

Desertification intensity affected by groundwater and land subsidence in Maharloo-Bakhtegan watershed

Iman Saleh^{1*} , Majid Khazaei¹ , Maryam Naeimi² 

¹ Assistant Professor, Forests, Rangelands and Watershed Management Research Department, Kohgiluyeh & Boyer-Ahmad Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Yasuj, Iran

² Assistant Professor, Desert Research Department, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Abstract

Introduction

Groundwater, one of the most important sources of water supply, has faced a considerable decrease in quantity and quality in recent decades due to harvesting more than their natural recharge. Over-extraction of groundwater causes subsidence, soil salinity, reduction of the base flow of rivers due to the drying up of springs, the salinity of groundwater, and in a general view, land destruction and the creation and expansion of desert areas. Desertification is one factor that threatens human life, which causes the destruction of natural resources. Therefore, knowledge of desertification processes is important and necessary to reduce the severity of this phenomenon and prevent its spread by providing suitable management solutions and methods. The Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA) is efficient to evaluate the intensity of desertification. In this model, nine key criteria including climate, land-geomorphology, soil, vegetation, economic-social, agricultural water, groundwater, erosion, and urban development technology are considered. According to the reports about the spread of desertification factors in the Maharloo-Bakhtegan watershed located in Fars province, the objective of the present study is to investigate the impact of the water table drop and variations in the groundwater quality and land subsidence in desertification and land degradation as well as to prepare relevant maps in the mentioned watershed.

Materials and Methods

Maharloo-Bakhtegan watershed is one of the closed watersheds of Iran, which is a subcategory of the Central Plateau and has 27 study areas. A zoning map of the risk of water table drop was prepared using the related tables that classify the watershed area into four classes: low, medium, severe and very severe. In the same way, the data of quality degradation indicators of water resources including electrical conductivity (EC) and sodium surface absorption ratio (SAR) were classified; then, EC and SAR zoning layers were prepared. Then, the final desertification intensity map was obtained from the integration of maps of the intensity of qualitative and water table drop of groundwater resources, as well as the land subsidence map as a soil criterion. Finally, the zoning map of desertification intensity was prepared using the final risk classes of desertification.

Results and Discussion

The EC map showed that 37.2% of the watershed is in the low or insignificant class, 24.8% is in the medium class, 9.5% is in a severe class, and 28.5% of the watershed area is in the very severe class. So, it can have a significant effect on increasing the intensity of desertification. However, the zoning map of the SAR showed that more than 99% of the watershed area has a value less than 18 and is placed in the negligible or low class. The zoning of the water table drop also shows that 65.6% of the studied watershed is placed at the low or insignificant class, only 3% is in the medium class, 5.7% is in a severe class, and 25.7% is in the very severe class. The map of different levels of land subsidence showed that more than 97% of the watershed area either has no subsidence or is placed in a low and negligible level. The desertification intensity map also showed that 83% of the watershed area has low and moderate desertification intensity and 17% of the watershed area has severe and very severe desertification intensity. Therefore, the general situation of the watershed is not critical in terms

of the intensity of desertification, but the areas with a moderate degree of destruction are subject to transition to extreme class due to the change of land uses that are expanding today as well as the increase of agricultural areas in the watershed.

Conclusion

The present study was conducted with the aim of investigating the effect of the decrease and change in the quality of underground water and land subsidence in desertification and land degradation in Maharlu-Bakhtegan watershed. The results showed that the electrical conductivity factor of underground water can have a significant effect on the intensity of desertification. On the other hand, land subsidence index was not prioritized in determining the intensity of desertification. Also, the intensity of desertification in a major part of the watershed was in the low and medium classes, and with the change of current uses and the increase of the cultivated area, it is recommended to make the necessary plans to prevent the progress of the intensity of desertification in the mentioned areas. In this direction and considering the role of human activities in the drop of the underground water level, the quality drop of the underground water and finally the subsidence of the land, measures such as the preparation of technical guidelines for the use of underground water, the use of pressurized irrigation systems, the proper implementation of the balancing plan of the Ministry of Energy and the implementation Management plans are recommended to preserve the vegetation of forests and pastures and to modify the cultivation pattern. Also, the zoning maps of indicators and intensity of desertification prepared in this study can be used by experts to prepare the land and provide suggested solutions and apply appropriate management methods with the aim of preventing the expansion and advancement of saline and desert lands. Conducting research in the field of indicators and other factors affecting desertification, such as evaporative formations in the region, the gentle slope of the water table in the plain, the presence of semi-permeable or impermeable layers, the lack of underground water flow from upstream and the infiltration of salty water from salty rivers into the aquifers of the river in the watershed. Maharlu-Bakhtegan is also recommended.

