



Print ISSN: 2251-7480  
Online ISSN: 2251-7400

Journal of  
**Water and Soil  
Resources Conservation  
(WSRCJ)**

**Web site:**

<https://wsrcj.srbiau.ac.ir>

**Email:**

[iauwsrcj@srbiau.ac.ir](mailto:iauwsrcj@srbiau.ac.ir)  
[iauwsrcj@gmail.com](mailto:iauwsrcj@gmail.com)

**Vol. 14  
No. 4 (56)**

**Received:  
2024-09-16**

**Accepted:  
2025-01-07**

**Pages: 75-94**

## **Estimating Desertification Intensity by Land Subsidence and Groundwater Criteria (Case Study: Namak Lake Watershed)**

**Samira Zandifar<sup>1\*</sup>, Adel Jalili<sup>2</sup>, Maryam Naeimi<sup>3</sup> and Sakineh Lotfinasabasl<sup>3</sup>**

- 1) Assistant Prof., Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangeland, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 2) Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.
- 3) Assistant Prof., Desert Research Division, Research Institute of Forests and Rangeland, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran.

\*Corresponding author emails: [zandifar@rifr-ac.ir](mailto:zandifar@rifr-ac.ir)

**Abstract:**

**Introduction:** Subsidence as a phenomenon of land degradation and desertification is caused by human driving forces and negative water balance. Desertification is a serious and dangerous threat to natural ecosystems. Therefore, it is very important to know about the processes of land destruction and desertification that have involved a large area of the country in recent years. According to the existing subsidence map for the Namak Lake watershed, the subsidence rate in the areas with information is very intense, so that in these areas the subsidence is more than 6 cm per year. Using the IMDPA desertification evaluation model based on two criteria of underground water and land subsidence to evaluate and monitor the important indicators of desertification is the general goal of this research.

**Method:** For this purpose, information layers of qualitative parameters (electrical conductivity, sodium absorption ratio) and quantitative groundwater (drop in groundwater level) and subsidence rate were prepared. The used subsidence map is related to the water year 2014-2016, which is available in Golpayegan, Arak, Qom-Kahk, Kashan, Saveh, Kamijan, Nubran, Varamin, Tehran-Karaj, Hashtgerd, Qazvin, Auj, Kabudar Ahang, Kedar, and Rezen areas. In the next step, each index was given a weight between 1 and 4 based on its impact on desertification. The weighting is linear and the ratio is equal, so that the value 1 is the best and the value 4 is the worst. In order to investigate the effect of subsidence rate on desertification, desertification intensity was calculated in two ways. In the first case, taking into account the subsidence criterion and the underground water criterion, and in the second case, without considering the subsidence criterion, it was evaluated only based on the groundwater criterion. The final state of desertification intensity according to the IMDPA model was obtained based on the geometric mean of the criteria.

**Results:** The results of combining the quantitative and qualitative parameters of groundwater based on the IMDPA model showed that 60% of the basin surface has moderate desertification intensity and almost 36% has a poor condition. The assessment of the intensity of desertification based on the criterion of underground water in the Namak Lake watershed showed that the eastern part of the basin has a higher intensity of desertification compared to the western part of the basin due to the dominance of the electrical conductivity parameter and the drop in the level of the groundwater level. Finally, the results obtained from the integration of the map obtained from the IMDPA model groundwater criteria and subsidence using the geometric mean in the Namak Lake watershed showed that the northern part of the watershed, which includes most of Qazvin, Kabudarahang, Rezen-Qahavand, Kedar, Nubran, is the intensity of desertification is higher. While in the eastern part, i.e. Tehran-Karaj range and part of Varamin range, desertification is less intense according to the two criteria of underground water and subsidence. In general, the intensity of desertification in the case of subsidence and without subsidence, the highest level is in the middle class

**Conclusion:** The study of the desertification situation based on the two criteria of underground water and subsidence indicates the intensity of desertification in the whole basin in three categories: low, medium and severe, the highest level corresponding to the moderate intensity with an area of 65.57% and then the severe category with an area of 23.83%. It is a percentage. Among the study areas, desertification in Qazvin, Kobodar Ahang and Nobran has a higher intensity than other areas, which is due to the influence of the underground water standard. In general, the results of the assessment of desertification intensity in the Namak Lake watershed showed that the most important factor in creating the conditions of desertification and destruction of the land is the saltiness of the underground water and the drop in the level of the underground water. In line with the results of the present research and making more use of the existing findings, it is recommended to check all the parameters of the IMDPA model to evaluate the state of desertification, and even if possible, the parameters of the soil criterion should be checked along with the quantitative and qualitative indicators of the water criterion.

**Keywords:** land degradation, groundwater loss, sodium absorption ratio, electrical conductivity, IMDPA



## برآورد شدت بیابان‌زایی با معیارهای فرونشست زمین و آب‌های زیرزمینی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دریاچه نمک)

سمیرا زندی فر<sup>۱\*</sup>، عادل جلیلی<sup>۲</sup>، مریم نعیمی<sup>۳</sup> و سکینه لطفی نسب اصل<sup>۳</sup>

(۱) استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.  
(۲) استادیار پژوهش، بخش تحقیقات گیاه‌شناسی، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.  
(۳) استادیار پژوهش، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.  
\* ایمیل نویسنده مسئول: [zandifar@rifr-ac.ir](mailto:zandifar@rifr-ac.ir)

### چکیده:

**زمینه و هدف:** فرونشست به عنوان یک پدیده تخریب زمین و بیابان‌زایی توسط نیروهای محرکه انسانی و تعادل آبی منفی ایجاد می‌شود. بیابان‌زایی تهدیدی جدی و خطرناک برای اکوسیستم‌های طبیعی است. لذا اطلاع از فرایندهای تخریب سرزمین و بیابان‌زایی که در سال‌های اخیر سطح وسیعی از کشور را درگیر کرده است از اهمیت بالایی برخوردار است. برطبق نقشه فرونشست موجود برای حوزه آبخیز دریاچه نمک، نرخ فرونشست در مناطق دارای اطلاعات از شدت بالایی برخوردار است بطوریکه در این مناطق فرونشست بیشتر از ۶ سانتیمتر در سال می‌باشند. استفاده از مدل ارزیابی بیابان‌زایی IMDPA بر اساس دو معیار آب زیرزمینی و فرونشست زمین برای ارزیابی و پیش‌شخص‌های مهم بیابان‌زایی اهداف کلی این پژوهش می‌باشد.

**روش پژوهش:** بدین منظور لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای کیفی (هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم) و کمی آب زیرزمینی (افت سطح تراز آب زیرزمینی) و نرخ فرونشست تهیه گردید. نقشه فرونشست مورد استفاده مربوط به سال آبی ۱۳۹۴-۹۵ است که در محدوده‌های گلیپگان، ارک، قم-کهک، کاشان، ساوه، کمیجان، نوبران، ورامین، تهران-کرج، هشتگرد، قزوین، آوج، کبودرآهنگ، قیدار و رزن موجود می‌باشد. در مرحله بعد هر شاخص بر پایه تاثیر آن در بیابان‌زایی وزنی بین ۱ تا ۴ داده شد. وزن‌دهی بصورت خطی و نسبت برابر بوده، بطوریکه ارزش ۱ بهترین و ارزش ۴ بدترین وزن می‌باشد. به منظور بررسی تاثیر نرخ فرونشست بر بیابان‌زایی، شدت بیابان‌زایی به دو صورت محاسبه شد. در حالت اول با در نظر گرفتن معیار فرونشست و معیار آب زیرزمینی، و در حالت دوم بدون لحاظ کردن معیار فرونشست تنها براساس معیار آب زیرزمینی ارزیابی گردید. وضعیت نهایی شدت بیابان‌زایی برطبق مدل IMDPA براساس میانگین هندسی معیارها بدست آمد.

**یافته‌ها:** نتایج حاصل از تلفیق پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی براساس مدل IMDPA نشان داد ۶۰ درصد از سطح حوضه دارای شدت بیابان‌زایی متوسط بوده و تقریباً ۳۶ درصد نیز دارای وضعیت ضعیف می‌باشند. ارزیابی شدت بیابان‌زایی براساس معیار آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان داد بخش شرقی حوزه دلیل غالبیت پارامتر هدایت الکتریکی و افت سطح تراز آب زیرزمینی از شدت بیابان‌زایی بالاتری در مقایسه با بخش غربی حوزه برخوردار است. در نهایت نتایج بدست آمده از تلفیق نقشه حاصل از معیار آب زیرزمینی و IMDPA و فرونشست با استفاده از میانگین هندسی در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان داد بخش شمالی حوزه که بیشتر محدوده‌های قزوین، کبودرآهنگ، رزن-قهاوند، قیدار، نوبران را شامل می‌شود از شدت بیابان‌زایی بالاتری برخوردار است. درحالیکه در بخش شرقی یعنی محدوده تهران-کرج و بخشی از محدوده ورامین بیابان‌زایی برطبق دو معیار آب زیرزمینی و فرونشست از شدت کمتری برخوردار است. بطورکلی شدت بیابان‌زایی در حالت با فرونشست و بدون فرونشست، بیشترین سطح در طبقه متوسط قرار می‌گیرد. به بیان دیگر شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز دریاچه نمک برطبق معیارهای آب زیرزمینی و فرونشست مدل IMDPA در طبقه کلاس متوسط قرار می‌گیرد. یافته‌های این پژوهش درک بهتری از وضعیت بیابان‌زایی در مناطق خشک ایران در ارتباط با مدیریت منابع آب فراهم می‌کند. و به‌عنوان راهنمای مدیران برای تعیین اولویت‌ها و اقدام بر روی آنها در جهت کنترل پدیده بیابان‌زایی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

**نتایج:** بررسی وضعیت بیابان‌زایی براساس دو معیار آب زیرزمینی و فرونشست حکایت از شدت بیابان‌زایی در کل حوزه در سه طبقه کم، متوسط و شدید دارد که بیشترین سطح مربوط به شدت متوسط با مساحت ۶۵/۵۷ درصد و سپس طبقه شدید با مساحت ۲۳/۸۳ درصد می‌باشد. در بین محدوده‌های مطالعاتی، بیابان‌زایی در قزوین، کبودرآهنگ و نوبران نسبت به دیگر محدوده‌ها از شدت بالاتری برخوردار است که دلیل آن تاثیر معیار آب زیرزمینی می‌باشد. بطورکلی نتایج حاصل از ارزیابی شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان داد مهمترین عامل در ایجاد شرایط بیابان‌زایی و تخریب سرزمین شوری آب زیرزمینی و افت سطح تراز آب زیرزمینی می‌باشد. در راستای نتایج حاصل از پژوهش حاضر و بهره‌گیری بیشتر از یافته‌های موجود توصیه می‌شود تمامی معیارهای مدل IMDPA جهت ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی بررسی گردد و حتی المقدور پارامترهای معیار خاک در کنار شاخص‌های کمی و کیفی معیار آب بررسی شود. نتایج این مطالعه درک بهتری از وقوع فرونشست و افت آب زیرزمینی به عنوان نیروهای محرکه اصلی بیابان‌زایی را در حوزه آبخیز دریاچه نمک فراهم می‌کند و همچنین می‌تواند سیاست‌گذاران را برای اجرای برنامه‌ریزی‌های استراتژیک مناسب در منطقه راهنمایی کند تا با اتخاذ تصمیمات صحیح و مدیریت پایدار زمین، بیابان‌زایی را کنترل و کاهش دهند.

**کلید واژه‌ها:** تخریب زمین، افت آب زیرزمینی، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی، IMDPA

## مقدمه

بیابان‌زایی تهدیدی جدی و خطرناک برای اکوسیستم‌های طبیعی است (Akbari et al., 2020). این پدیده مشتمل بر فرایندهایی است که ناشی از عوامل طبیعی و عملکر نادرست فعالیت‌های انسان می‌باشد، بطوریکه این فرایندها ممکن است به صورت مستقیم و یا در کنار سایر فرایندها سبب افزایش تخریب سرزمین گردد (Reynolds, 2008). در پژوهشی Nkonya و همکاران (۲۰۱۶) نشان دادند که تخریب زمین تا حدود ۳۰ درصد از کل مساحت خشکی‌های زمین را شامل می‌شود و حدود سه میلیارد نفر را که در زمین‌های تخریب شده ساکن هستند تحت تأثیر قرار می‌دهد. در مطالعه دیگری آورده شده است که هر ساله ۶ تا ۷ میلیون هکتار از سطح زمین به دلیل فرایندهای تخریب زمین از جمله فرسایش خاک و بیابان‌زایی از بین می‌رود (Okin et al., 2018). مطالعات نشان دادند برداشت‌های مازاد از منابع آب زیرزمینی باعث رخداد پدیده فرونشست، شوری خاک، کاهش دبی پایه رودخانه‌ها در اثر خشک شدن چشمه‌ها، شوری آب زیرزمینی، و بطورکلی تخریب اراضی و ایجاد و گسترش پهنه‌های بیابانی می‌گردد.

