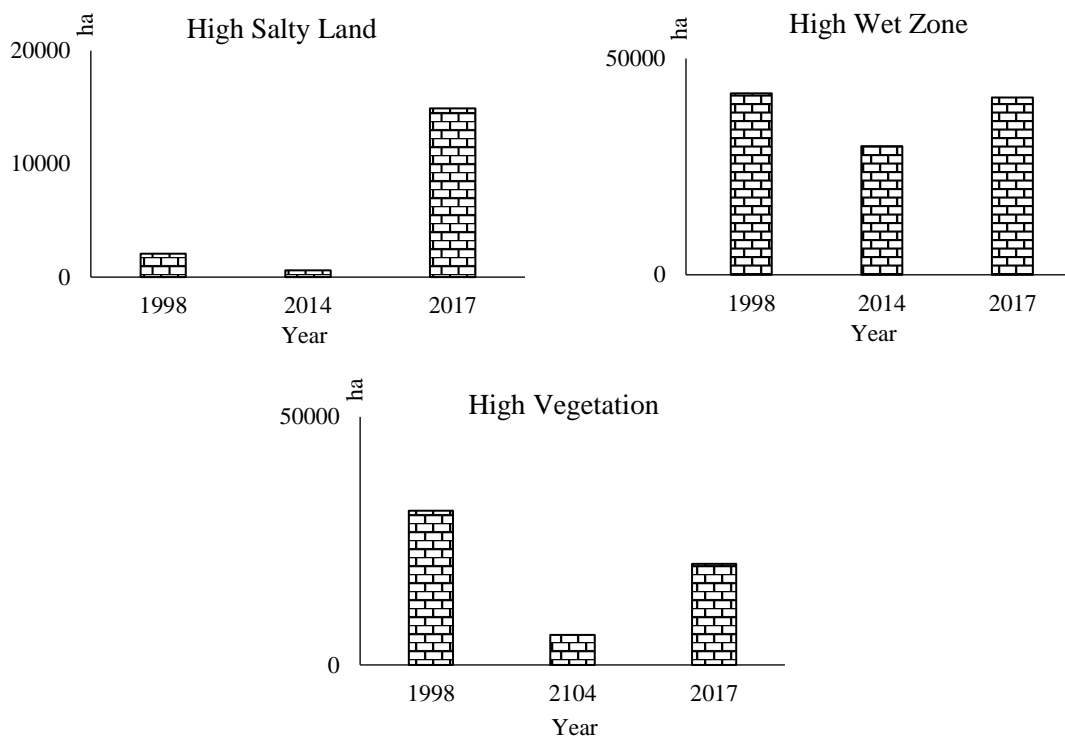
۱۹۹۸، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۷ به ترتیب ۰/۵۸، ۰/۶۴، ۰/۶۷ و ۰/۶۸ بود که نشان دهنده صحت قابل قبول مدل است (Afsaw *et al.*, 2018; Nazarnejad *et al.*, 2021). به طور کلی نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی به دلیل ارائه یک دید کلی از منطقه بسیار مفید می‌باشند، اما در صورت باید به عدم قطعیت داده‌ها توجه داشت (Momipour, 2018; Xie & Fan, 2021).

در طی این ۲۳ سال پیشروی اراضی شور روند افزایشی داشته و تخریب شدیدی در پوشش گیاهی صورت گرفته است. بخش زیادی از اراضی با پوشش گیاهی متراکم به اراضی با پوشش کم تراکم و شورزار تبدیل شده‌اند (Mombeni *et al.*, 2014; Zeinali *et al.*, 2016; Nazarnejad *et al.*, 2021). نتایج حاصل از اعتبارسنجی متقابل با استفاده از مقادیر هدایت الکتریکی ۱۰۰ نمونه خاک برداشته شده با ۵ تکرار نشان داد که میانگین ضریب تبیین برای سال‌های ۱۹۹۴،





شکل ۳- نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی، شوری و رطوبت استخراج شده از داده‌های ماهواره لندست در ماه آوریل در سال‌های مطالعه  
 Figure 3. The NDVI, NDSI and NDWI maps extracted from Landsat satellite data in April in the studied years



شکل ۴- تغییرات وضعیت آب، شوری و پوشش گیاهی در ماه ژوئن سال‌های مورد مطالعه  
Figure 4. Changes in salinity, water and vegetation in June in the studied years

به مراتب بسیار راحت‌تر از مناطقی است که شوری کم دارند، زیرا فراوانی و خلوص نمک و همچنین میزان رطوبت تأثیر بسزایی در دقت داده‌های حاصله دارد. بنابراین، با توجه به اقلیم خشک منطقه، مشکل حاد شوری، کمبود آب آبیاری و همچنین قرارگیری آن در حاشیه پلایا از بعد ژئومورفولوژی استفاده از شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی سنجش از دور کاربردی بوده است (Saha, 2011; Shahid *et al.*, 2018; Bannari & Al-Ali, 2020).

شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده علاوه بر اینکه به وضعیت و تراکم پوشش گیاهی اشاره دارد، معمولاً به عنوان یک شاخص غیرمستقیم در مطالعات شوری نیز استفاده می‌گردد، در بسیاری از مطالعات شوری تنها به استفاده از این شاخص بسنده شده است (Liu & Kogan, 1996; Heim, 2002; Wan *et al.*, 2004; Spadoni *et al.*, 2020; Xie & Fan, 2021). اما باید در نظر داشت که این شاخص غیرمستقیم بوده و به نظر می‌رسد که به تنهایی قادر به تشخیص شوری نباشد. زیرا این شاخص، شوری را عامل اصلی کاهش پوشش گیاهی در نظر می‌گیرد و تأثیر سایر عوامل مانند مدیریت خاک، آب و حاصلخیزی خاک را نادیده می‌گیرد. همچنین در مناطق شور بسیاری از گیاهان خود را با شوری انطباق داده‌اند و طولانی بقا در

خاک‌های شور مناطق خشک و خصوصاً حاشیه پلایاها، همانند موقعیت منطقه مورد مطالعه، به دلیل تنوع زیاد مورفولوژی و فیزیکی‌شیمیایی بازتاب‌های مختلفی دارند که این امر سبب ایجاد محدودیت استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در مطالعات شوری خاک می‌گردد. در این‌گونه مناطق عواملی همچون مقدار و کانی‌شناسی نمک، رطوبت خاک، رنگ خاک و زبری بر بازتاب نمک تأثیر می‌گذارند (Hunt *et al.*, 1972; Jahanbazi *et al.*, 2018).

یکی از موارد بسیار مهم در مطالعات شوری با استفاده از تکنیک سنجش از دور انتخاب زمان مناسب برای تهیه داده‌های سنجش از دور می‌باشد که در این مطالعه با در نظر گرفتن سه بازه زمانی مختلف به بررسی وضعیت شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی پرداخته شد.

به نظر می‌رسد که بهترین زمان برای تهیه داده‌های سنجش از دور جهت مطالعات شوری فصل خشک می‌باشد، زیرا نمک‌ها در فصل تر شسته می‌شوند و در فصل گرم و خشک دوباره به سطح خاک بازمی‌گردند (Zeinali *et al.*, 2016). نکته حائز اهمیت دیگر این است که تشخیص مناطق با شوری بالا و متوسط با کمک تکنیک سنجش از دور و شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی

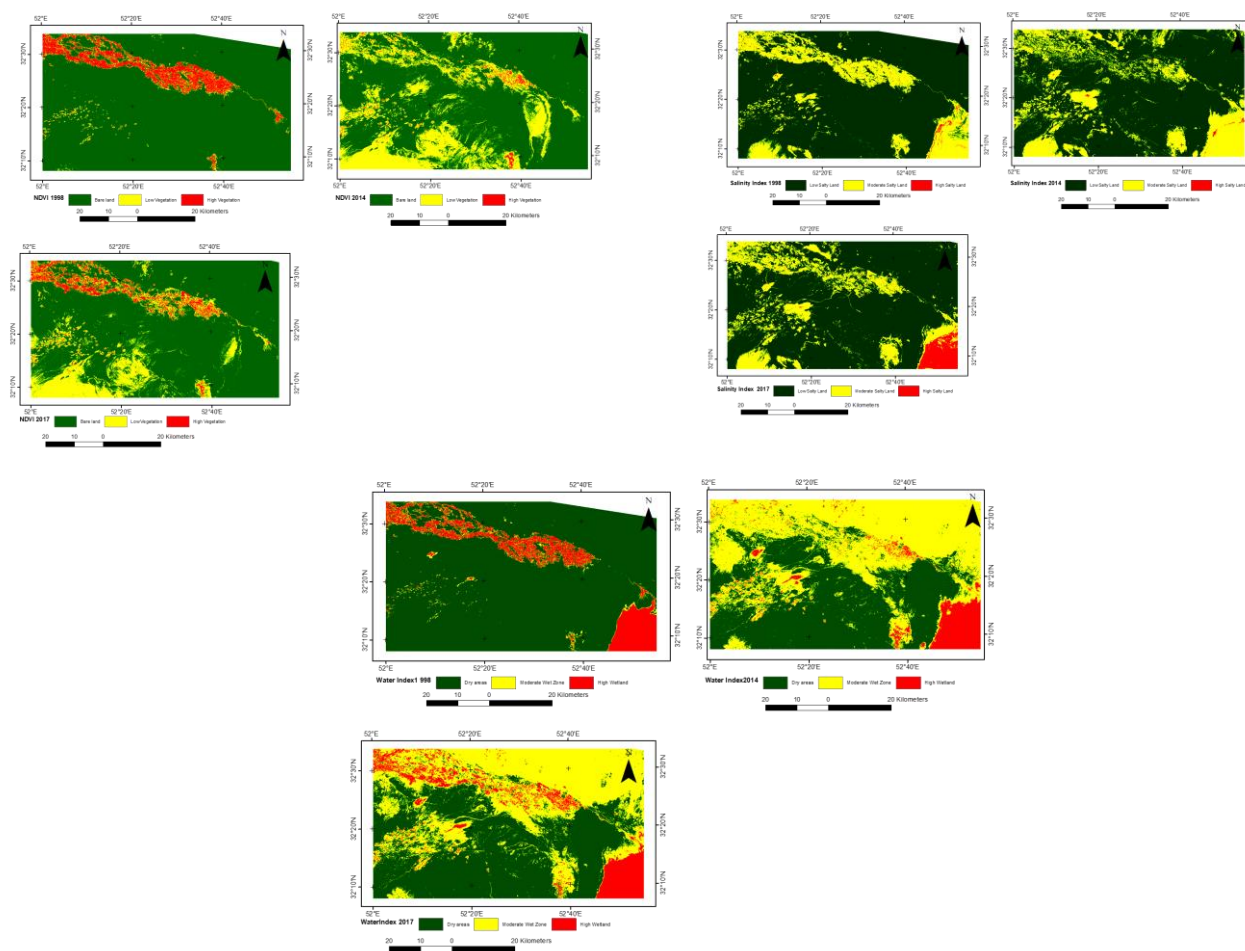
بررسی نتایج این تحقیق و تحقیقات دیگر انجام شده نشان می‌دهد که در مطالعات مختلف شاخص‌های مختلفی به عنوان شاخص‌های مهم معرفی شده‌اند و بهترین معیار برای انتخاب شاخص مناسب توجه به میزان شوری، ترکیب نمک‌ها، شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی است.

سطوح مختلف شوری را دارند، لذا می‌توان این گونه استنباط نمود که کاربرد شاخص پوشش گیاهی به تنهایی برای مطالعات شوری کافی نیست و ممکن است سبب خطا گردد (Singh *et al.*, 2010; Mombeni *et al.*, 2014; Jahanbazi *et al.*, 2018; Ahmadi *et al.*, 2021). این امر استفاده از شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی مانند آنچه در خلال این پژوهش استفاده شد را ضروری می‌سازد (Al-Khaier, 2003; Jahanbazi *et al.*, 2018).

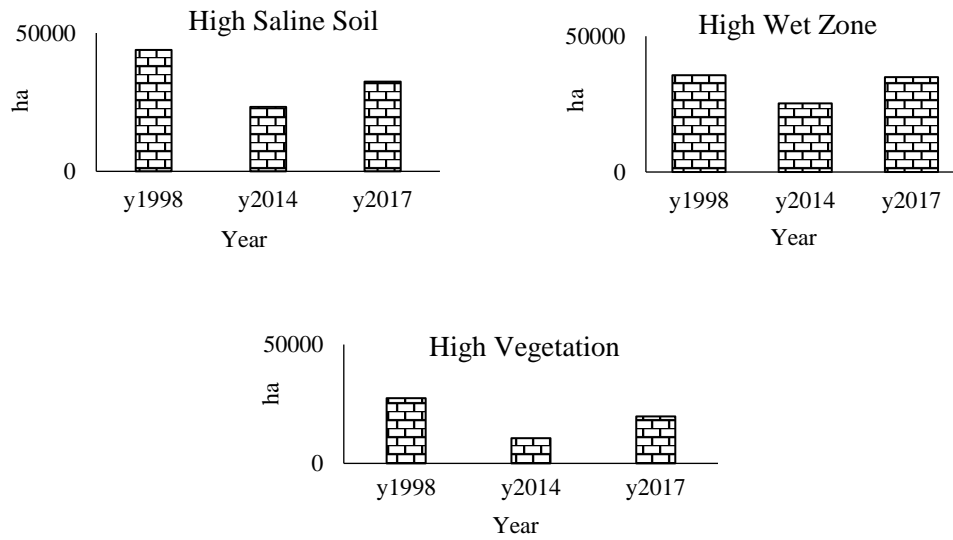
جدول ۳- تغییر مساحت اراضی در بازه زمانی سال‌های مطالعه در ماه اوت