Keywords: Electrical conductivity, IMDPA, Sodium surface absorption ratio, Water table drop

Article Type: Research Article

*Corresponding Author, E-mail: salehiman61@gmail.com

Citation: Saleh, I., Khazaei, M., & Naeimi, M. (2023). Desertification intensity affected by groundwater and land subsidence in Maharloo-Bakhtegan watershed article should be cited here according to the format of the references at the end of this guidelines. *Water and Soil Management and Modeling*, 3(2), 171-184.
DOI: 10.22098/mmws.2022.11906.1187
DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.12.6

Received: 08 December 2022, Received in revised form: 27 December 2022, Accepted: 28 December 2022, Published online: 28 December 2022

Water and Soil Management and Modeling, Year 2023, Vol. 3, No. 2, pp. 171-184

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





شدت بیابان‌زایی تحت تأثیر آب زیرزمینی و فرونشست زمین در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان

ایمان صالح^{۱*}، مجید خزایی^۱، مریم نعیمی^۲

^۱ استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، یاسوج، ایران
^۲ استادیار پژوهشی، بخش تحقیقات بیابان، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

هدف از انجام این مطالعه بررسی میزان تأثیر افت سطح و تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین در بیابان‌زایی و تخریب اراضی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان با استفاده از مدل IMDPA است. بدین منظور، ابتدا لایه اطلاعاتی شاخص‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی شامل افت سطح آب زیرزمینی، هدایت الکتریکی، نسبت جذب سدیم و نیز نقشه فرونشست زمین و طبقه‌بندی آن‌ها به لحاظ خطر بیابان‌زایی تهیه شد. سپس با تلفیق نقشه‌های شدت تخریب کیفی و افت سطح آب زیرزمینی و نیز نقشه فرونشست زمین به‌عنوان معیار خاک با استفاده از میانگین هندسی، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی به‌دست آمد. در نهایت نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی با استفاده از کلاس‌های خطر نهایی بیابان‌زایی با توجه به میانگین هندسی مقادیر کلاس‌های خطر شاخص‌های کمی و کیفی تهیه شد. نقشه هدایت الکتریکی (EC) نشان داد که ۳۷/۲ درصد از حوزه آبخیز در کلاس کم یا ناچیز، ۲۴/۸ درصد در کلاس متوسط، ۹/۵ درصد در کلاس شدید و ۲۸/۵ درصد از مساحت حوزه آبخیز در کلاس بسیار شدید قرار دارند. هم‌چنین نقشه پهنه‌بندی SAR نشان داد که بیش از ۹۹ درصد مساحت حوزه آبخیز دارای ارزش کمتر از ۱۸ است و در طبقه کم یا ناچیز قرار می‌گیرد. پهنه‌بندی افت سطح آب نیز نشان داد که ۶۵/۶ درصد از سطح حوزه آبخیز مطالعه در کلاس کم یا ناچیز، تنها ۳ درصد در کلاس متوسط، ۵/۷ درصد در کلاس شدید و ۲۵/۷ درصد در کلاس بسیار شدید قرار دارد. نقشه سطوح مختلف فرونشست زمین نشان داد که بیش از ۹۷ درصد مساحت حوزه آبخیز یا فاقد فرونشست بوده و یا در سطح پایین و ناچیز قرار گرفته است. در مجموع ۸۳ درصد از سطح حوزه آبخیز دارای شدت بیابان‌زایی کم و متوسط و ۱۷ درصد از آن دارای شدت بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید است. بنابراین شدت بیابان‌زایی در بخش عمده‌ای از حوزه آبخیز در طبقه‌های کم و متوسط قرار گرفت که با تغییر کاربری‌های کنونی و افزایش رو به رشد سطح زیرکشت توصیه می‌شود که از هم اکنون برنامه‌ریزی‌های لازم برای جلوگیری از پیشرفت شدت بیابان‌زایی صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: افت سطح آب زیرزمینی، نسبت جذب سدیم، هدایت الکتریکی، IMDPA

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: salehiman61@gmail.com

استناد: صالح، ایمان، خزایی، مجید، و نعیمی، مریم (۱۴۰۲). شدت بیابان‌زایی تحت تأثیر آب زیرزمینی و فرونشست زمین در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۱۷۱-۱۸۴.

DOI: 10.22098/mmws.2022.11906.1187

DOR: 20.1001.1.27832546.1402.3.2.12.6

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۱۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۰/۰۶، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷، تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۱۰/۰۷



مدل سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۲، دوره ۳، شماره ۲، صفحه ۱۷۱ تا ۱۸۴

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی

۱- مقدمه

آب‌های زیرزمینی به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب، در اثر برداشت بیش از میزان تغذیه طبیعی آن‌ها طی دهه‌های اخیر از نظر کمی و کیفی با کاهش قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو شده‌اند. استان فارس ۸۰ درصد آب مصرفی خود را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌کند، در حالی که این میزان در کشور تقریباً ۵۲ درصد است، به همین دلیل این استان عمدتاً با مشکل بیلان منفی آب زیرزمینی دشت‌ها روبه‌رو شده است (Zehtabian and Esfandiari, 2011). اضافه برداشت آب زیرزمینی موجب بروز پدیده فرونشست، شوری خاک‌ها، کاهش دبی پایه رودخانه‌ها در اثر خشک شدن چشمه‌ها، شوری آب‌های زیرزمینی و در یک نگاه کلی تخریب اراضی و ایجاد و گسترش پهنه‌های بیابانی می‌شود.