توسعه جمعیت و گسترش فناوری و نیازهای انسانی در سال‌های اخیر سبب بهره‌برداری بیش از ظرفیت منابع آبی شده است. بنابراین پیامدهای در ارتباط با برداشت بی‌رویه از منابع آبی زیرزمینی در حال گسترش می‌باشد (Zandifar et al., 2021). از جمله پدیده‌های ناشی از برداشت بیش از حد آب‌های زیرزمینی فرونشست می‌باشد. فرونشست بصورت حرکت قائم رو به پایین سطح زمین که با مولفه افقی کمتر همراه است، تعریف می‌شود. این پدیده به صورت تدریجی و یا سریع اتفاق می‌افتد (Amighpey et al., 2010; Sahadevan & Pandey, 2023). تخمین زده می‌شود که بیش از ۱۵۰ شهر تحت تأثیر پدیده فرونشست ناشی از بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی هستند (Hu et al., 2004). روش تداخل سنجی تفاضلی راداری (DInSAR) به طور گسترده در سراسر جهان برای مدل‌سازی فرونشست زمین تحت تأثیر بهره‌برداری بیش از حد از آب‌های زیرزمینی استفاده می‌شود (Rezaei and Mousavi, 2019; Smith and Li, 2021; Cigna and Tapete, 2021; Kumar et al., 2022). در کشور ایران فرونشست زمین از بحران‌های زیست‌محیطی مهم چندسال اخیر است که مهم‌ترین علل آن در حال حاضر بحران آب است. نشست زمین به عنوان یک پدیده بسیار خطرناک ۲۹ استان و ۲۰۰ دشت کشور را درگیر کرده است و به عنوان آخرین و غیرقابل بازگشت‌ترین مرحله از فرآیند بیابان‌زایی شناخته می‌شود. باتوجه به کمبود بارندگی‌ها در چندسال اخیر و کاهش آب پشت سدها، برای تأمین آب از آبخوان‌های زیر زمینی

برداشت شده است که نتیجه این عمل از بین رفتن سفره آب‌های زیرزمینی و سست شدن خاک و فرونشست می‌باشد (Dehghan-Soraki et al., 2013).

استفاده از آب‌های با کیفیت نامناسب یکی دیگر از عوامل موثر بر شوری خاک و گسترش بیابان‌زایی می‌باشد (Boali, et al., 2017). کاهش کیفیت منابع آب به دلایل مختلف از جمله ورود آلاینده‌های شیمیایی و صنعتی به رودخانه‌ها و آب زیرزمینی، افزایش سختی آب، اسیدی شدن آب و حرکت آب‌های شور به سمت دشت‌ها رخ خواهد داد (Mohamadi et al., 2017). بالا آمدن سطح سفره زیرزمینی نیز با گذشت زمان بدلیل کاهش تهویه خاک و ماندابی شدن، شرایط را برای تخریب زمین فراهم کند. با شور شدن آب و یا خاک، محیط مقاومت کمتری را در مقابل بیابان‌زایی نسبت به زمانی که آب و خاک دارای نمک کمتری است از خود نشان می‌دهد (Quresi et al., 2008). در این حالت سدیمی شدن سبب از هم گسیختگی ساختمان خاک و شوری موجب ایجاد خشکی فیزیولوژیکی و سمیت گیاه می‌گردد. در اثر تخریب ساختمان خاک و پوشش گیاهی، فرسایش بادی و آبی نمایان می‌شود. بیابان‌زایی و شور شدن مشکلات دوگانه‌ای هستند که معمولاً در مناطق خشک وجود دارند و هر دو ناشی از استفاده نادرست از آب (به ویژه آب‌های زیرزمینی) هستند و هر دو به عمق آب‌های زیرزمینی مربوط می‌شوند (Wang et al., 2022).

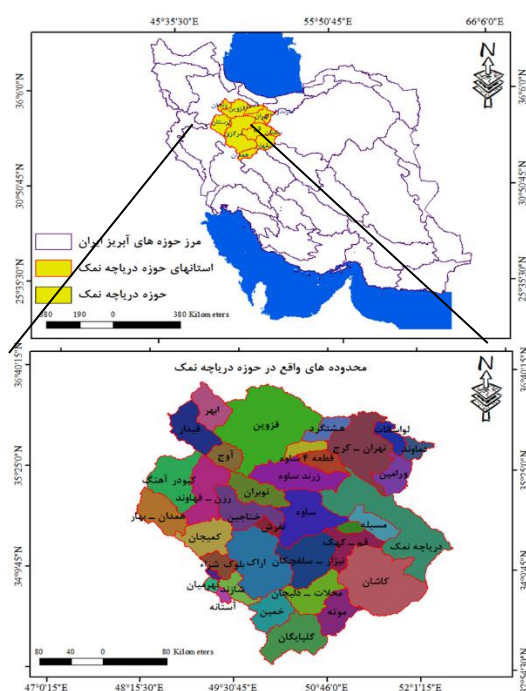
بیابان‌زایی نه تنها زوال محیط زیست را تسریع می‌کند، بلکه بهره‌وری پایدار کشاورزی و دام را کاهش می‌دهد. بنابراین، پیامدهای جدی برای ثبات اجتماعی-اقتصادی و توسعه پایدار دارند (Abuzaid and Abdelatif, 2022; Nascimento et al., 2021; Wang et al., 2021). در این راستا شناسایی فرایندهای بیابان‌زایی و عوامل ایجادکننده آن و همچنین اطلاع از شدت و ضعف این فرایندها و عوامل امری مهم و ضروری جهت مدیریت و برنامه‌ریزی برای مقابله و کاهش اثرات جبران‌ناپذیر این پدیده می‌باشد. ارزیابی خطر بیابان‌زایی از طریق تجزیه و تحلیل فیزیکی پدیده‌ها و جمع‌آوری اطلاعات توپوگرافی، زمین‌شناسی و هیدرولوژیکی انجام می‌شود که بررسی احتمال زمانی و مکانی و همچنین بزرگی وقایع پرخطر فراهم می‌شود (Khosroshahi, 2017). به منظور ارزیابی بیابان‌زایی مدل‌ها، معیارها و شاخص‌های مختلفی پیشنهاد شده است. از جمله مطالعات مربوط به بیابان‌زایی، می‌توان به کاربرد مدل‌های ارزیابی مناطق حساس زیست‌محیطی (ESAs) و بیابان‌زایی مدیترانه و کاربری اراضی (MEDALUS) توسط Ladisa و همکاران (۲۰۱۰) در جنوب ایتالیا، Ahmadia و همکاران (۲۰۰۶) در فخرآباد ایران، Hedia و همکاران (۲۰۰۶) در یک منطقه نیمه خشک تونس، Rasmy و همکاران (۲۰۱۰)

اساس مدل IMDPA است. برای این منظور، دو معیار آب زیرزمینی و فرونشست مورد استفاده قرار خواهد گرفت.

### مواد و روشها

#### منطقه مورد مطالعه

حوزه آبریز دریاچه نمک با مساحت  $92837/8$  کیلومتر مربع بین مختصات جغرافیائی  $36^{\circ} 40'$  تا  $36^{\circ} 45'$  عرض شمالی و  $52^{\circ} 01'$  تا  $48^{\circ} 15'$  طول شرقی قرار دارد. این حوزه دربرگیرنده  $36$  محدوده مطالعاتی و  $12$  استان زنجان، سمنان، قم، قزوین، مازندران، مرکزی، همدان، کردستان، لرستان، اصفهان، البرز و تهران است که مشخصات مربوط به محدوده‌های مطالعاتی در شکل ۱ ارائه شده است. حوزه مذکور جزئی از فلات مرکزی ایران بوده که از شمال توسط حوزه‌های هراز و قره سو و تالش، از شرق توسط حوزه کویر مرکزی، از غرب توسط حوزه سفیدروز بزرگ و از جنوب توسط حوزه‌های گاوخونی، سیاه کوه، کارون و کرخه محصور شده است. از لحاظ توپوگرافی، از دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی تا دامنه‌های شمالی ارتفاعات جنوبی کاشان و کرکس و از دامنه‌های شرقی زاگرس تا دشت کویر را شامل می‌شود. حدود  $43000$  کیلومترمربع آن را مناطق کوهستانی و حدود  $50600$  کیلومتر مربع آنرا دشت‌ها و دریاچه‌ها در بر گرفته است.



شکل ۱. موقعیت حوزه آبخیز دریاچه نمک و محدوده‌های مطالعاتی آن

در یک منطقه خشک در بخش غربی رود نیل، Bakr و همکاران (۲۰۱۲) در یک منطقه کویری مصر، Coscarelli و همکاران (۲۰۱۵) در جنوب ایتالیا و Becerril-Pina و همکاران (۲۰۱۵) در ارتفاعات نیمه خشک مرکز مکزیک اشاره کرد. تضادهای احتمالی بین شاخص‌های ارزیابی برای مناطق مختلف، مشکلات مهمی هستند که باید قبل از ارزیابی بیابان‌زایی و تخریب زمین مورد توجه قرار گیرند (Akbari et al., 2019). به منظور غلبه بر این مشکلات، کارشناسان و دانشمندان ایرانی مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) را در پروژه‌ای با عنوان «تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران» ارائه دادند. مدل IMDPA در راستای تدوین طرح جامع کمی سازی معیارها و شاخص‌های تاثیرگذار بر روند بیابان‌زایی در اکوسیستم‌های طبیعی کشور با تاکید بر شرایط خاص اکولوژیکی، اجتماعی، اقتصادی و آبخیزداری کشور با همکاری معاونت امور مراتع و خاک سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور و دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران در سطح ملی طراحی شد. به طور کلی ۹ معیار و ۱۳۰ شاخص در این مدل گنجانده شده است. IMDPA در مناطق مختلف آب و هوایی ایران یعنی محیط‌های خشک، نیمه خشک و بیابانی تحت یک فرآیند کالیبراسیون دقیق قرار گرفته است. مدل IMDPA امکان ارزیابی شدت بیابان‌زایی، نوع بیابان‌زایی (انسانی-طبیعی) و همچنین ارائه برنامه‌های مدیریتی را فراهم می‌کند (Khosravi et al., 2014, Arami ET AL., 2013).

مروری بر مطالعات پیشین حاکی از آن است که مطالعه‌ای در زمینه ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی حوزه آبریز دریاچه نمک با تاکید بر معیار آب زیرزمینی و فرونشست زمین انجام نشده است. با توجه به اینکه محدوده‌های دارای نرخ فرونشست شدید و خیلی شدید در این حوضه واقع شده است، لذا بررسی و ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی لازم و ضروری می‌باشد. چراکه با توجه به نتایج مطالعات کمیته آب زیرزمینی نیز حوزه آبخیز دریاچه نمک طی دوره ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۸ با افت سطح تراز در محدوده‌های مطالعاتی مختلف مواجهه شده است که این مسئله می‌تواند عاملی برای فرونشست زمین و تخریب اراضی باشد. این تحقیق در مناطق خشک تا نیمه خشک ایران انجام شده است که مجموعه‌ای از عوامل پیچیده (مانند فرسایش، شوری خاک، کاهش حاصلخیزی خاک، کاهش سطح آب زیرزمینی و شوری ... و غیره) منجر به بروز نشانه‌های آشکار بیابان‌زایی شده است. تلاش‌هایی برای ارزیابی علل و اثرات بیابان‌زایی در این منطقه صورت گرفته است. با این حال، تاکنون مطالعه جامعی در خصوص تاثیرات فرونشست زمین بر شدت بیابان‌زایی ارائه نشده است. هدف اصلی این تحقیق، بررسی و ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی همراه با توصیف دقیقی از شرایط حاکم در منطقه بر

## روش تحقیق

IMDPA جهت کمی کردن معیارها از شاخص‌های مربوطه کمک گرفته می‌شود. همانطور که اشاره شد مدل IMDPA دارای ۹ معیار بوده که در این پژوهش برای تهیه نقشه شدت بیابان‌زایی از دو معیار آب زیرزمینی و نرخ فرونشست به عنوان معیارهای کلیدی استفاده می‌گردد. با توجه به اطلاعات دسترس و اهداف پژوهش حاضر شاخص‌های معیار آب، پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و افت سطح آب زیرزمینی در نظر گرفته شد. برای شاخص معیار فرونشست نیز میزان فرونشست در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ استفاده شد. در مرحله بعد هر شاخص بر پایه تاثیر آن در بیابان‌زایی وزنی بین ۱ تا ۴ داده شد. وزن‌دهی بصورت خطی و نسبت برابر بوده، بطوریکه ارزش ۱ بهترین و ارزش ۴ بدترین وزن می‌باشد. پهنه‌بندی شاخص‌های مذکور نیز توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های درونی‌یابی صورت گرفت. لازم به ذکر است به منظور بررسی تاثیر نرخ فرونشست بر بیابان‌زایی، شدت بیابان‌زایی به دو صورت محاسبه گردید. در حالت اول با در نظر گرفتن معیار فرونشست و معیار آب زیرزمینی، و در حالت دوم بدون لحاظ کردن معیار فرونشست شدت بیابان‌زایی تنها براساس معیار آب زیرزمینی ارزیابی شد. در ادامه به اختصار به نحوه محاسبه معیارهای آب زیرزمینی و فرونشست و در نهایت شدت بیابان‌زایی پرداخته می‌شود. معیار آب زیرزمینی براساس شاخص‌های هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و افت سطح آب زیرزمینی برطبق جدول (۱) امتیازدهی گردید و ارزش عددی این معیار طبق رابطه (۱) تعیین شد.