Table 3. Change of land area during the study years in August

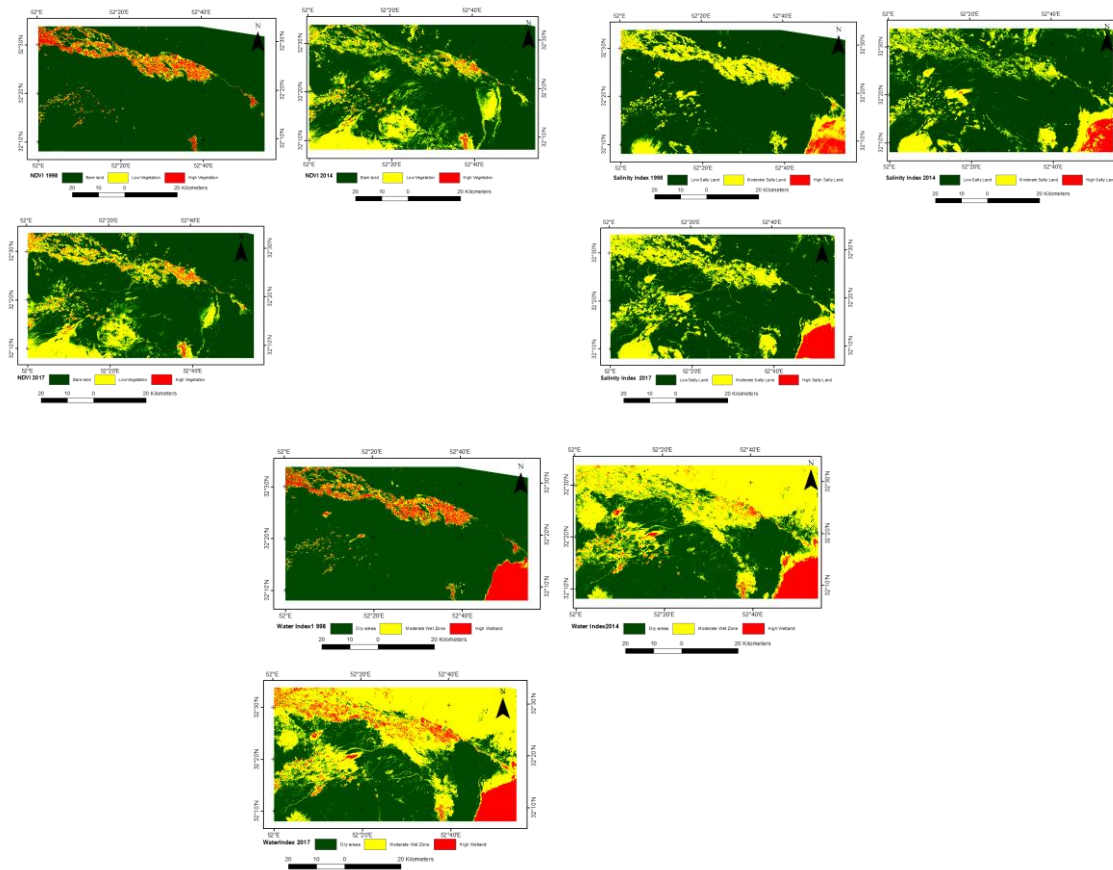
Land type/Land area (ha)	1998 (year)	2014 (year)	2017 (year)
Dry Lands	369923	380325	<b>370623</b>
Wet Lands	35645	25243	<b>34946</b>
High Salinity Lands	43892	23229	<b>32436</b>
Medium Salinity Lands	361687	382350	<b>373143</b>
Dense Vegetation Lands	27456	10589	<b>19822</b>
Bare Lands	376641	393509	<b>384275</b>