بیابان‌زایی یکی از عوامل تهدیدکننده حیات بشری است که موجب تخریب منابع طبیعی می‌شود. از این‌رو آگاهی از فرآیندهای بیابان‌زایی مهم و ضروری است تا بتوان با ارائه راهکارها و روش‌های مدیریتی مناسب، از شدت و گسترش آن کاست. بنا به تعریف یونسکو فرونشست زمین عبارت است از فروریزش و یا نشست سطح زمین که به علل متفاوت در مقیاس بزرگ روی می‌دهد (UNESCO, 1970). به‌طور معمول این اصطلاح برای حرکت قائم رو به پایین به کار می‌رود.

یکی از عوامل زمین‌شناسی مؤثر بر فرونشست، افت شدید آب زیرزمینی است. تمرکز چاه‌های پمپاژ در یک منطقه باعث ایجاد فشردگی دائم در رسوبات ریزدانه و در نتیجه فرونشست زمین در منطقه می‌شود که این مسئله در کشور ما در بسیاری از دشت‌های ایران از جمله دشت کاشمر در استان خراسان رضوی (Lashkaripour et al., 2006)، دشت مشهد (Lashkaripour et al., 2007)، دشت مهاباد اصفهان (Ajallueian and Bahadoran, 1998)، دشت نجف‌آباد اصفهان (Geological Survey & Mineral Exploration of Iran, 2021) و بسیاری از آبخوان‌های دیگر مشاهده می‌شود. این پدیده به بسیاری از سازه‌ها و زیرساخت‌ها در مناطق شهری و حومه آن مثل ساختمان‌ها، خیابان‌ها، پل‌ها، خطوط انتقال نیرو و بزرگراه‌ها آسیب‌های جبران‌ناپذیری می‌رساند و با کاهش تخلخل خاک‌های حاصل‌خیز کشاورزی موجب تخریب آن‌ها می‌شود. به‌علاوه، این پدیده ناهنجاری‌های بسیاری در محیط زیست ایجاد می‌نماید که از آن جمله می‌توان به تغییر در توپوگرافی، خصوصیات هیدرولوژیکی یک منطقه، افزایش درجه سیل‌خیزی و تغییر در جهت و سرعت آب‌های زیرزمینی اشاره کرد.

پژوهش‌های مختلفی در زمینه بیابان‌زایی و ارزیابی آن انجام شده است. برای نمونه، Ekhtesasi and Mohajeri (1996)

روشی را برای طبقه‌بیبان‌زایی در ایران ارائه کردند. در این روش هشت معیار مؤثر در تخریب اراضی یا بیابان‌زایی شامل چهار عامل محیطی و چهار عامل انسانی بررسی شد و نهایتاً شدت فرسایش، تخریب خاک و توان بازگشت‌پذیری و بازسازی اکوسیستم را به روش امتیازدهی ارزیابی کردند. همچنین، Dong et al. (2018) نیز به مدل‌سازی جریان آب زیرزمینی و مشکلات محیط زیستی همراه در زمین‌های پست ساحلی پرداختند. ایشان برای تحقق این هدف، یک مدل سه بعدی برای جریان و یک مدل یک بعدی برای تراکم ایجاد کردند. نتایج حاصل از این مدل‌سازی نشان داد که آبخوان مورد بررسی آن‌ها به موقعیت زمانی یعنی فصل‌ها و مقدار پمپاژ بستگی دارد و در نهایت نیز برای جلوگیری از صدمه‌های فیزیکی، محیط زیستی و اجتماعی و اقتصادی، مقدار پمپاژ مجاز از چاه‌های بهره‌برداری را تعیین کردند. همچنین، به مناطق شمالی نیز اجازه افزایش پمپاژ از چاه‌ها داده شد؛ زیرا فرونشست قابل توجهی در آن ناحیه دیده نشده بود. Sowter et al. (2016) فرونشست حاصل از برداشت بیش از حد آب زیرزمینی در منطقه آیراپاتو مکزیک با استفاده از روش تصاویر راداری را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. در منطقه مذکور، ۱۸ مجموعه فرونشست یافت شد که طول کلی آن‌ها بالغ بر ۲۷ کیلومتر بود و در اثر آن به ۲۰۰ خانه خسارت جدی وارد شده بود. در سال‌های اخیر، نشست زمین در دشت‌های زیادی از نقاط خشک و نیمه‌خشک ایران مرکزی و شرق ایران همراه با افت ممتد سطح آب زیرزمینی در اثر پمپاژ بی‌رویه آب جهت مصارف کشاورزی گزارش شده است. به‌طوری‌که تاکنون طبق گزارش‌های موجود در بیش از ۲۰۰ دشت ایران پدیده فرونشست ناشی از برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی مشاهده شده است. به‌عنوان مثال در استان فارس بیش از ۹۰ درصد از دشت‌های این استان بیلان منفی دارند و بیش از ۸۰ درصد از آن‌ها در حال فرونشست هستند.