رابطه ۱:

$$GWI = \text{(نسبت جذب سدیم} \times \text{هدایت الکتریکی} \times \text{افت آب زیرزمینی)}$$

معیار فرونشست با استفاده از نقشه فرونشست تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۱ در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ ارزیابی شد. بدین منظور شاخص نرخ فرونشست مدل IMDPA بر طبق جدول (۲) امتیازدهی گردید.

داده‌های مورد استفاده در این مطالعه نتایج حاصل از مطالعات پارامترهای کمی و کیفی آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه نمک می‌باشد، که این داده‌ها شامل مقادیر افت سطح تراز آب زیرزمینی در آبخوان محدوده مطالعاتی، پارامترهای کیفی آب (هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، کل مواد جامد محلول) منابع آب زیرزمینی موجود در محدوده و نقشه فرونشست در آبخوان محدوده مطالعاتی می‌باشد. نقشه فرونشست مورد استفاده مربوط به سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ می‌باشد. مراحل انجام تحقیق حاضر به صورت خلاصه به شرح ذیل می‌باشد:

- محاسبه مقادیر متوسط پارامترهای EC، SAR و TDS در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴.
  - محاسبه میزان افت سطح تراز آب زیرزمینی در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴.
  - ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی براساس پارامترهای کمی و کیفی (معیار آب) مدل بیابان‌زایی IMDPA و تهیه نقشه پهنه‌بندی.
  - بررسی نرخ فرونشست زمین و تهیه نقشه پهنه‌بندی.
  - ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی براساس نرخ فرونشست زمین و تهیه نقشه پهنه‌بندی.
  - ارزیابی شدت بیابان‌زایی براساس معیارهای آب و فرونشست زمین مدل بیابان‌زایی IMDPA.
- همانطور که اشاره شد در این مطالعه به منظور ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی حوزه آبخیز دریاچه نمک از جدیدترین مدل ایرانی ارزیابی بیابان‌زایی استفاده شد. این مدل بر پایه مدل مدالوس که توسط کمیسیون بین المللی اروپا ارائه شده است، می‌باشد. از مهمترین مزایای این مدل توانایی ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی با تعداد شاخص‌های محدود است (Saleh et al., 2023). همچنین می‌توان پارامترهای موثر بر بیابان‌زایی را بررسی کرده و نقشه بیابان‌زایی را تهیه نمود (Yaghobi et al., 2021). از دیگر مزایای این روش استفاده کمتر از نظر کارشناسی در مقایسه با سایر روش‌ها می‌باشد. در مدل

جدول ۱. امتیازدهی شاخص‌های معیار آب زیرزمینی در مدل IMDPA

شاخص	وضعیت فعلی بیابان‌زایی		
	۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (شدید)
هدایت الکتریکی (EC)	> ۷۵۰	۲۲۵۰-۷۵۰	۵۰۰-۲۲۵۰
نسبت جذب سدیم (SAR)	> ۱۸	۲۶-۱۸	۳۲-۲۶
افت آب زیرزمینی (سانتیمتر در سال)	> ۲۰	۳۰-۲۰	۵۰-۳۰

جدول ۲. امتیازدهی شاخص معیار نرخ فرونشست در مدل IMDPA

شاخص	وضعیت فعلی بیابان‌زایی		
	۱ (کم)	۲ (متوسط)	۳ (شدید)
فرونشست (سانتیمتر در سال)	> -۱/۴۹	-۱/۵، -۲/۹۹	-۳، -۵/۹۹

نقشه پهنه بندی پارامتر هدایت الکتریکی تمامی آبخوان های حوزه آبخیز دریاچه نمک را نشان می‌دهد. همانطور که از مقادیر پهنه بندی شده هدایت الکتریکی در سطح آبخوان ها قابل تشخیص است میزان هدایت الکتریکی در کل حوزه بین مقادیر کمتر از ۷۵۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر (۲۶۲) تا بزرگتر از ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر (۲۵۰۰۰) در نوسان است. براین اساس محدوده‌های زرد ساوه، دریاچه نمک، قم-کپک، کاشان، شریف آباد، نیزار سلفچگان و مسیله دارای بالاترین مقدار شوری می‌باشند که در این میان کل منابع آب زیرزمینی موجود در محدوده شریف آباد دارای شوری بیشتر از ۵۰۰۰ میکروزیمنس می‌باشد. این درحالیست که کمترین مقدار شوری در محدوده های شازند، هشتگرد، کبودآهنگ، مشاهده می‌شود. نقشه پهنه‌بندی پارامتر هدایت الکتریکی نشان داد منابع آبی زیرزمینی در بخش نیمه شرقی حوزه آبخیز دریاچه نمک از میزان شوری بالاتری نسبت به بخش غربی برخوردار است. بطوریکه آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی واقع در این بخش دارای هدایت الکتریکی بالای ۲۲۵۰ و ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر می‌باشند. درحالیکه منابع آب زیرزمینی محدوده‌های مطالعاتی بخش غربی حوزه دارای هدایت الکتریکی کمتر از ۲۲۵۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر می‌باشند و منابع آبی با هدایت الکتریکی بالای ۵۰۰۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر در این مناطق درصد کمی را در برمی‌گیرند. میزان هدایت الکتریکی کل منابع آب زیرزمینی موجود در محدوده‌های مطالعاتی شازند، بلوک شرا و نهرمیان کمتر از ۷۵۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر می‌باشد. نگاه کلی به نقشه پهنه بندی شاخص هدایت الکتریکی نشان می‌دهد بیش

پس از محاسبه معیارهای آب زیرزمینی و فرونشست و تهیه نقشه‌های مربوطه، نقشه نهایی وضعیت بیابانزایی برطبق مدل IMDPA رابطه (۲) براساس میانگین هندسی معیارها بدست آمد.

$$\text{DM} = (\text{GWI} \times \text{SRI})^{1/2} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه GWI معیار آب زیرزمینی، SRI معیار نرخ فرونشست و DM وضعیت فعلی بیابانزایی می‌باشد. برطبق مدل IMDPA شدت بیابانزایی در چهار کلاس کم و ناچیز، متوسط، شدید و بسیار شدید طبقه‌بندی شد. جدول (۳) کلاس‌ها و وزن‌های اخذ شده برای ارزیابی وضعیت معیارها در مدل IMDPA را نشان می‌دهد.

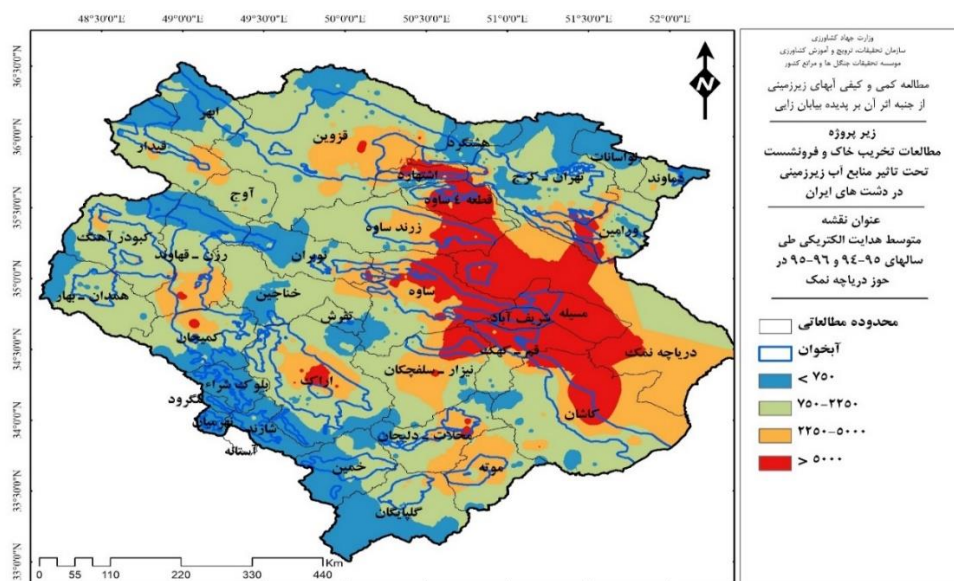
جدول ۳. طبقات کلاس‌های شدت بیابانزایی مدل IMDPA

کلاس شدت بیابانزایی	امتیاز
کم	۱,۵-۰,۵
متوسط	۲,۵-۱,۵
شدید	۳,۵-۲,۵
بسیار شدید	۴-۳,۵

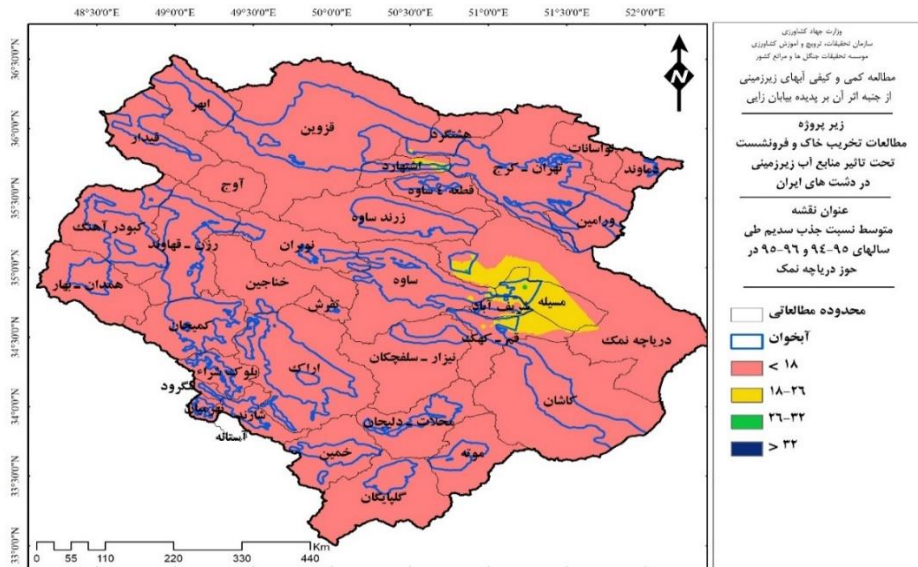
### نتایج و بحث

#### ارزیابی وضعیت کیفیت آب زیرزمینی براساس پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم

با توجه به اینکه نقشه فرونشست حوزه آبخیز دریاچه نمک در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ موجود می‌باشد لذا مشخصه‌های کیفی آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم) جهت ارزیابی وضعیت فعلی بیابانزایی توسط مدل IMDPA در بازه زمانی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ بررسی شده است. بدین منظور نقشه‌های پهنه بندی شده پارامترهای مذکور در این بازه زمانی براساس مقادیر متوسط این پارامترها تهیه گردید. شکل (۲)



شکل ۲. مقادیر میانگین پارامتر هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی آبخوان های حوزه آبخیز دریاچه نمک- سال های ۹۵-۹۶ و ۹۴-۹۵



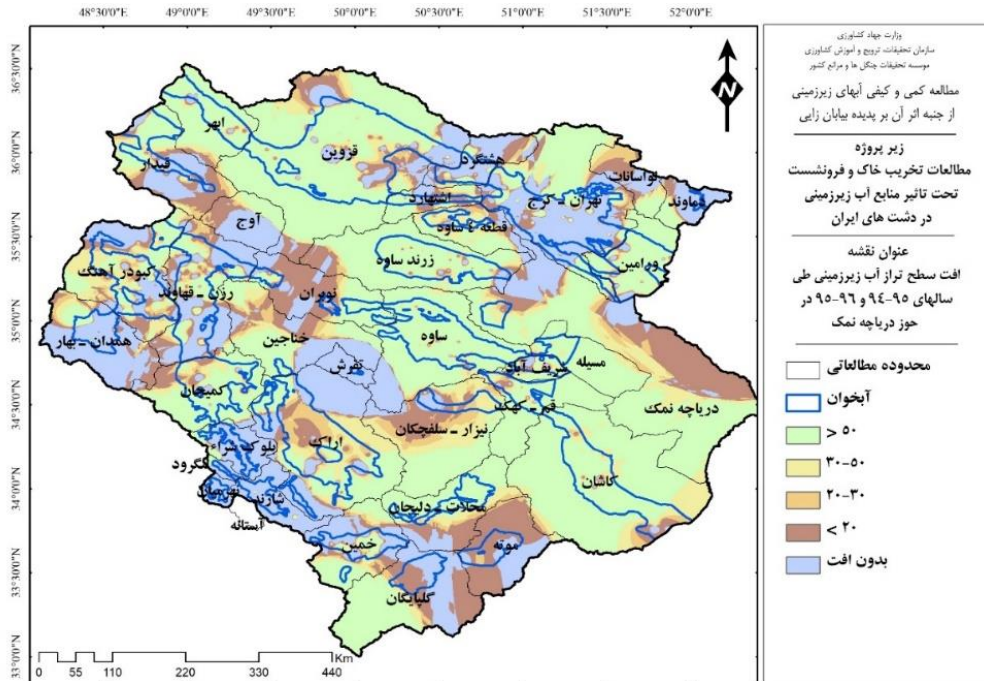
شکل ۳. مقادیر میانگین پارامتر نسبت جذب سدیم منابع آب زیرزمینی آبخوان‌های حوزه آبخیز دریاچه نمک-در سال‌های ۹۵-۹۴ و ۹۶-۹۵