شکل ۵- نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی، شوری و رطوبت استخراج شده از داده‌های ماهواره لندست در ماه ژوئن در سال‌های مطالعه  
Figure 5. The NDVI, NDSI and NDWI maps extracted from Landsat satellite data in June in the studied years



شکل ۶- تغییرات وضعیت آب، شوری و پوشش گیاهی در ماه اوت سال‌های مورد مطالعه  
Figure 6. Changes in salinity, water and vegetation in August in the studied years



شکل ۷- نقشه شاخص‌های پوشش گیاهی، شوری و رطوبت استخراج شده از داده‌های ماهواره لندست در ماه اوت سال‌های مورد مطالعه  
Figure 7. The NDVI, NDSI and NDWI maps extracted from Landsat satellite data in August in the studied years

و بنابراین نقشه‌های تهیه شده برای این ماه به عنوان شاهدی دال بر تغییرات شوری و خشکسالی در منطقه در طی سالیان مورد مطالعه بود. به دلیل اقلیم خشک منطقه استفاده از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده به تنهایی برای مطالعه شوری و خشکسالی در منطقه کافی نبوده و از آنجایی که اراضی شور رودشت دارای درجات مختلفی از شوری و ترکیبات نمکی مختلف با بازتاب‌های متفاوت بودند، استفاده همزمان از چند شاخص نسبت‌گیری طیفی مانند شاخص‌های شوری، رطوبت و پوشش گیاهی به افزایش دقت نتایج و سهولت تفسیر آنها کمک کرد. بر مبنای نتایج این تحقیق، اراضی رودشت در معرض شوری شدید قرار داشته و در صورت عدم اجرای اقدامات مدیریتی مناسب خطر تبدیل اراضی به شورزار وجود دارد.

از جمله عوامل اصلی افزایش شوری در منطقه مواد مادری شور، اقلیم خشک، کیفیت نامناسب آب آبیاری برای کشاورزی و تصمیمات مدیریتی نادرست مانند عدم تخصیص آب آبیاری در زمان و مقدار مناسب به کشاورز بود. با توجه به وضعیت بحرانی شوری در منطقه و پیشروی آن توصیه می‌گردد، در مطالعات آینده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت بیشتر برای بررسی تغییرات شوری در سطح خاک و همچنین فناوری رادار و لیدار برای بررسی تغییرات شوری در اعماق خاک به منظور ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب در منطقه استفاده شود. همچنین با توجه به هزینه‌بر و زمان‌بر بودن نمونه‌برداری صحرائی توصیه می‌شود، در مطالعات آتی از فناوری‌های جدید همچون سنجش از نزدیک خاک و دستگاه القاگر الکترومغناطیس برای اندازه‌گیری‌های صحرائی هدایت الکتریکی استفاده شود.

### تشکر و قدردانی

نگارندگان بر خود لازم می‌دانند از آژانس بین‌المللی انرژی اتمی (IAEA) بابت حمایت مالی و راهنمایی‌های ارزشمندشان کمال سپاسگزاری را اعلام دارند.

بنابراین امکان معرفی یک شاخص واحد به عنوان بهترین شاخص برای مطالعات شوری وجود ندارد و در هر مطالعه لازم است تا دقت شاخص‌ها به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گیرند.

در مطالعه‌ای مانند مطالعه حاضر که وسعت اراضی شور و تغییرات آن بسیار قابل توجه است، لزوم همراهی شاخص شوری و رطوبت با شاخص پوشش گیاهی آشکار می‌گردد (Nazarnejad *et al*, 2021; Afsharinia & Panahi, 2021).

### نتیجه‌گیری کلی

پایش تغییرات مکانی-زمانی شوری خاک که فرآیند غالب تخریب خاک در منطقه رودشت اصفهان بود، با استفاده از پردازش داده‌های تصاویر ماهواره‌ای لندست که با صرف هزینه و زمان کمتر نتایج یکپارچه‌تری را نسبت به روش‌های مرسوم نشان داد، انجام شد. نتایج تحقیق حاکی از این بود که شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی علاوه بر نمایش جزئیات تغییرات مکانی شوری، مقایسه تغییرات آن را در بازه‌های مختلف زمانی نیز امکان‌پذیر می‌سازد.