Motagh et al. (2017) در بررسی دقیق تغییرات سطحی زمین در سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۲ و ۲۰۰۵ میزان ۹۰ سانتی‌متر فرونشست زمین را در اثر افت ۱۵ متری سطح آب زیرزمینی در دشت مشهد گزارش دادند. همچنین، برداشت‌های پیوسته در یک ایستگاه مجهز به GPS در هشت کیلومتری شمال غرب مشهد ۲۰ سانتی‌متر فرونشست در سال در حد فاصل ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۶ را مشخص کرده است. همچنین، Qu et al. (2017) جابه‌جایی سطح زمین ناشی از فرونشست در ایالت تگزاس را بین ۵ تا ۴۰ میلی‌متر در سال ارزیابی نموده و بین فرونشست و برداشت منابع آب زیرزمینی ارتباط معناداری یافتند. همچنین این محققان تأثیر گسل‌های منطقه در تقویت این پدیده را مؤثر دانستند. Chaussard et al. (2013) نیز رویه منابع آب و فرونشست در

Borna (2021) از بین نه معیار مدل IMDPA دو معیار پوشش گیاهی و اقلیم را به‌منظور بررسی وضعیت بیابان‌زایی شهرستان شادگان مورد استفاده قرار داد و ارزش کمی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه را ۲/۰۲ به‌دست آورد و وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه را متوسط تعیین نمود. Keramatzadeh et al. (2022) نیز پژوهش مشابهی در منطقه جنوب شرق اهواز انجام دادند و ارزش کمی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه را ۱/۹۹ (کلاس متوسط) تعیین کردند. نتایج پژوهش Entezaei Zarch et al. (2022) پس از مقایسه عملکرد دو مدل IMDPA و گلاسود در تخمین شدت تخریب اراضی در دشت بزرگ یزد- اردکان نشان داد که نقشه تولیدی IMDPA به میزان ۸۲ درصد با واقعیت زمینی تطابق داشت در حالی که این میزان برای مدل گلاسود ۶۹ درصد بود.

با توجه به گزارش‌های ارائه شده (Kazemi et al., 2019; Kazemi et al., 2018) در خصوص گسترش عوامل بیابان‌زایی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان واقع در استان فارس، هدف از انجام این مطالعه بررسی شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز اشاره به استفاده از پایه مدل IMDPA و در نظر گرفتن معیار آب زیرزمینی آن و با نوآوری استفاده از شاخص فرونشست زمین در معیار خاک است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز مهارلو-بختگان با کد ۴۳ و مساحت ۳۱۴۸۶/۶ کیلومتر مربع یکی از حوزه آبخیزهای آبریز درجه دو کشور است که بین عرض‌های شمالی ۳۱° ۱۵' - ۲۹° ۰۱' و طول‌های شرقی ۳۱° ۱۵' - ۲۹° ۰۱' واقع شده است. حوزه آبخیز طشک-بختگان و مهارلو با نام اختصاری مهارلو-بختگان یکی از حوزه‌های آبخیز بسته ایران است که در تقسیم‌بندی حوضه آبریز ایران، زیرمجموعه حوضه آبریز فلات مرکزی و دارای ۲۷ محدوده مطالعاتی است. این حوزه آبخیز شامل رودهایی است که به دریاچه طشک، دریاچه بختگان و دریاچه مهارلو منتهی می‌شوند. حوزه آبخیز مهارلو-بختگان تقریباً به‌طور کامل در استان فارس قرار دارد و بخش ناچیزی از آن، در محدوده استان‌های اصفهان و کهگیلویه و بویراحمد است. شیب نسبی حوزه آبخیز از شمال غرب به جنوب شرق است و رودها و مسیل‌های آن به دو چاله اصلی منتهی می‌شوند. نخستین چاله، دریاچه‌های کم‌عمق بختگان و طشک در شرق حوزه آبخیز هستند که به‌وسیله تنگه‌ای به هم مرتبط می‌شوند. مهم‌ترین منبع این دو دریاچه، رودخانه کر است. چاله دوم، دریاچه مهارلو است که در جنوب حوزه آبخیز و در نزدیکی شیراز قرار دارد و

مناطق از کشور اندونزی را به استخراج بی‌رویه منابع هیدروکربنی مانند استخراج گاز مرتبط دانستند. پژوهش‌های مختلفی در خصوص شدت بیابان‌زایی و ارزیابی آن انجام شده است. از جمله روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی می‌توان به مدل‌های FAO-UNEP^۱، MEDALUS^۲، ESA^۳ و IMDPA^۴ اشاره کرد. مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA) با همکاری معاونت امور مراتع و خاک سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران در سال ۱۳۸۴ توسعه یافته است. در این مدل نه معیار کلیدی شامل اقلیم، زمین-ژئومورفولوژی، خاک، پوشش گیاهی، اقتصادی-اجتماعی، آب آبیاری در کشاورزی، آب زیرزمینی، فرسایش و فن‌آوری توسعه شهری به‌عنوان عوامل اصلی و کلیدی بیابان‌زایی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. هر یک از شاخص‌ها و نیز نقشه نهایی بیابان‌زایی در چهار کلاس خطر کم (ناچیز)، خطر متوسط، خطر شدید و خیلی شدید قرار می‌گیرند؛ به این صورت که به هر لایه بر اساس تأثیر آن بر بیابان‌زایی با توجه به بررسی منابع و استناد به کار محققان و با توجه به شرایط منطقه، وزنی بین ۱ تا ۴ داده می‌شود و نحوه وزندهی به صورت برابر است، به‌طوری که ارزش یک بهترین و ارزش چهار بدترین وزن بوده است و هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های خود به‌دست می‌آید (Ahmadi, 2005).