زیرزمینی با کاهش سطح تراز آبخوان مواجه نشده‌اند. بطور کلی نتایج نشان داد میزان افت در حوزه آبخیز دریاچه نمک طی سال‌های آبی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ بین حداکثر ۱۱/۸ متر تا حداقل ۰/۱ سانتیمتر متغیر است که محدوده‌های مطالعاتی ساوه و قزوین طی این بازه زمانی با بیشترین میزان کاهش سطح آب مواجه شده‌اند. لازم به ذکر است تقریباً تمامی منابع آبی موجود در محدوده مطالعاتی ساوه طی بازه زمانی مذکور دارای افت سطح تراز می‌باشند. نتایج بررسی میزان افت سطح تراز زیرزمینی طی بازه زمانی مورد مطالعه (سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵) برای هر یک از محدوده‌های مطالعاتی به صورت مجزا نشان داد سطح آب زیرزمینی در آبخوان محدوده ابهر یک سانتیمتر تا ۲/۲۶ متر در سال، اراک بین ۵ سانتیمتر تا ۴/۹۵ متر، آستانه ۳ اشتهارد تا ۲/۳۳ متر، بلوک شرا ۳ تا ۳۹ سانتیمتر، تهران- کرج بین ۲ سانتیمتر تا ۶/۳۳ متر، خمین ۲ سانتیمتر تا ۲/۸ متر، دریاچه نمک ۲۰ تا ۶۳ سانتیمتر، رزن- قهارن بین ۲ سانتیمتر تا ۳/۲۳ متر، زرنند ساوه بین ۱ سانتیمتر تا ۳/۷۲ متر، ساوه بین ۲ سانتیمتر تا ۱۱/۸۹ متر، شازند بین ۱۹ سانتیمتر تا ۱/۷۷ متر، شریف آباد ۶ سانتیمتر تا ۱/۱۲ متر، قزوین ۳ سانتیمتر تا ۵/۳۷ متر، قطعه ۴ ساوه ۹ تا ۸۱ سانتیمتر، قم-کهک بین ۱۶ سانتیمتر تا ۳/۰۲ متر، قیدار ۲۱ سانتیمتر تا ۱/۸۸ متر، کاشان بین ۴ سانتیمتر تا ۷/۳۲ متر، کبودر آهنگ ۱۰ سانتیمتر تا ۲/۳۵ متر، کمیجان بین ۶ سانتیمتر تا ۹/۸۹ متر، محلات-دلیجان ۶۰ سانتیمتر تا ۲/۴ متر، مسیله بین ۲۸ سانتیمتر تا ۳/۷ متر، موده ۲ تا ۳۰ سانتیمتر، نوبران ۵ سانتیمتر تا ۴/۹ متر، نيزار سلفچگان ۵ سانتیمتر، ورامین ۱۵ سانتیمتر تا ۴/۶ متر، هشتگرد ۱۵ سانتیمتر تا ۴/۰۷ متر، و در محدوده همدان-بهار ۵ سانتیمتر تا

۵۰ درصد منابع آب زیرزمینی حوزه آبخیز دریاچه نمک دارای شوری بین ۷۵۰ تا ۲۲۵۰ میکروزیمنس بر سانتیمتر می‌باشند. شکل (۳) نیز مقادیر پهنه بندی شده نسبت جذب سدیم در سطح حوضه آبخیز دریاچه نمک نشان می‌دهد. براین اساس نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی تقریباً در اکثر محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک کمتر از ۱۸ است. تنها در محدوده‌های مطالعاتی مسیله، دریاچه نمک، شریف آباد، قم- کهک واقع در بخش شرقی حوضه میزان نسبت جذب سدیم منابع آبی بالای ۱۸ می‌باشد.

#### ارزیابی وضعیت کمیت آب زیرزمینی براساس میزان افت سطح تراز منابع آبی آبخوان

در اینجا میزان تغییرات و افت سطح تراز آب زیرزمینی در هر یک از آبخوان‌های محدوده مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک براساس سطح تراز آب زیرزمینی در مهر ماه سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ محاسبه شد و نتایج حاصل در قالب نقشه پهنه بندی در شکل (۴) ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده از سطح تراز آب زیرزمینی در بخش قابل توجهی از حوضه میزان افت بیش از ۵۰ سانتیمتر در سال طی بازه زمانی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵ بوده است. سطح آب زیرزمینی در بخش قابل توجهی از محدوده‌های مطالعاتی شازند، بلوک شرا، تهران-کرج، دماوند، لواسانات، هشتگرد، اراک، همدان-بهار، رزن، اوج، قیدار، گلپایگان، موده، خمین و ... کاهش سطح آب زیرزمینی طی بازه زمانی مورد مطالعه صورت نگرفته است. بطوریکه در محدوده شازند، بلوک شرا تنها چند منبع آبی با کاهش سطح تراز مواجه شده‌اند. این درحالیست که در محدوده‌های مطالعاتی نهرمیان، دماوند و لنگرود منابع آب



شکل ۴. مقادیر تغییرات سطح تراز آب زیرزمینی در آبخوان های حوزه آبخیز دریاچه نمک- در سال های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵

قم-کهک، مسیله و موته دارای وضعیت خیلی شدید، محدوده های اشتهارد، زرد ساوه، ساوه و نیزار سلفچگان دارای وضعیت شدید، و محدوده های آوج، اراک، تهران-کرج، خماجین، خمین، دماوند، رزن قهاون، قزوین، قیدار، کاشان، کبودرآهنگ، کمیجان، گلپایگان، محلات دلیجان، نوبران، ورامین، هشتگرد، همدان-بهار دارای وضعیت متوسط بیابانزایی و محدوده های ابهر، آستانه، بلوک شرا، تفرش، شازند، لنگرود، لواسانات و نهرمیان دارای وضعیت بیابانزایی کم می باشند. براساس شاخص هدایت الکتریکی اکثر محدوده های مطالعاتی دارای وضعیت متوسط بیابانزایی بر طبق طبقه بندی مدل IMDPA می باشند. میانگین شاخص هدایت الکتریکی (۲۳۱۱/۸۴ میکروزیمنس بر سانتیمتر) در کل حوزه نیز نشان داد وضعیت بیابانزایی حوزه آبخیز دریاچه نمک از منظر این شاخص در طبقه شدید قرار می گیرد (جدول ۵). درصد مساحت طبقات شدت بیابانزایی براساس شاخص هدایت الکتریکی در حوزه آبخیز دریاچه نمک نیز نشان داد بیشترین سطح حوزه (۴۶/۱۱ درصد) در طبقه متوسط و بعد از آن ۲۰/۰۶ درصد نیز در طبقه شدید بیابانزایی قرار می گیرند. همچنین به منظور ارزیابی دقیق وضعیت بیابانزایی مقادیر میانگین هدایت الکتریکی منابع آب زیرزمینی موجود در حوزه پهنه بندی و طبقه بندی شد که نتایج حاصل در شکل (۵) ارائه شده است.

۴/۹۵ متر کاهش یافته است. در این میان سطح تراز آب زیرزمینی اکثر چاه های موجود در محدوده های قطعه ۴ ساوه، قم-کهک، کاشان، کمیجان، محلات-دلیجان (تمام افت)، مسیله (تمام افت) طی بازه زمانی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵ کاهش یافته است. بطوریکه در محدوده های مسیله و محلات-دلیجان با کاهش سطح تراز آب تمامی چاه ها در این بازه زمانی مواجهه شده اند.

#### ارزیابی وضعیت فعلی بیابانزایی براساس معیار آب مدل بیابانزایی IMDPA

پارامترهای کیفی و کمی آب زیرزمینی به عنوان معیار آب مدل IMDPA در نظر گرفته شد. بر طبق جدول (۱) به پارامترهای هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و افت تراز آب زیرزمینی امتیاز دهی شد و وضعیت فعلی بیابانزایی براساس این شاخص ها برای محدوده های مطالعاتی استخراج گردید. بدین منظور معیار کیفیت آب زیرزمینی براساس مقادیر میانگین پارامترهای هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم در سال های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ بر طبق طبقات ارائه شده در جدول (۱) برای کل حوزه طبقه بندی شد و وضعیت بیابانزایی برای محدوده های مطالعاتی تعیین گردید که نتایج در جداول (۴) و (۶) ارائه شده است. براساس نتایج بدست آمده از امتیازدهی معیار هدایت الکتریکی (جدول ۴)، وضعیت بیابانزایی حوزه آبخیز دریاچه نمک تا خیلی شدید قرار می گیرد. بطوریکه محدوده های دریاچه نمک، شریف آباد، قطعه ۴ ساوه،

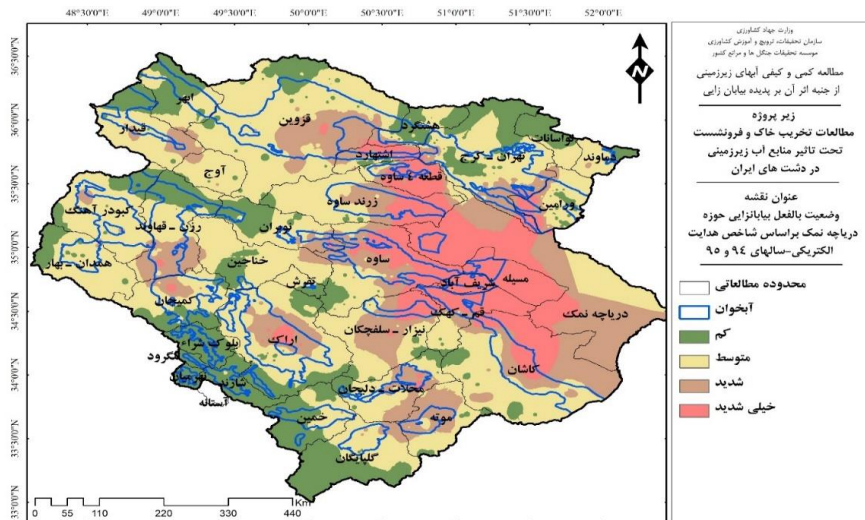


جدول ۰۴. امتیاز معیار کیفیت آب زیرزمینی - هدایت الکتریکی در محدوده های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک طی دوره آماری ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

محدوده مطالعاتی	میانگین EC	امتیاز وضعیت بیابان‌زایی	وضعیت فعلی بیابان‌زایی
ابهر	۷۲۹.۶۲۳۸	۱	کم
اراک	۱۸۶۴.۹۰۲	۲	متوسط
آستانه	۵۴۲.۴۴۴۴	۱	کم
اشتهارد	۴۰۲۷.۰۳۷	۳	شدید
آوج	۱۵۴۰.۲۳۶	۲	متوسط
بلوک شرا	۵۷۳.۱۰۱۳	۱	کم
تفرش	۷۴۳.۲۱۲۱	۱	کم
تهران - کرج	۱۵۲۶.۰۷۶	۲	متوسط
خماجین	۹۷۰.۷۰۵۹	۲	متوسط
خمین	۷۷۶.۹۰۹۸	۲	متوسط
دریاچه نمک	۱۰۰۶۶.۳	۴	خیلی شدید
دماوند	۱۰۳۲.۵۸	۲	متوسط
رزن - قهاوند	۱۷۵۳.۷۴۶	۲	متوسط
زرند ساوه	۳۶۲۳.۱۱۶	۳	شدید
ساوه	۳۶۶۱.۹۵۶	۳	شدید
شازند	۴۹۸.۸۲۰۵	۱	کم
شریف آباد	۱۰۵۲۹.۸۲	۴	خیلی شدید
قزوین	۱۵۸۹.۸۳	۲	متوسط
قطعه ۴ ساوه	۱۰۰۰۴.۱۳	۴	خیلی شدید
قم - کهک	۵۴۵۲.۲۹۴	۴	خیلی شدید
قیدار	۱۳۸۱.۸۹۱	۲	متوسط
کاشان	۱۷۳۲.۱	۲	متوسط
کبودرآهنگ	۱۲۹۷.۲۰۹	۲	متوسط
کمیجان	۱۴۴۷.۱۰۳	۲	متوسط
گلپایگان	۱۰۰۰.۲۴۱	۲	متوسط
لنگرود	۳۵۵.۴۲۸۶	۱	کم
لواسانات	۵۲۷.۱۷۹۵	۱	کم
محلات - دلیجان	۲۱۴۰.۳۰۲	۲	متوسط
مسيله	۱۶۲۲۶.۲	۴	خیلی شدید
موته	۱۶۶۲.۷۶۵	۴	خیلی شدید
نوبران	۱۸۰۱.۳۱۲	۲	متوسط
نهرمیان	۴۳۳.۲۳۸۱	۱	کم
نیزار-سلفچگان	۳۵۴۳.۱۵۶	۳	شدید
ورامین	۲۰۸۰.۰۹۳	۲	متوسط
هشتگرد	۷۸۹.۵۱۴۳	۲	متوسط
همدان - بهار	۱۰۱۵.۰۷۴	۲	متوسط
کل حوزه	۲۳۱۱.۸۴۲	۳	شدید

جدول ۰۵. درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی براساس شاخص هدایت الکتریکی در حوزه آبخیز دریاچه نمک - سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