نتایج حاصله از نقشه‌های به دست آمده از شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی در مقیاس زمانی ماهانه و سالانه روند افزایشی شوری و خشکسالی و همچنین تغییر کاربری اراضی به سمت بایر را آشکار ساخت. در بازه زمانی ۲۳ سال مورد بررسی، وسعت اراضی خشک و اراضی با شوری متوسط افزایش یافته است و با توجه به کاهش رطوبت و افزایش شوری در منطقه، مساحت اراضی با پوشش گیاهی متراکم کاهش یافت.

انتخاب زمان مناسب برای تهیه تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات شوری اهمیت ویژه‌ای دارد و به همین دلیل در این مطالعه شاخص‌های نسبت‌گیری طیفی در سه ماه آوریل به عنوان ماه مرطوب با پوشش گیاهی متراکم، ماه ژوئن به عنوان شروع فصل خشک و انجام آبیاری در منطقه و ماه اوت به عنوان ماه خشک و برداشت محصول مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که ماه اوت خشک‌ترین ماه سال با کمترین تراکم پوشش گیاهی و بیشترین مقدار شوری در کل بازه زمانی مورد مطالعه بوده و تجمع نمک به دلیل نبود بارندگی و تبخیر زیاد در سطح خاک و همچنین در نقشه‌های شوری مربوط به این ماه مشاهده شد. در ماه اوت بدلیل لختی سطح خاک و نبود رطوبت، بازتاب امواج مربوط به نمک قدرت بیشتری داشته

## References

- Abbas A., Khan S., Hussain N., Hanjra M.A., and Akbar S. 2013. Characterizing soil salinity in irrigated agriculture using a remote sensing approach. *Phys. Chem. Earth Part A*, pp. 43-52.
- Afsharinia H., and Panahi F. 2021. Effect of climatic drought on surface soil salinity in Kashan plain. *Water and soil and modeling*, 1(2): 40-52.
- Ahmadi Z., Abbasi A., Shahabi M., and Boali A. 2021. Comparison of decision tree and neural network methods in predicting soil salinity in the west of lake Urmia. *Degradation and Rehabilitation of Natural Land*, 1(1): 82-91 (In Persian)
- Al-Khaier F. 2003. Soil salinity detection using satellite remote sensing, ITC MSc. Thesis, Supervisor: Bastiaanssen, ITC, Netherlands.
- Allbed A., Kumar L., and Sinha P. 2014. Mapping and modeling spatial variation in soil salinity in the Al Hassa Oasis based on remote sensing indicators and regression techniques. *Remote Sensing*, 6: 1137-1157.
- Asfaw E., Suryabhagavan K.V., and Argaw. M. 2018. Soil salinity modeling and mapping using remote sensing and GIS: the case of Wonji sugar cane irrigation farm, Ethiopia. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 17 (3): 250-258.
- Bannari A., and Al-Ali Z.M. 2020. Assessing climate change impact on soil salinity dynamics between 1987–2017 in arid landscape using landsat TM, ETM+ and OLI data. *Remote Sensing*, 12: 2794-2810.
- Elhag M. 2016. Evaluation of different soil salinity mapping using remote sensing techniques in arid ecosystems, Saudi Arabia, *Sensors*, Article ID 7596175: 1-8.
- Gao B. 1996. NDWI -A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote Sensing of Environment*, 58: 257-266.
- Hamzehpour N., and Bogaer V. 2019. Spatio-temporal prediction of soil salinity using soft data and bayesian maximum entropy method in western shores of Urmia Lake. *Applied Soil Research*, 6 (4):71-83 (In Persian)
- Heim R.R. 2002. A review of twentieth-century. Drought indices used in united states. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 84:1149-1165.
- Huete A.R., Jackson R.D., and Post D.F. 1985. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote Sensing Environment*, 17: 37-53.
- Hunt G.R., Salisbury J.W., and Lenhoff C.J. 1972. Visible and near infrared spectra of minerals and rocks: V. Halides, Phosphates, Arsenates, Venadates and Borates. *Modern Geology*, 3:121-32.
- Jahanbazi L., and Sarmadian F. 2016. Proximal soil sensing, A new technique in soil science studies. 15<sup>th</sup> Iran Soil Science Congress, Isfahan, Iran. (In Persian)
- Jahanbazi L., Mirkhani R., and Qavami M.S. 2018. Possibility of salinity changes detect by using remote sensing data. 16<sup>th</sup> Iran Soil Science Congress, Zanjan, Iran. (In Persian)
- Jahanbazi L., Heidari A., Mohammadi M.H., and Kuniushkova M. 2023. Salt accumulation in soils under furrow and drip irrigation using modified waters in central Iran. *Eurasian Journal of Soil Science*, 12 (1), 63-78.
- Jiao W., Tian C., Chang Q., Novick K.A. and Wang L. 2019. A new multi-sensor integrated index for drought monitoring, *Agricultural and forest meteorology*, 268, pp. 74-85.
- Khaleghi R., Bahmanesh J., and Azad N. 2018. Prediction of soil salinity by multivariate regression method based on indicators extracted from Landsat 8 images (case study: Urmia). *Applied Soil Research*, 7 (1), 108-121. (In Persian)
- Korolyuk T.V. 2015. Soil forming factors: Their role in the formation of saline soils on the plains of western and central Ciscaucasia. *Eurasian Soil Science*, 48 (7), 689-700.
- Lhissou R., El Harti A., and Chokmani K. 2014. Mapping soil salinity in irrigated land using optical remote sensing data. *Eurasian Journal of Soil Science*, 3: 82-88.
- Liu W.T., and Kogan F.N. 1996. Monitoring regional drought using the vegetation condition index, *International Journal of Remote Sensing*, 17 (14), pp. 2761-2782.
- Meimei Z., and Ping W. 2011. Using HJ-1 satellite remote sensing data to surveying the saline soil distribution in Yinchuan plain of China. *African Journal of Agricultural Research*, 6 (32), 6592-6597.
- Metternicht G., and Zinck J.A. 2003. Remote sensing of soil salinity: Potentials and constraints. *Remote Sensing of Environment*, 85: 1-20.