در زمینه کاربرد مدل IMDPA، Shokoohi et al. (2013) با تأکید بر معیار آب و خاک به بررسی وضعیت بیابان‌زایی در دشت یزد پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه در طبقه متوسط قرار دارد. همچنین، Zolfaghari and Khosravi (2016) با استفاده از روش IMDPA، حساسیت اراضی دشت سیستان به بیابان‌زایی را مورد ارزیابی قرار دادند. برای این منظور پس از بررسی و ارزیابی‌های اولیه، چهار معیار اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی به‌عنوان مهم‌ترین معیارهای مؤثر در بیابان‌زایی منطقه در نظر گرفته و ارزش‌دهی شدند. نتایج به‌دست آمده از این ارزیابی نشان داد که ۵۱/۰۹ درصد منطقه از نظر درجه بیابان‌زایی در کلاس متوسط و ۴۵/۰۹ درصد آن در کلاس شدید قرار دارد و ۳/۸۲ درصد منطقه که شامل مناطق مسکونی بود در هیچ کلاسی قرار نگرفت. در پژوهش دیگری که توسط Masoudi and Shirgir (2021) به انجام رسید، قابلیت مدل IMDPA در تعیین فرسایش بادی و آبی تأیید شد.

¹Food and Agriculture Organization- United Nation Environment Program

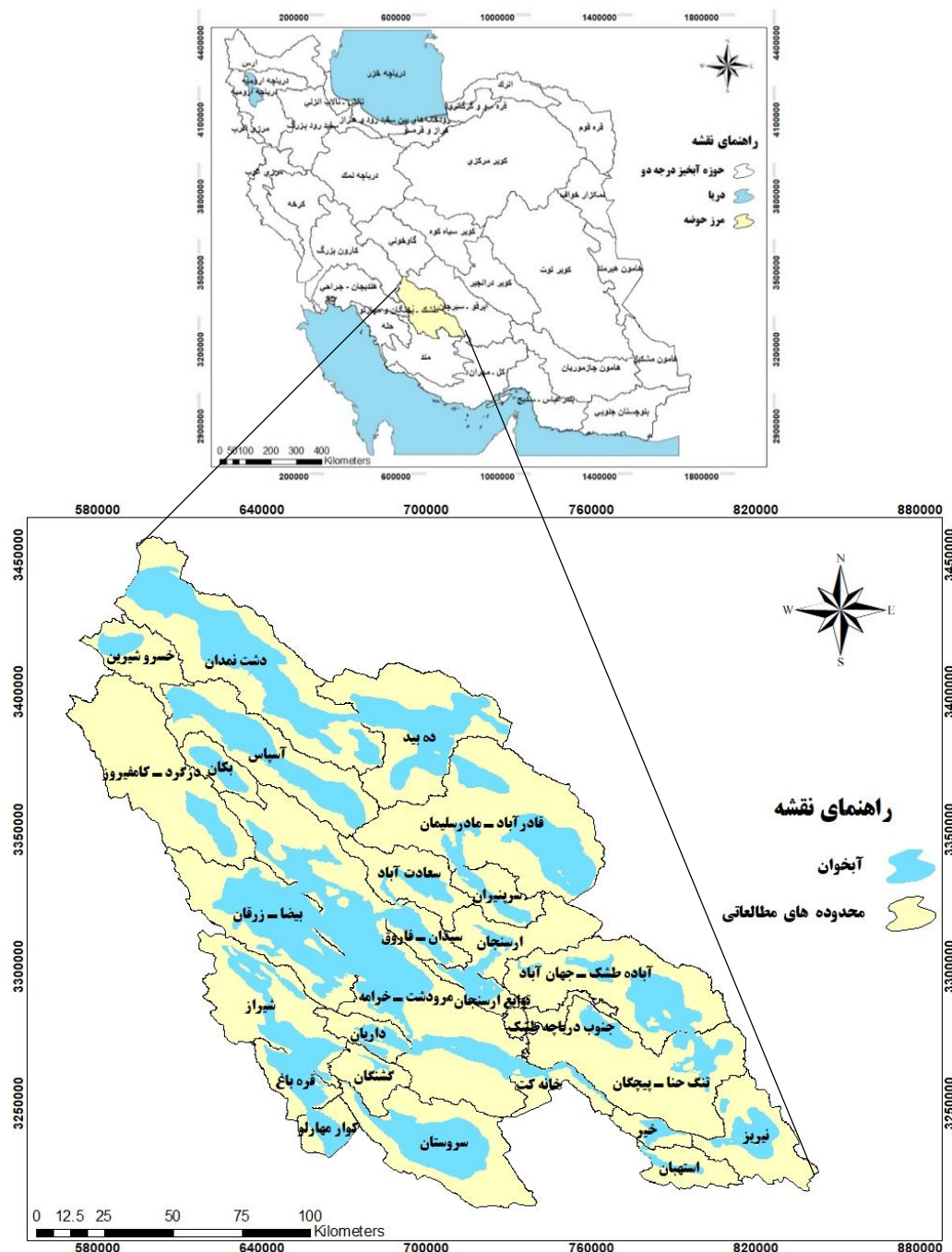
² Mediterranean Desertification and Land Use

³ Environmentally Sensitive Areas

⁴ Iranian Model of Desertification Potential Assessment

معادل ۱۴۰۲۸/۵۹ (حدود ۴۴/۵۵ درصد) است. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز مهارلو-بختگان را در بین حوضه‌های آبریز ایران نشان می‌دهد.