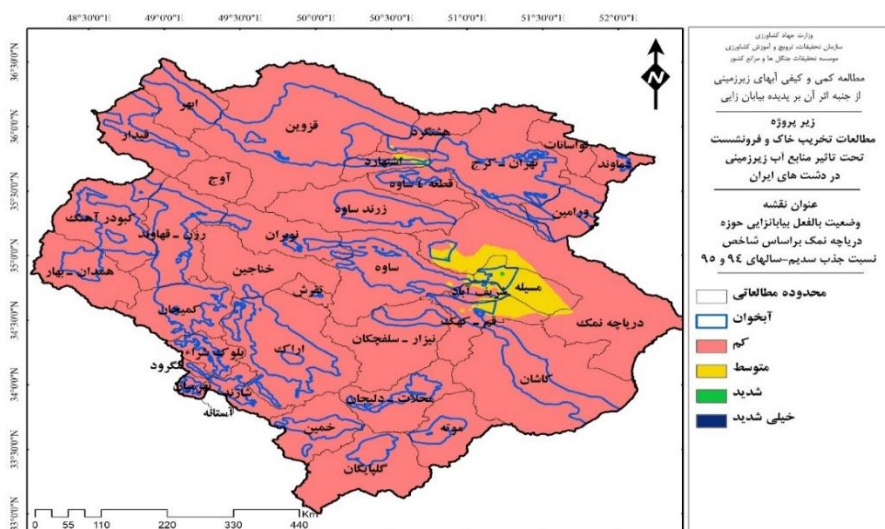
درصد مساحت	طبقات شدت بیابان‌زایی
۲۰/۰۴	کم
۴۶/۱۱	متوسط
۲۰/۰۶	شدید
۱۳/۷۷	خیلی شدید



شکل ۵. وضعیت بالفعل بیابانزایی براساس شاخص هدایت الکتریکی در حوزه آبخیز دریاچه نمک- سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

کاشان، کبودر آهنگ، کمیجان، محلات-دلیجان، مسیله، نوبران، هشتگرد، همدان-بهرار و ورامین دارای وضعیت شدید بیابانزایی، محدوده‌های تفرش، دریاچه نمک، رزن-قهاوند، و قطعه ۴ ساوه دارای وضعیت شدید، محدوده بلوک شرا دارای وضعیت متوسط و محدوده‌های موته و نیزار سلفچگان دارای شدت کم بیابانزایی می‌باشند. براساس متوسط افت سطح تراز آب زیرزمینی (۱/۱۶ متر) در سطح کل حوزه دریاچه نمک نیز شدت بیابانزایی براساس معیار افت دارای وضعیت خیلی شدید می‌باشد. همچنین نقشه پهنه بندی شده وضعیت بیابانزایی براساس معیار افت سطح تراز در شکل (۷) نشان داده شده است. نتایج حاصل از مقادیر پهنه بندی شده افت سطح تراز در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان داد بیشترین سطح حوزه دارای وضعیت خیلی شدید بیابانزایی و سپس وضعیت کم از منظر شاخص افت آب زیرزمینی می‌باشد که بترتیب ۴۶/۹۷ و ۳۶/۳۲ درصد سطح حوزه را در برمی‌گیرند (جدول ۹).

نتایج ارزیابی معیار نسبت جذب سدیم در جدول (۶) نشان داده شده است. براساس نتایج بدست آمده از امتیازدهی مقادیر میانگین نسبت جذب سدیم در سال های ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ تقریباً تمامی محدوده های مطالعاتی دارای وضعیت ضعیف بیابانزایی می باشند، تنها محدوده‌های مطالعاتی دریاچه نمک و مسیله در طبقه متوسط قرار می‌گیرد. همچنین نقشه پهنه بندی امتیازدهی شاخص نسبت جذب سدیم در شکل (۶) نشان داده شده است. درصد مساحت طبقات شدت بیابانزایی نیز نشان داد بیش از ۹۰ درصد از سطح حوزه در وضعیت کم شدت بیابانزایی قرار می‌گیرند (جدول ۷). نتایج معیار کمیت آب زیرزمینی براساس میانگین افت سطح تراز برای آبخوان‌های محدوده‌های مطالعاتی در جدول (۸) ارائه شده است. براساس متوسط افت سطح تراز آب زیرزمینی، محدوده‌های ابهر، اراک، اشتهارد، تهران-کرج، خمین، رزن-ساوه، ساوه، شازند، شریف آباد، قزوین، قم-کهمک، قیدار،



شکل ۶- وضعیت بالفعل بیابانزایی براساس شاخص نسبت جذب سدیم در حوزه آبخیز دریاچه نمک- سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

جدول ۶. امتیاز معیار کیفیت آب زیرزمینی - نسبت جذب سدیم در محدوده های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک طی دوره آماری ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

محدوده مطالعاتی	میانگین SAR	امتیاز بیابان‌زایی	وضعیت فعلی بیابان‌زایی
ابه‌ر	۱،۵۷	۱	کم
اراک	۲،۹۴	۱	کم
آستانه	۱،۳۵	۱	کم
اشتهارد	۷،۴۵	۱	کم
آوج	۲،۳۷	۱	کم
بلوک شرا	۱،۵۱	۱	کم
تفرش	۱،۷۲	۱	کم
تهران - کرج	۲،۷۷	۱	کم
خماجین	۲،۰۸	۱	کم
خمین	۱،۷۲	۱	کم
دریاچه نمک	۱۸،۰۲	۲	متوسط
دماوند	۱،۶۷	۱	کم
رزن - قهاوند	۲،۵۹	۱	کم
زرنند ساوه	۴،۶۹	۱	کم
ساوه	۵،۷۷	۱	کم
شازند	۱،۱۳	۱	کم
شریف آباد	۱۷،۱۹	۱	کم
قزوین	۳،۰۴	۱	کم
قطعه ۴ ساوه	۶،۳۷	۱	کم
قم - کهک	۱۰،۵۰	۱	کم
قیدار	۲،۵۴	۱	کم
کاشان	۳،۶۸	۱	کم
کبودرآهنگ	۲،۱۱	۱	کم
کمیجان	۲،۳۶	۱	کم
گلپایگان	۲،۰۹	۱	کم
لنگرود	۰،۸۵	۱	کم
لواسانات	۰،۸۴	۱	کم
محلات - دلپجان	۲،۹۲	۱	کم
مسيله	۲۳،۰۷	۲	متوسط
موته	۳،۲۰	۱	کم
نوبران	۲،۴۹	۱	کم
نهرمیان	۰،۸۸	۱	کم
نیزار-سلفچگان	۶،۹۱	۱	کم
ورامین	۲،۶۸	۱	کم
هشتگرد	۱،۸۰	۱	کم
همدان - بهار	۱،۲۷	۱	کم
کل حوزه	۳،۳۴	۱	کم

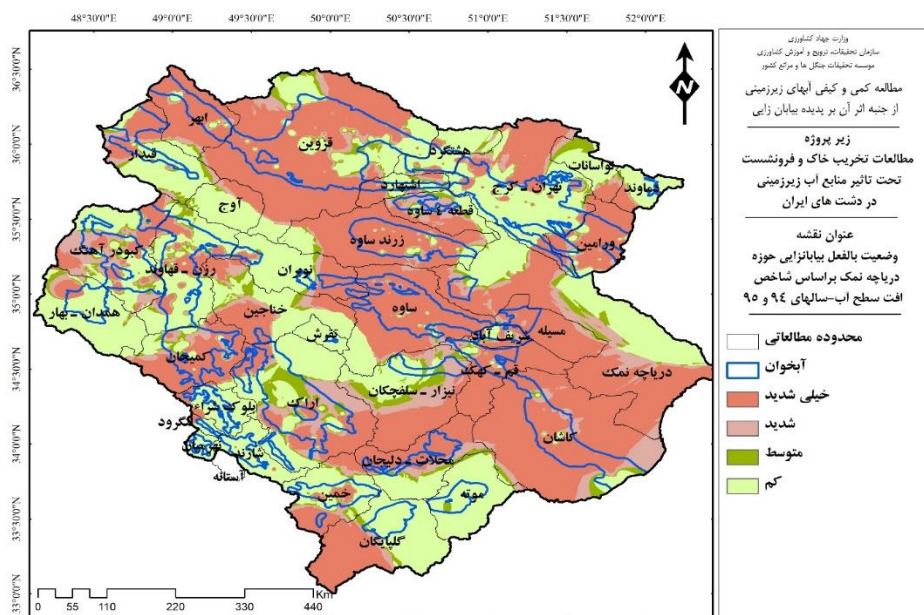
جدول ۷. درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی براساس شاخص نسبت جذب سدیم در حوزه آبخیز دریاچه نمک - سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

درصد مساحت	طبقات شدت بیابان‌زایی
۹۶/۷۸	کم
۳/۱۸	متوسط
۰/۰۲۷	شدید
۰/۰۰۲	خیلی شدید

جدول ۸. امتیاز معیار کمیت آب زیرزمینی - افت سطح تراز در محدوده های مطالعاتی

حوزه آبخیز دریاچه نمک طی دوره آماری ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

محدوده مطالعاتی	میانگین افت سطح تراز (متر)	امتیاز وضعیت بیابانزایی	وضعیت فعلی بیابانزایی
ایهر	-۱،۰۹	۴	خیلی شدید
اراک	-۰،۸۸	۴	خیلی شدید
آستانه	-	-	-
اشتهارد	-۰،۵۹	۴	خیلی شدید
بلوک شرا	-۰،۲۱	۲	متوسط
تفرش	-۰،۳۵	۳	شدید
تهران - کرج	-۱،۳۷	۴	خیلی شدید
خمین	-۱	۴	خیلی شدید
دریاچه نمک	۰،۴۴	۳	شدید
دماوند	-	-	-
رزن - قهاوند	-۰،۷۸	۳	شدید
زرنند ساوه	-۱،۱۴	۴	خیلی شدید
ساوه	-۱،۸	۴	خیلی شدید
شازند	-۰،۹۲	۴	خیلی شدید
شریف آباد	-۰،۶۶	۴	خیلی شدید
قزوین	-۱،۴	۴	خیلی شدید
قطعه ۴ ساوه	-۰،۴۳	۳	شدید
قم - کهنک	-۰،۸۸	۴	خیلی شدید
قیدار	-۰،۸۸	۴	خیلی شدید
کاشان	-۰،۹۱	۴	خیلی شدید
کبودر آهنگ	-۰،۸۸	۴	خیلی شدید
کمیجان	-۱،۶۷	۴	خیلی شدید
محلات - دلپجان	-۱،۶۵	۴	خیلی شدید
مسپله	-۱،۱۷	۴	خیلی شدید
موته	-۰،۱۴	۱	کم
نهرمیان	-	-	-
نوبران	-۱،۰۱	۴	خیلی شدید
نیزار - سلفچگان	-۰،۰۵	۱	کم
هشتگرد	-۱،۵۳	۴	خیلی شدید
همدان - بهار	-۱،۱۹	۴	خیلی شدید
ورامین	-۱،۴۹	۴	خیلی شدید
کل حوزه	-۱،۱۶	۴	خیلی شدید



شکل ۷- وضعیت بالفعل بیابانزایی براساس شاخص افت سطح تراز آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه نمک- سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵

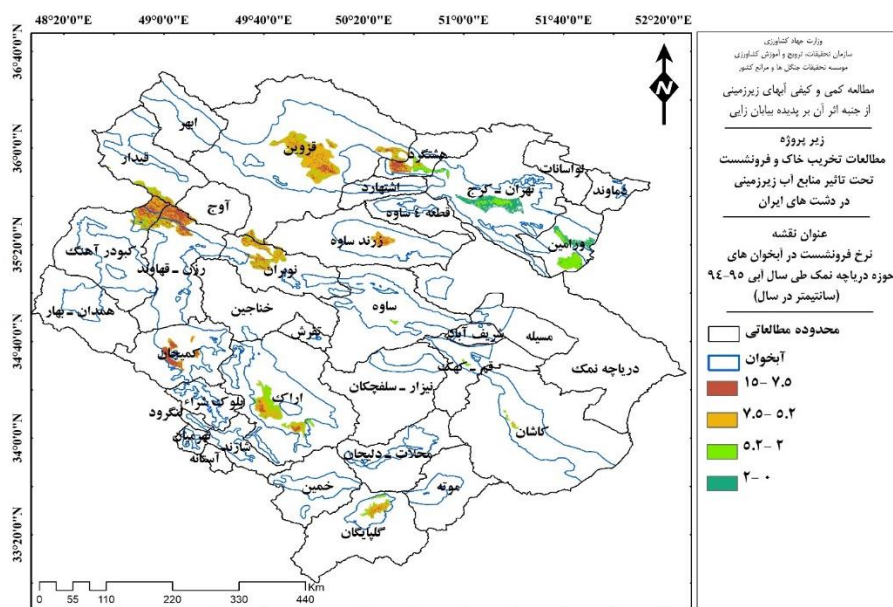
**جدول ۹. درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی براساس شاخص افت سطح تراز آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه نمک - سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ تا ۹۶-۱۳۹۵**