- Mombeni M., Arkhi S., and Arami S.A. 2014. Changes in salinity trend using remote sensing and GIS (Case Study: South of Khuzestan). *Desert Ecosystem Engineering*, 6: 27-34. (In Persian)
- Momipour M. 2018. Spatio-temporal analysis of soil salinity with satellite imagery in the period of 24 years in Abadan province. *Geography and environmental sustainability*, 27: 47-58. (In Persian)
- Nazarnejad H., Komaki C.B., and Servati M. 2021. Mapping soil salinity changes in Miandoab plain using satellite images. *Journal of Destruction and Restoration of Natural Lands*, Volume: 2 (3): 112-122. (In Persian)
- Saha S.K. 2011. Mirovawe remote sensing in soil quality assessment, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XXXVIII-8/W20, 34-39.
- Scudiero E., Corwin D.L., and Skaggs T.H. 2015. Regional-scale soil salinity assessment using landsat ETM+ canopy reflectance. *Remote Sensing of Environment*, 169: 335-343.
- Shahid S.A., Zaman M., and Heng L. 2018. Soil salinity: historical perspectives and a world overview of the problem. pp. 43-53, *In: Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques*, Springer.
- Singh G., Bundela D.S., Sethi M., Lal K., and Kamra S.K. 2010. Remote sensing and geographic information system for appraisal of salt-affected soils in India. *Environmental Quality*, 39 (1): 5-15.
- Spadoni G.L., Cavalli A., Congedo L., and Munafò M. 2020. Analysis of normalized difference vegetation index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, p. 100419.
- Wan Z., Wang P., and Li X. 2004. Using MODIS land surface temperature and normalized difference vegetation index products for monitoring drought in the southern Great plains, USA, *International Journal of Remote Sensing*, 25 (1), pp. 61-72.
- Xie F., and Fan H. 2021, Deriving drought indices from Modis vegetation indices (NDVI/EVI) and land surface temperature (Lst): Is data reconstruction necessary, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 101, p. 102352.
- Zeinali M., Jafarzadeh A.A., Shahbazi F., Oustan S., and Valizadeh Kamran K. 2016. Evaluating surface soil salinity by pixel-based method based on TM sensor data (Case study: Eastern lands of Khoy). *Geographic Information*, 25 (99): 127-139. (In Persian).
- Zheng W., Zhang D., Fang Y., Wu J., and Huang J. 2018. Comparison of partial least square regression, support vector machine, and deep-learning techniques for estimating soil salinity from hyperspectral data, *Journal of Applied Remote Sensing*, 12 (2), p. 022204.