محل تخلیه آب‌های سطحی و زیرزمینی زیرحوزه آبخیز خود است. مساحت ارتفاعات حوزه آبخیز مهارلو-بختگان بالغ بر ۱۷۴۵۸/۰۱ (معادل ۵۵/۴۵ درصد) و مساحت دشت‌های آن



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز مهارلو-بختگان و آبخوان‌های موجود در آن
Figure 1- Location of Maharloo-Bakhtegan watershed and its aquifers

نمدان، بیضا-زرقان، دزکرد-کامفیروز، خسروشیرین، آسپاس، بکان، شیراز، قره‌باغ، کوار مهارلو، سروستان و گشنگان. ۶۵۶ منبع آب زیرزمینی کیفی شامل قنات، چشمه، چاه عمیق و نیمه‌عمیق موجود است که به‌دلیل استفاده از آخرین نقشه فرونشست تهیه

در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان در ۲۷ محدوده مطالعاتی: توابع ارسنجان، ارسنجان، سیدان-فاروق، آباد طشک-جهان‌آباد، خانه کت، خیر، استهبان، نیریز، تنگ حنا-پیچگان، مروودشت-خرامه، داریان، سعادت آباد، قادرآباد-مادرسلیمان، ده بید، دشت

پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی اشاره شده، کلاس‌های خطر بیابانزایی هر شاخص مطابق جدول‌های ۱ و ۲ تعیین شد. در نهایت از میانگین‌گیری هندسی نقشه‌های شدت تخریب کیفی و شدت تخریب کمی منابع آب زیرزمینی و نیز نقشه فرونشست زمین به عنوان معیار خاک، نقشه نهایی شدت بیابانزایی به دست آمد و سپس نقشه پهنه‌بندی شدت بیابانزایی با استفاده از کلاس‌های خطر نهایی بیابانزایی با توجه به میانگین هندسی مقادیر کلاس‌های خطر شاخص‌های کمی و کیفی طبق طبقه‌بندی جدول ۳ تهیه شد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- معیار آب زیرزمینی

شکل‌های ۲، ۳ و ۴ به ترتیب وضعیت شاخص‌های هدایت الکتریکی، SAR و افت سطح آب زیرزمینی در سطح حوزه آبخیز مهارلو-بختگان را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود شاخص هدایت الکتریکی با حرکت به سمت جنوب حوزه آبخیز افزایش یافته؛ به طوری که بخش عمده‌ای از جنوب و جنوب شرق حوزه آبخیز در کلاس ۴ یا خیلی شدید قرار گرفته است. به طور کلی ۳۷/۲ درصد از سطح حوزه آبخیز در طبقه کم یا ناچیز، ۲۴/۸ درصد در طبقه متوسط، ۹/۵ درصد در طبقه شدید و ۲۸/۵ درصد از سطح حوزه آبخیز در طبقه خیلی شدید قرار دارد که می‌تواند تأثیر قابل توجهی در افزایش شدت بیابانزایی داشته باشد. در این زمینه، (Abdi (2007 و Shokoohi et al. (2013 به ترتیب با بررسی وضعیت بیابانزایی مناطق ابوزیاد استان اصفهان و خضرآباد-اله آباد استان یزد بر اساس مدل IMDPA با تأکید بر معیارهای آب و خاک به نتایج مشابهی دست یافتند و شاخص هدایت الکتریکی را دارای تأثیر قابل توجهی در تخریب منابع آب زیرزمینی و بیابانزایی دانسته‌اند.

پهنه‌بندی شاخص SAR نشان از وضعیت مناسب حوزه آبخیز دارد (شکل ۳)، به طوری که بیش از ۹۹ درصد سطح حوزه آبخیز دارای نسبت جذب سدیم کم‌تر از ۱۸ است و در طبقه ناچیز یا کم قرار می‌گیرد. بنابراین، این شاخص نمی‌تواند نقش مؤثری در تعیین شدت بیابانزایی در حوزه آبخیز مطالعه داشته باشد و سبب کم‌تر نشان دادن شدت بیابانزایی می‌شود. به همین دلیل این شاخص در تهیه نقشه نهایی در نظر گرفته نشد که با نتایج (Maroufpoor et al. (2016 هم‌خوانی دارد. در پژوهش مورد اشاره نیز میزان SAR در طبقه ناچیز و کم قرار گرفت و از تهیه نقشه پهنه‌بندی آن صرف‌نظر شد. پهنه‌بندی میزان افت سطح آب زیرزمینی نیز نشان می‌دهد که ۶۵/۶ درصد از سطح حوزه آبخیز مطالعه در طبقه کم یا ناچیز، تنها سه درصد در طبقه متوسط، ۵/۷ درصد در طبقه شدید و ۲۵/۷ درصد در طبقه خیلی

شدید در سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۹۵)، از میانگین داده‌های کمی و کیفی مربوط به سال‌های آبی ۹۴-۹۵ و ۹۵-۹۶ استفاده شد.