طبقات شدت بیابان‌زایی	درصد مساحت
کم	۳۶/۳۲
متوسط	۵/۵۵
شدید	۱۱/۱۵
خیلی شدید	۴۶/۹۷

**ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی براساس معیار فرورنشست مدل بیابان‌زایی IMDPA**

معیار فرورنشست مدل بیابان‌زایی IMDPA با استفاده از نقشه فرورنشست حوزه دریاچه نمک که برای بخشی از حوزه موجود می‌باشد، ارزیابی گردید (شکل ۸). همانطور که از نقشه فرورنشست قابل تشخیص است فرورنشست برای محدوده‌های مطالعاتی قزوین، هشتگرد، تهران-کرج، ورامین، زرنند ساوه، نوبران، گلپایگان، اراک، کمیجان، قیدار، رزن-قهاوند، کبودرآهنگ، و سطح کمی از محدوده‌های ساوه، قم-کهمک و کاشان با نرخ ۱۵ سانتیمتر در سال تا کمتر از یک سانتیمتر در سال متغیر است. بطوریکه فرورنشست با نرخ بیشتر از ۶ سانتیمتر در سال در اکثر محدوده‌های مطالعاتی بیشترین سطح را به خود اختصاص داده است. بررسی نرخ فرورنشست در هر یک از محدوده‌های مطالعاتی نشان داد محدوده‌های رزن-قهاوند، کمیجان و هشتگرد دارای بالاترین میزان فرورنشست (۱۵ سانتیمتر در سال) نسبت به دیگر محدوده‌ها می‌باشند و محدوده‌های تهران-کرج، قم-کهمک، ورامین، ساوه و کاشان کمترین میزان فرورنشست (۸ سانتیمتر در سال) را در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ دارا می‌باشند (جدول ۱۰). به منظور ارزیابی وضعیت

بیابان‌زایی براساس معیار فرورنشست، نرخ فرورنشست در محدوده های دارای فرورنشست برطبق جدول (۲) امتیاز دهی گردید که نتایج آن براساس میانگین فرورنشست در جدول (۱۰) ارائه شده است. براساس مقادیر میانگین نرخ فرورنشست در سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ در محدوده های کمیجان، رزن-قهاوند، کبودرآهنگ، زرنند-ساوه، آوج، نوبران، قزوین، و هشتگرد فرورنشست بیش از ۶ سانتیمتر در سال بوده که وضعیت بیابان‌زایی خیلی شدید را برای این مناطق به دنبال دارد. در محدوده‌های گلپایگان، قیدار، اراک، کاشان، ساوه و قم-کهمک میانگین فرورنشست بین ۳ تا کمتر از ۶ سانتیمتر در سال بوده که براین اساس وضعیت بیابان‌زایی در طبقه شدید قرار می‌گیرد. همچنین محدوده‌های ورامین و تهران-کرج با میانگین فرورنشست ۲/۴۶ و ۱/۵ سانتیمتر در سال دارای وضعیت بیابان‌زایی متوسط می‌باشند. در کل حوزه نیز میانگین فرورنشست ۵/۷۴ سانتیمتر در سال بوده که وضعیت بیابان‌زایی شدید را براساس این شاخص به دنبال دارد. درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی براساس شاخص فرورنشست برای محدوده‌های مطالعاتی دارای نقشه فرورنشست در جدول (۱۱) ارائه شده است. نتایج نشان داد بطورکلی ۵۰/۳۷ درصد از سطح کل مناطق دارای نرخ فرورنشست بالای ۶ سانتیمتر در سال با وضعیت بیابان‌زایی خیلی شدید و ۳۵/۳۹ درصد نیز با نرخ فرورنشست بین ۳ تا ۶ سانتیمتر در سال، و وضعیت بیابان‌زایی شدید می‌باشند (جدول ۱۱). به بیان دیگر حوزه آبخیز دریاچه نمک بدلیل دارا بودن نرخ بالای فرورنشست (بیشتر از ۶ سانتیمتر در سال) در شرایط بحرانی بیابان‌زایی از منظر این شاخص قرار می‌گیرد. در نهایت به منظور بررسی



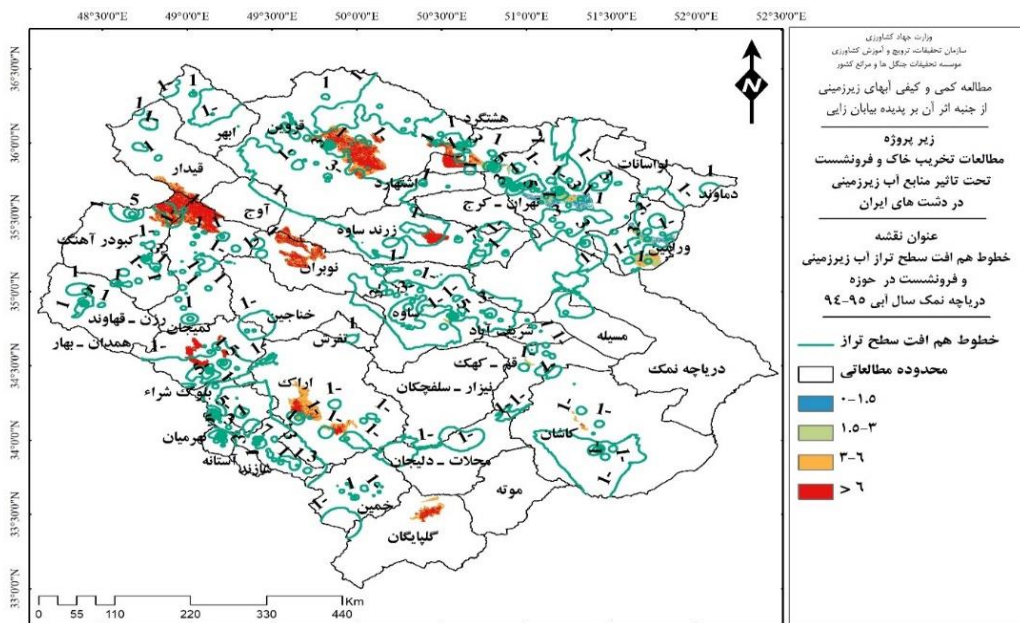
**شکل ۸. نرخ فرورنشست در محدوده های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک - سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ (طبقه بندی براساس اعداد اصلی)**

شده اند، اتفاق افتاده است. بنابراین چنین می توان استنباط کرد که افت آب زیرزمینی می تواند به عنوان دلیل اصلی فرونشست در این مناطق قلمداد شود. Arabi و Amighpey (۲۰۲۴) نیز تایید نمودند که اکثر مناطق فرونشست در دشت های ممنوعه و ممنوعه بحرانی از نظر وضعیت سطح آب زیرزمینی اتفاق افتاده است.

ارتباط میان افت سطح تراز آب زیرزمینی و نرخ فرونشست در حوزه آبخیز دریاچه نمک با استفاده از نقشه پهنه بندی شده افت آب زیرزمینی در سال های آبی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۶-۱۳۹۵ خطوط هم افت تهیه شد و بر روی مناطق دارای فرونشست قرار گرفت (شکل ۹). همانطور که از شکل مشخص است در اکثر موارد فرونشست در نواحی که با افت سطح تراز آب زیرزمینی مواجه

جدول ۱۰- نرخ فرونشست و امتیاز معیار فرونشست در محدوده های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک طی دوره آماری ۹۵-۱۳۹۴

محدوده مطالعاتی	حداقل و حداکثر نرخ فرونشست (cm/yr)	میانگین فرونشست (cm/yr)	امتیاز	وضعیت فعلی بیابانزایی
نوبران	۰.۲۱-۱۳.۰۵	۶.۳۷	۴	خیلی شدید
قزوین	۰.۰۴۲-۱۳.۰۱۸	۶.۳۶	۴	خیلی شدید
قیدار	۰.۱۷-۱۲.۲۶	۵.۸۱	۳	شدید
کبودرآهنگ	۰.۴۴-۱۳.۸۴	۷.۰۱	۴	خیلی شدید
رزن-قهاون	۰.۱۷-۱۵.۴۶	۷.۵۱	۴	خیلی شدید
اوج	۰.۶۷-۱۱.۸۸	۶.۵۵	۴	خیلی شدید
زرنند ساوه	۱.۶۶-۱۲.۳۸	۶.۹۸	۴	خیلی شدید
کمیجان	۱.۸۳-۱۵.۲۸	۸.۲۷	۴	خیلی شدید
هشتگرد	۰.۰۰۱-۱۵.۱	۶.۲۶	۴	خیلی شدید
تهران-کرج	۰.۰۰۱-۸.۷۳	۱.۵۵	۲	متوسط
ورامین	۰.۰۰۱-۸.۹۶	۲.۴۶	۲	متوسط
قم-کهنک	۰.۰۰۱-۶.۲۲	۳.۲۹	۳	شدید
ساوه	۰.۰۰۱-۸.۵۷	۳.۹۷	۳	شدید
کاشان	۰.۶۷-۸.۸۷	۴.۹۶	۳	شدید
گلپایگان	۰.۴۱-۱۱.۵۴	۵.۸۳	۳	شدید
اراک	۰.۰۱-۱۱.۹۵	۵.۵	۳	شدید
کل حوزه	۰.۰۰۱-۱۵.۴۶	۵.۷۴	۳	شدید



شکل ۹. خطوط هم افت سطح تراز آب زیرزمینی و فرونشست در حوزه آبخیز دریاچه نمک- سال آبی ۹۵-۱۳۹۴

جدول ۱۱. درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی براساس شاخص فرونشست در محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک- سال آبی ۹۵-۱۳۹۴

محدوده مطالعاتی	وضعیت بیابان‌زایی	درصد مساحت	محدوده مطالعاتی	وضعیت بیابان‌زایی	درصد مساحت
نوبران	کم	۰،۰۶	هشتگرد	کم	۲،۷۲
	متوسط	۱،۱۱		متوسط	۹،۶۵
	شدید	۳۸،۷۱		شدید	۳۱،۶۹
	خیلی شدید	۶۰،۱۳		خیلی شدید	۵۵،۹۳
قزوین	کم	۰،۰۲	تهران-کرج	کم	۵۶،۳۳
	متوسط	۰،۴۳		متوسط	۳۳،۰۰
	شدید	۴۰،۲۲		شدید	۱۰،۵۲
	خیلی شدید	۵۹،۳۳		خیلی شدید	۰،۱۵
فیدار	کم	۰،۰۹	ورامین	کم	۲۵،۸۶
	متوسط	۲،۴۱		متوسط	۳۸،۲۷
	شدید	۵۵،۶۹		شدید	۳۵،۵۰
	خیلی شدید	۴۱،۸۱		خیلی شدید	۰،۳۶
کبودرآهنگ	کم	۰،۰۵	قم-کهنک	کم	۱،۸۵
	متوسط	۱،۱۷		متوسط	۲۹،۴۰
	شدید	۲۶،۰۰		شدید	۶۸،۷۰
	خیلی شدید	۷۲،۷۸		خیلی شدید	۰،۰۵
رزن-قهاون	کم	۰،۰۲	ساوه	کم	۲،۹۹
	متوسط	۰،۵۵		متوسط	۱۶،۸۲
	شدید	۱۸،۴۳		شدید	۷۷،۵۵
	خیلی شدید	۸۱،۰۰		خیلی شدید	۲،۶۴
آوج	کم	۰،۰۱	کاشان	کم	۰،۰۶
	متوسط	۰،۸۷		متوسط	۲،۴۵
	شدید	۳۱،۹۳		شدید	۸۴،۹۱
	خیلی شدید	۶۷،۱۹		خیلی شدید	۱۲،۵۹
زرنده ساوه	کم	۰،۰۰	گلیپایگان	کم	۰،۰۲
	متوسط	۰،۱۵		متوسط	۰،۸۹
	شدید	۱۳،۰۹		شدید	۵۴،۰۴
	خیلی شدید	۸۶،۷۵		خیلی شدید	۴۵،۰۵
کمیجان	کم	۰،۰۰	اراک	کم	۰،۱۵
	متوسط	۰،۰۲		متوسط	۲،۳۲
	شدید	۸،۵۱		شدید	۶۶،۵۳
	خیلی شدید	۹۱،۴۸		خیلی شدید	۳۰،۹۹
کل حوزه	کم	۷/۰۹			
	متوسط	۷/۱۴			
	شدید	۳۵/۳۹			
	خیلی شدید	۵۰/۳۷			

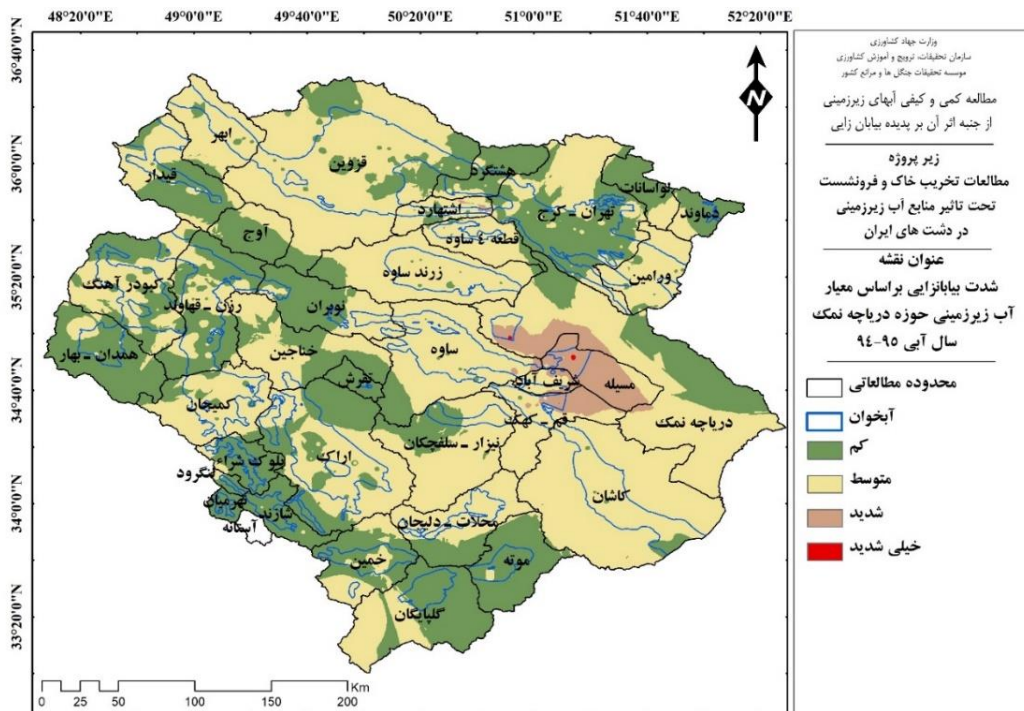
### ارزیابی شدت بیابان‌زایی از منظر معیار آب زیرزمینی