همان‌طور که ذکر شد، در این پژوهش ارزیابی پتانسیل بیابانزایی در حوزه آبخیز مطالعه در قالب مدل IMDPA انجام شده است. در این مدل هر یک از این شاخص‌های مورد مطالعه که در این پژوهش شامل شاخص‌های کمی و کیفی آب زیرزمینی (EC، SAR و افت سطح آب زیرزمینی) و شاخص فرونشست است، در چهار کلاس خطر کم، خطر متوسط، خطر شدید و بسیار شدید مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

۳-۲- ارزیابی کمی و کیفی منابع آب زیرزمینی

یکی از قابلیت‌های مدل IMDPA توانایی ارزیابی منطقه با تعداد شاخص محدود است. در این مدل می‌توان با توجه به شرایط، شاخص‌هایی را انتخاب و شدت بیابانزایی را ارزیابی کرد. به منظور ارزیابی کمی منابع آب زیرزمینی، داده‌های مربوط به مقادیر میانگین سطح آب‌های زیرزمینی مربوط به سال‌های آبی ۹۴-۹۵ و ۹۵-۹۶ در ۲۷ آبخوان موجود در منطقه از شرکت آب منطقه‌ای استان فارس تهیه شد. سپس با اطلاعات به دست آمده از میزان افت سطح آب‌های زیرزمینی منطقه با روش درونیابی وزن‌دهی معکوس فاصله (IDW) در محیط نرم‌افزار ArcMap 10.4 لایه اطلاعاتی ایجاد شد و پس از آن با استفاده از روش تبیین و طبقه‌بندی ارایه شده در جدول ۱، نقشه پهنه‌بندی خطر افت سطح آب زیرزمینی تهیه شد. به همین ترتیب، داده‌های شاخص‌های تخریب کیفی منابع آب شامل هدایت الکتریکی (EC) و نسبت جذب سطحی سدیم (SAR) طبقه‌بندی و پهنه‌بندی هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم صورت گرفت. شاخص هدایت الکتریکی نمایان‌گر میزان املاح کاتیونی و آنیونی محلول موجود در آب است. هر چه میزان هدایت الکتریکی یک نمونه آب بیشتر باشد، کیفیت آب نامطلوب‌تر است. شاخص هدایت الکتریکی برحسب میکرو زیمنس بر متر در ۲۵ درجه سانتی‌گراد محاسبه می‌شود (Dolatsahi, 2007). نسبت جذب سدیم نیز عبارت است از میزان سدیم به جذر مجموع مقادیر کلسیم و منیزیم موجود در آب برحسب میلی‌اکی والان در لیتر که از رابطه (۱) به دست می‌آید (Baybordi and Kuhestani, 1980).

$$SAR = \frac{Na}{\sqrt{(Ca+Mg)/2}} \quad (1)$$

۳-۲- ارزیابی شدت بیابانزایی

⁵ Inverse Distance Weighting

شدید به لحاظ وضعیت بالفعل بیابان زایی قرار می گیرد (شکل ۴).
 Haghgoo et al. (2017) و Fatahi et al. (2017) نیز نتایج مشابهی در خصوص ایجاد محدودیت توسط افت سطح آب زیرزمینی در بیابان زایی به دست آوردند. علی رغم این که مهم ترین عامل شوری آب های زیرزمینی، افت سطح ایستابی است، اما شکل های ۲ و ۴ نشان دهنده هدایت الکتریکی و نسبت جذب سدیم بالای آب زیرزمینی در برخی نواحی هستند که افت سطح ایستابی کم و متوسطی داشته اند و بالعکس. بنابراین، میزان

هدایت الکتریکی منطقه می تواند تحت تأثیر عوامل دیگری نظیر سازندهای تبخیری در منطقه، شیب ملایم سطح ایستابی در دشت، وجود لایه های نیمه تراوا یا ناتراوا، کمبود جریان آب زیرزمینی از بالادست و نفوذ آب شور از رودخانه های شور به سفره های حاشیه رودخانه باشند (Asghari-Moghadam, 2000) که مقتضی است در پژوهش های آتی مورد بررسی قرار گیرند.

جدول ۱- طبقه بندی شاخص های کیفی و کمی معیار آب زیرزمینی (Ahmadi, 2005)

Table 1 - Classification of qualitative and quantitative indicators of groundwater criteria

وضعیت بالفعل بیابان زایی				شاخص	معیار آب زیرزمینی
4 (خیلی شدید)	3 (شدید)	2 (متوسط)	1 (کم)		
>5000	2250-5000	750-2250	<750	هدایت الکتریکی (میکروموس بر سانتی متر)	کیفیت آب زیرزمینی
>32	26-32	18-26	<18	SAR	
>50	30-50	20-30	<20	افت آب زیرزمینی (سانتی متر در سال)	کمیت آب زیرزمینی

جدول ۲- معیار خاک (RIFR, 2022)

Table 2 - Classification of soil criterion

وضعیت بالفعل بیابان زایی				شاخص
4 (خیلی شدید)	3 (شدید)	2 (متوسط)	1 (کم)	
> -12	-10 - -11.99	-7 - -9.99	< -6.99	فرونشست (سانتی متر در سال)

جدول ۳- جدول نهایی ارزیابی بیابان زایی بر اساس مدل IMDPA (Ahmadi, 2005)