نقشه‌های پهنه‌بندی شده سه شاخص معیار آب زیرزمینی (هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم، افت سطح تراز) با استفاده از (رابطه ۱) روی هم گذاری شد و شدت بیابان‌زایی براین اساس بدست آمد. شکل (۱۰) شدت بیابان‌زایی را براساس معیار آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است شدت بیابان‌زایی برطبق شاخص‌های معیار آب زیرزمینی در چهار طبقه کم، متوسط، شدید و خیلی شدید قرار می‌گیرد که بیشترین سطح در محدوده متوسط

می‌باشد. همانطور که درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی نیز نشان می‌دهد (جدول ۱۲) طبقه متوسط ۶۰/۱۷ درصد از سطح حوزه را شامل می‌شود، بعد از طبقه متوسط بیابان‌زایی، مناطق با شدت بیابان‌زایی کم (۳۶/۱۸ درصد) بیشترین سطح را در حوزه دربرمی‌گیرند و مناطق با شدت بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید سطح خیلی ناچیزی را در حوزه به خود اختصاص می‌دهند. درمیان محدوده‌های مطالعاتی درصد مناطق با شدت بیابان‌زایی شدید تنها در محدوده‌های مسیله، شریف آباد، و قم قابل توجه می‌باشد بطوریکه در محدوده مطالعاتی مسیله

محدوده مطالعاتی شریف آباد صفر و در قم-کهک بسیار ناچیز (۰/۲۶ درصد) می‌باشد. در بین محدوده های مطالعاتی، نهرمیان، شازند، و تفرش کمترین شدت بیابانزایی را متحمل می‌شوند، بطوریکه در این مناطق بیابانزایی تنها دارای یک طبقه کم می باشد. بررسی شاخص های آب زیرزمینی در محدوده های مطالعاتی با شدت بالای بیابانزایی نشان می‌دهد عامل اصلی تشدید بیابانزایی در محدوده‌های مطالعاتی مسیله و شریف آباد در مقایسه با دیگر محدوده ها شوری آب زیرزمینی و افت سطح تراز آب زیرزمینی می‌باشد. این درحالیست که در محدوده های مطالعاتی، نهرمیان، شازند، و تفرش با شدت بیابانزایی کم، پایین بودن میزان نسبت جذب سدیم، افت سطح تراز و سپس شوری آب زیرزمینی سبب شده است شدت بیابانزایی نسبت به دیگر محدوده های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک کمتر باشد. بطور کلی بررسی شدت بیابانزایی بر طبق معیار آب زیرزمینی در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان داد عامل شوری و سپس افت سطح تراز آب از عوامل اصلی تخریب سرزمین در این ناحیه می باشند.

۸۴/۴۲ درصد از سطح کل منطقه تحت تاثیر بیابانزایی شدید می‌باشد که نسبت به محدوده‌های شریف آباد و قم-کهک درصد قابل توجهی می‌باشد. همچنین در بین محدوده‌های مطالعاتی تنها سطح خیلی ناچیزی از محدوده‌های مسیله، اشتهارد، قم-کهک و دریاچه نمک دارای شدت بیابانزایی خیلی شدید می‌باشند. لازم به ذکر است مناطق با شدت بیابانزایی کم برطبق معیار آب زیرزمینی بیشتر در بخش غربی حوزه واقع شده‌اند درحالیکه بخش مرکزی و شرقی حوزه بیشتر تحت تاثیر بیابانزایی با شدت متوسط می‌باشند (شکل ۱۰). بطورکلی مقادیر درصد مساحت طبقات شدت بیابانزایی بیانگر آن است که بیابانزایی در محدوده مطالعاتی مسیله از شدت بالاتری برخوردار است بطوریکه در این محدوده درصد طبقه شدید (۸۴/۴۲ درصد) نسبت به دیگر محدوده های مطالعاتی بیشتر می باشد. این درحالیست که نواحی با شدت بیابانزایی کم در این محدوده وجود ندارد. بعد از محدوده مسیله، محدوده‌های مطالعاتی شریف آباد و قم-کهک بدلیل بالاتر بودن درصد مساحت طبقه شدید (۳۱/۳۱ و ۲۶/۳۶ درصد) بیابانزایی، از شدت بالاتری نسبت به دیگر محدوده های مطالعاتی برخوردار می‌باشد. همچنین درصد مناطق با شدت بیابانزایی کم در



شکل ۱۰. نقشه شدت بیابانزایی برطبق معیار آب زیرزمینی مدل IMDPA در حوزه آبخیز دریاچه نمک



جدول ۱۲. درصد مساحت طبقات شدت بیابانزایی بر طبق معیار آب زیرزمینی در محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک

محدوده مطالعاتی	کم	متوسط	شدید	خیلی شدید
ابهر	۸/۴۱	۹۱/۵۸	-	-
اراک	۴۱/۶۶	۵۸/۳۳	-	-
آستانه	۱۰۰	-	-	-
اشتهارد	۱۵/۶۰	۸۰/۱۵	۴/۱۹	۰/۰۳
اوج	۷۰/۷۶	۲۹/۲۳	-	-
بلوک شرا	۸۶/۸۱	۱۳/۱۸	-	-
تفرش	۹۹/۹۷	۰/۰۲۱	-	-
تهران - کرج	۵۵/۷۴	۴۴/۲۵	-	-
خماین	۴۱/۹۹	۵۸	-	-
خمین	۶۰/۶۰	۳۹/۳۸	-	-
دریاچه نمک	۲۸/۰۷	۶۱/۵۶	۱۰/۳۰	۰/۰۵۹
دماوند	۷۴/۲	۲۵/۵۷	-	-
رزن - قهاوند	۶۸/۳۸	۳۱/۷۱	-	-
زرنند ساوه	۹۳/۴	۹۰/۶۵	-	-
ساوه	۱۱/۸۷	۸۶/۷۶	۱/۳۶	-
شازند	۹۹/۴۲	۰/۵۷	-	-
شریف آباد	-	۶۸/۶۸	۳/۳۱	-
قزوین	۲۲/۰۴	۷۷/۹۵	-	-
قطعه ۴ ساوه	۱۰/۲۶	۸۹/۷۳	-	-
قم - کهک	۰/۲۶	۷۳/۳۶	۲۶/۳۶	۰/۰۰۹
قیدار	۵۳/۸۰	۴۶/۱۹	-	-
کاشان	۲/۹۸	۹۸/۰۱	-	-
کبودرآهنگ	۴۳/۵۱	۵۶/۴۸	-	-
کمیجان	۱۶/۸۰	۸۳/۱۹	-	-
گلپایگان	۶۳/۳۹	۳۶/۶۰	-	-
لنگرود	۷۹/۱۸	۲۰/۸۱	-	-
لواسانات	۷۴/۳۴	۲۵/۶۵	-	-
محللات - دلیجان	۲۵/۶۹	۷۴/۳۰	-	-
مسپله	-	۱۵/۰۶	۸۴/۴۲	۰/۵۱
موته	۹۴/۸۲	۵/۱۷	-	-
نوبران	۶۹/۰۴	۳۷/۹۵	-	-
نهرمیان	۱۰۰	-	-	-
نیزار - سلفچگان	۲۳/۸۷	۷۶/۱۲	-	-
ورامین	۶/۰۷	۹۳/۹۲	-	-
هشتگرد	۸۳/۴۹	۱۶/۵۰	-	-
همدان - بهار	۸۸/۶۷	۱۱/۳۲	-	-
کل حوزه	۳۶/۷۸	۶۰/۱۷	۳/۰۲	۰/۰۱۳

جدول ۱۳ درصد مساحت طبقات شدت بیابانزایی بر طبق معیار آب زیرزمینی و فرونشست

در محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز دریاچه نمک

محدوده مطالعاتی	کم	متوسط	شدید	خیلی شدید
اراک	-	۸/۰۷	۲/۷۸	-
اوج	-	۰/۴۹	-	-
تهران - کرج	۷/۴۸	۱/۳۴	-	-
رزن - قهاوند	-	۸/۵۳	۰/۸۵	-
زرنند ساوه	-	۰/۵۷	۲/۵۵	-
ساوه	-	۰/۲۶	-	-
قزوین	-	۱۷/۴۲	۷/۳۷	-
قم - کهک	-	۰/۳۱	-	-
قیدار	-	۲	۰/۹۲	-
کاشان	-	۰/۵۶	۰/۰۸	-
کبودرآهنگ	-	۳/۹۲	۵/۱۶	-
کمیجان	-	۰/۸۵	۳/۳۲	-
گلپایگان	-	۳/۶۹	-	-
نوبران	۰/۸۱	۸/۳۷	-	-
ورامین	۲/۱۱	۵/۲۹	-	-
هشتگرد	-	۴/۴۳	۰/۷۳	-
کل حوزه	۱۰/۵۸	۶۵/۵۷	۲۳/۸۴	-

از آنجایی که توسعه افسار گسیخته کشاورزی منجر به افت شدید سطح آب آبخوان‌های کشور و فرونشست زمین شده است، اتخاذ سیاست‌های پایدار و منطقی در زمینه تولید محصولات کشاورزی تنها راه توسعه پایدار و همه جانبه کشور است.

### نتیجه گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل ایرانی IMDPA همراه با معیار فرونشست زمین که به عنوان یک معیار جدید وارد این مدل شد، حساسیت اراضی حوزه آبخیز دریاچه نمک به بیابانزایی ارزیابی و بررسی گردید. فرونشست زمین غیرقابل برگشت ترین مرحله از بیابان زایی و نشان دهنده عدم مدیریت صحیح در حوزه محیط زیست و آب است. از این منظر حوزه آبخیز دریاچه نمک جزء مناطق بحرانی کشور می‌باشد. نتایج حاصل از تلفیق سه پارامتر معیار آب زیرزمینی مدل IMDPA در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان داد بیش از نیمی از حوزه دارای وضعیت متوسط بیابان‌زایی می‌باشند که می‌تواند ناشی از تاثیر وضعیت ضعیف شاخص نسبت جذب سدیم و وضعیت متوسط شاخص هدایت الکتریکی در بخش قابل توجهی از حوزه باشد. با این وجود تاثیر افت سطح آب زیرزمینی در مناطقی که دارای وضعیت خیلی شدید بیابان‌زایی از منظر شاخص هدایت الکتریکی هستند سبب شده این مناطق بر طبق معیار آب زیرزمینی دارای وضعیت شدید بیابان‌زایی باشند که این شرایط به خوبی در محدوده‌های مطالعاتی مسیله، قم‌کهک و دریاچه نمک قابل تشخیص است. ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی براساس شاخص فرونشست نیز موید آن است که در محدوده‌های مطالعاتی حوزه آبخیز مورد نظر بیابان‌زایی با شدت خیلی شدید و شدید بیشترین سطح را دربرمی‌گیرد. در نهایت بررسی وضعیت بیابان‌زایی براساس دو معیار آب زیرزمینی و فرونشست حکایت از شدت بیابان‌زایی در کل حوزه در سه طبقه کم، متوسط و شدید دارد که بیشترین سطح مربوط به شدت متوسط با مساحت ۶۵/۵۷ درصد و سپس طبقه شدید با مساحت ۲۳/۸۳ درصد می‌باشد. در بین محدوده‌های مطالعاتی، بیابان‌زایی در قزوین، کبودرآهنگ و نوبران نسبت به دیگر محدوده‌ها از شدت بالاتری برخوردار است که دلیل آن تاثیر معیار آب زیرزمینی می‌باشد. بطورکلی نتایج حاصل از ارزیابی شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز دریاچه نمک نشان داد مهمترین عامل در ایجاد شرایط بیابان‌زایی و تخریب سرزمین شوری آب زیرزمینی و افت سطح تراز آب زیرزمینی می‌باشد.

در راستای نتایج حاصل از پژوهش حاضر و بهره‌گیری بیشتر از یافته‌های موجود توصیه می‌شود طول دوره آماری ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی طولانی باشد تا از این طریق روند

ارزیابی شدت بیابان‌زایی از منظر معیار آب زیرزمینی و فرونشست شدت بیابان‌زایی براساس دو معیار آب زیرزمینی که در مرحله قبل تعیین گردید، و معیار فرونشست برای ۱۶ محدوده مطالعاتی دارای نقشه فرونشست ارزیابی گردید. بدین منظور نقشه‌های حاصل از شدت بیابان‌زایی معیار آب زیرزمینی و فرونشست با استفاده از رابطه (۲) روی هم‌گذاری شده و شدت بیابان‌زایی براین اساس بدست آمد. همانطور که مشخص است شدت بیابان‌زایی در کل حوزه برطبق این دو معیار در سه طبقه کم، متوسط و شدید قرار می‌گیرد که بیشترین سطح مربوط به شدت متوسط با مساحت ۶۵/۵۷ درصد و سپس طبقه شدید با مساحت ۲۳/۸۳ درصد می‌باشد. جدول (۱۳) درصد طبقات شدت بیابان‌زایی را براساس دو معیار آب زیرزمینی و فرونشست در محدوده‌های مطالعاتی نسبت به مساحت کل مناطق دارای فرونشست نشان می‌دهد. براین اساس محدوده های قزوین (۷/۳۷ درصد) و سپس کبودرآهنگ (۵/۱۶ درصد) دارای بیشترین درصد مناطق با شدت بیابان‌زایی شدید می‌باشند. همچنین بیابان‌زایی با شدت متوسط نیز در محدوده‌های قزوین و نوبران سطح بیشتری را نسبت به دیگر محدوده‌های مطالعاتی نسبت به کل حوزه شامل می‌شود. بطورکلی براساس درصد مساحت طبقات شدت بیابان‌زایی در هر یک از محدوده‌های مطالعاتی، محدوده‌های قزوین و کبودرآهنگ از شدت بالاتری نسبت به دیگر محدوده‌ها برخوردار هستند. بطوریکه در محدوده قزوین ۷۳/۲۹ درصد و در محدوده کبودرآهنگ ۸۳/۵۶ درصد از کل منطقه در طبقه شدید بیابان‌زایی قرار دارند. همچنین محدوده مطالعاتی تهران-کرج دارای بیشترین درصد مناطق با شدت بیابان‌زایی کم می‌باشد که ۷/۴۸ درصد از کل حوزه را شامل می‌شود. بعد از محدوده مطالعاتی تهران-کرج، محدوده‌های ورامین و نوبران از شدت بیابان‌زایی کمتری نسبت به کل حوزه برخوردار می‌باشند.

نتایج این پژوهش نقش افت آب زیرزمینی و به تبع آن شوری آب و فرونشست زمین را در تخریب سرزمین و بروز پدیده بیابان‌زایی در حوزه آبخیز دریاچه نمک تایید می‌کند. Janbaz Fotamy و همکاران (۲۰۲۰) نیز نشان دادند که میانگین سالانه فرونشست زمین در قزوین ۳۳ میلیمتر بوده و بیشترین فرونشست‌ها در محدوده آبخوان رخ داده است. همچنین تاکید کردند که بیشترین میزان فرونشست مربوط به شمال بوبین زهرا و مرز تاستان است که بیشترین تخلیه آب زیرزمینی و سطح زیر کشت را دارد. در پژوهشی دیگر Wang و همکاران (۲۰۲۲) علت اصلی بیابان زایی در یک منطقه گذار را افت سطح آب های زیرزمینی و شور شدن آن گزارش کرده‌اند و به ارتباط فرآیندهای بیابان‌زایی و شوری اشاره داشتند که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

مناسب در منطقه راهنمایی کند تا با اتخاذ تصمیمات صحیح و مدیریت پایدار زمین، بیابان‌زایی را کنترل و کاهش دهند.

#### سپاسگزاری

پژوهش حاضر بخشی از طرح پژوهشی «مطالعات تخریب خاک و فرونشست تحت تاثیر منابع آب زیرزمینی در دشت های ایران (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دریاچه نمک)» با کد مصوب ۹۸۰۴۳۳-۲۰۰۹-۰۹-۰۲ است. بدینوسیله از مسئولین محترم مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور قدردانی به عمل می‌آید.

بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی مورد بررسی قرار گیرد، همچنین تمامی معیارهای مدل IMDPA جهت ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی بررسی گردد و حتی المقدور پارامترهای معیار خاک در کنار شاخص های کمی و کیفی معیار آب بررسی شود.

نتایج این مطالعه درک بهتری از وقوع فرونشست و افت آب زیرزمینی به عنوان نیروهای محرکه اصلی بیابان زایی را در حوزه آبخیز دریاچه نمک فراهم می کند و همچنین می‌تواند سیاست گذاران را برای اجرای برنامه‌ریزی‌های استراتژیک

#### Reference:

- Abuzaid, A. S., & Abdelatif, A. D. (2022). Assessment of desertification using modified MEDALUS model in the north Nile Delta, Egypt. *Geoderma*, 405, 115400.
- Ahmadi, H. A. S. A. N., Ekhtesasi, M. R., Golkarian, A., & Abrisham, E. (2006). Assessment and mapping of desertification using modified MEDALUS model in Fakhrrabad-Mehriz (Yazd).
- Akbari, M., Neamatollahi, E., & Neamatollahi, P. (2019). Evaluating land suitability for spatial planning in arid regions of eastern Iran using fuzzy logic and multi-criteria analysis. *Ecological indicators*, 98, 587-598.
- Akbari, M., Shalamzari, M.J., Memarian, H., Gholami, A. (2020). Monitoring desertification processes using ecological indicators and providing management programs in arid regions of Iran. *Ecological indicators*, 111, 106011.
- Amighpey, M., Arabi, S., & Talebi, A. (2010). Studying Yazd Subsidence Using InSAR and Precise Leveling. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 20(77), 157-164. doi: 10.22071/gsj.2010.55368. (In Persian)
- Amighpey, M., & Arabi, S. (2024). Studying Land Subsidence in Iran Caused by Groundwater Over Extraction by Preparing the Comprehensive Subsidence Map of the Country. *Iran-Water Resources Research*, 19(5), 145-156. doi: 10.22034/iwrr.2023.186215
- Arami, A., Ownegh, M., & Sheikh, V. (2013). Assessment of desertification risk in semi-arid Agh-Band Region, Golestan Province, Iran. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(17), 1901.
- Bakr, N., Weindorf, D. C., Bahnassy, M. H., & El-Badawi, M. M. (2012). Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators. *Ecological indicators*, 15(1), 271-280.
- Becerril-Pina, R., Mastachi-Loza, C. A., González-Sosa, E., Díaz-Delgado, C., & Bâ, K. M. (2015). Assessing desertification risk in the semi-arid highlands of central Mexico. *Journal of Arid Environments*, 120, 4-13.
- Boali, A.H, Jafari, R., Bashari, H. (2017). Analyzing the Effect of Groundwater Quality on Desertification using Bayesian Belief Networks in Segzi Desertification Hotspot. *Journal of Water and Soil Science*; 21 (3): 205-218. (In Persian).
- Cigna, F., & Tapete, D. (2021). Satellite InSAR survey of structurally-controlled land subsidence due to groundwater exploitation in the Aguascalientes Valley, Mexico. *Remote Sensing of Environment*, 254, 112254.
- Coscarelli, R., Caloiero, T., Minervino, I., & Sorriso-Valvo, M. (2016). Sensitivity to desertification of a high productivity area in Southern Italy. *Journal of Maps*, 12(3), 573-581.
- Dehgan-Soraki, Y., Saha, S.k., Kumari, M. 2013. A MODIFIED POLARIMETRIC DECOMPOSTION FOR APPLICABILTY IN COMPLEXAGRICULTURAL ENVIRONMENT. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XL-1/W3, 2013. SMPR 2013, 5 – 8 October 2013, Tehran, Iran. (In Persian).
- Hédia, C., Mohamed, N., Andrea, V., & Nêjib, R. (2006). Modélisation de la Désertification par l'Adaptation de la Méthode MEDALUS à UN Bassin Versant du Centre de la Tunisie. In 14 th International Soil Conservation Organization Conference. *Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments*. Marrakech, Morocco.
- Hu, R. L., Yue, Z. Q., Wang, L. U., & Wang, S. J. (2004). Review on current status and challenging issues of land subsidence in China. *Engineering Geology*, 76(1-2), 65-77.
- janbaz fotamy, M., Kholghi, M., Abdeh Kolahchi, A., & Roostaei, M. (2020). Land Subsidence Assessment due to Groundwater Exploration by using Differential Radar Interferometry Technique, Case Study: Qazvin province. *Iran-Water Resources Research*, 16(3), 133-147. (In Persian).
- Khosravi, H., Zehtabian, Gh.R. Ahmadi, H., Azarnivand, H., & Ghaiebi, H.Gh. (2014). Hazard Assessment of Desertification as a Result of Soil and Water Recourse Degradation in Kashan Region, Iran. *Desert*, 19(1), 44 - 55. (In Persian). DOI: 10.22059/jdesert.2014.51053. (In Persian).

- Khosroshahi, M. (2017). 'Exacerbation and threats of desertification risk in Iran from the perspective of water', *Iran Nature*, 2(2), pp. 6-13. doi: 10.22092/im.2017.111420. (In Persian).
- Kumar, H., Syed, T. H., Amelung, F., Agrawal, R., & Venkatesh, A. S. (2022). Space-time evolution of land subsidence in the National Capital Region of India using ALOS-1 and Sentinel-1 SAR data: Evidence for groundwater overexploitation. *Journal of Hydrology*, 605, 127329.
- Ladisa, G., Todorovic, M., & Liuzzi, G. T. (2010). Assessment of desertification in semi-arid Mediterranean environments: The case study of Apulia Region (Southern Italy). *Land degradation and desertification: assessment, mitigation and remediation*, 493-516.
- mohamadi, A., karimi, H., hidarizadi, Z. (2017). 'Investigating the Effects of Groundwater Quality on the Desertification in Mehran Plain', *Iranian Water Researches Journal*, 11(2), pp. 21-32. (In Persian)
- Nascimento, C. M., de Sousa Mendes, W., Silvero, N. E. Q., Poppiel, R. R., Sayão, V. M., Dotto, A. C., ... & Demattê, J. A. (2021). Soil degradation index developed by multitemporal remote sensing images, climate variables, terrain and soil attributes. *Journal of environmental management*, 277, 111316.
- Nkonya, E., Mirzabaev, A., von Braun, J. (2016). Economics of land degradation and improvement: An introduction and overview. In P. Nkonya, A. Mirzabaev, J. von Braun (Eds.), *Economics of land degradation and improvement – A global assessment for sustainable development*, (pp. 1–14). [https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-19168-3_1)
- Okin, G.S., Dong, C., Willis, K.S., Gillespie, T.W., MacDonald, G.M. (2018). The Impact of Drought on Native Southern California Vegetation: Remote Sensing Analysis Using MODIS-Derived Time Series. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 123, 1927–1939.
- Qureshi, A.S., McCormick, P.G., Qadir, M. and Z. Aslam, 2008. Managing salinity and water logging in the Indus Basin of Pakistan. *Agricultural Water Management*, 95: 1-10.
- Rasmy, M., Gad, A., Abdelsalam, H., & Siwailam, M. (2010). A dynamic simulation model of desertification in Egypt. *The Egyptian Journal of remote sensing and space science*, 13(2), 101-111.
- Rezaei, A., & Mousavi, Z. (2019). Characterization of land deformation, hydraulic head, and aquifer properties of the Gorgan confined aquifer, Iran, from InSAR observations. *Journal of Hydrology*, 579, 124196.
- Reynolds J.F, Herrick J.E, Huber-Sannwald E. (2008). La sustentabilidad de la producción de la quinua en el Altiplano Sur de Bolivia: Aplicación del paradigma de desarrollo de zonas secas. *Revista Habitat 75*: 10–17.
- Sahadevan, D. K., & Pandey, A. K. (2023). Groundwater over-exploitation driven ground subsidence in the himalayan piedmont zone: Implication for aquifer health due to urbanization. *Journal of Hydrology*, 617, 129085.
- Saleh, I., Khazaei, M., & Naeimi, M. (2023). Desertification intensity affected by groundwater and land subsidence in Maharloo-Bakhtegan watershed. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 171-184. doi: 10.22098/mmws.2022.11906.1187. (In Persian).
- Smith, R., & Li, J. (2021). Modeling elastic and inelastic pumping-induced deformation with incomplete water level records in Parowan Valley, Utah. *Journal of Hydrology*, 601, 126654.
- Wang, X., Li, X., Cai, D., Lou, J., Li, D., & Liu, F. (2021). Salinification and salt transports under aeolian processes in potential desertification regions of China. *Science of the Total Environment*, 782, 146832.
- Wang, Y., Zhao, Y., Yan, L., Deng, W., Zhai, J., Chen, M., & Zhou, F. (2022). Groundwater regulation for coordinated mitigation of salinization and desertification in arid areas. *Agricultural Water Management*, 271, 107758.
- Yaghobi, S., faramarzi, M., karimi, H. (2021). Assessment the Desertification Trend Using The IMDPA Modele With Emphasis on Three Criteria Climate, Water and Geomorphology and Geology (Case Study: Dehloran Plain In Ilam Province). *Degrad Rehabil Nat Land*, 1 (2):1-12. (In Persian).
- Zandifar, S., Dargahian, F., Fijani, E., & Naeimi, M. (2021). The Trend of Groundwater Variations and Drought in the Karkheh Watershed. *Watershed Management Research*, 34(3): 53-73. doi: 10.22092/wmej.2021.343333.1352. (In Persian).