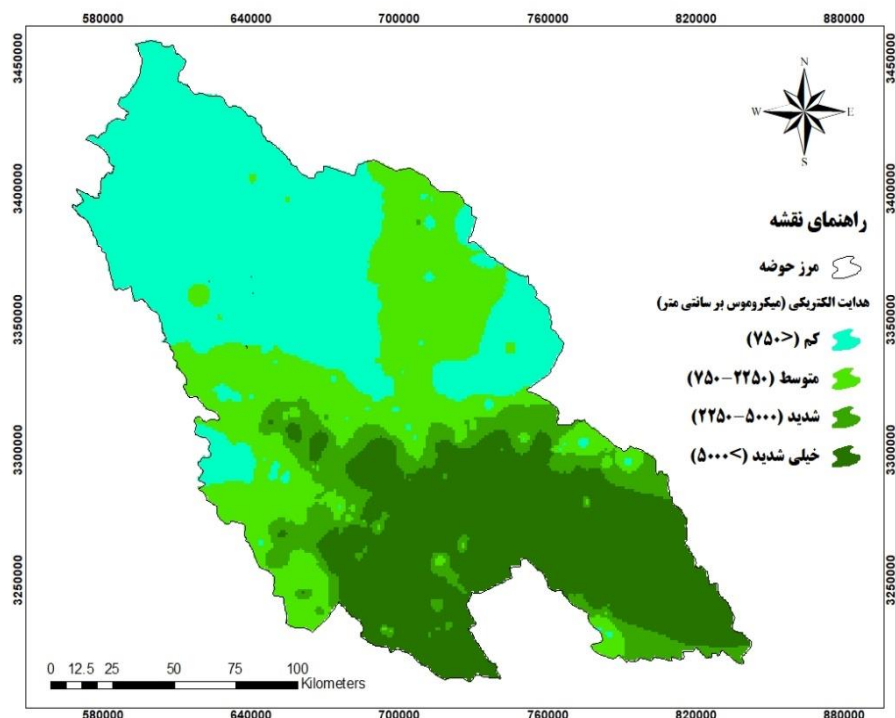
Table 3- The final table of desertification evaluation based on the IMDPA model (Ahmadi, 2005)

دامنه ارزش عددی	وضعیت بالفعل	طبقه
0 – 1.5	کم	1
1.6 – 2.5	متوسط	2
2.6 – 3.5	شدید	3
3.6 - 4	خیلی شدید	4

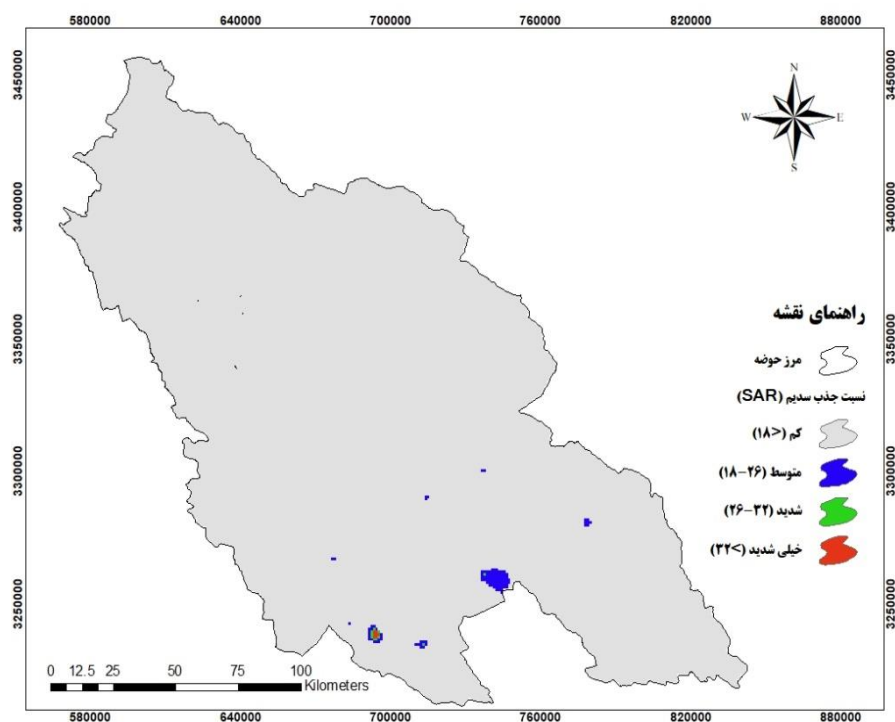
۳-۲- معیار خاک

شکل ۵ نشان دهنده طبقات مختلف فرونشست زمین را در سطح حوزه آبخیز مهارلو-بختگان در بازه زمانی تنش آبی (از مرداد تا آذر ۱۳۹۵) است. در این شکل مشاهده می شود که بیش از ۹۷ درصد سطح حوزه آبخیز یا فرونشست ندارد و یا در طبقه کم و ناچیز قرار می گیرد. بیش ترین میزان فرونشست در محدوده های مرودشت-خرامه و بیضا-زرقان رخ داده است. نکته قابل توجه این که حداکثر افت سطح آب زیرزمینی مربوط به محدوده های مورد اشاره نیست که با نتایج به دست آمده توسط Moghimi et al. (2021) در تضاد است. این محققان بیان کردند که علت

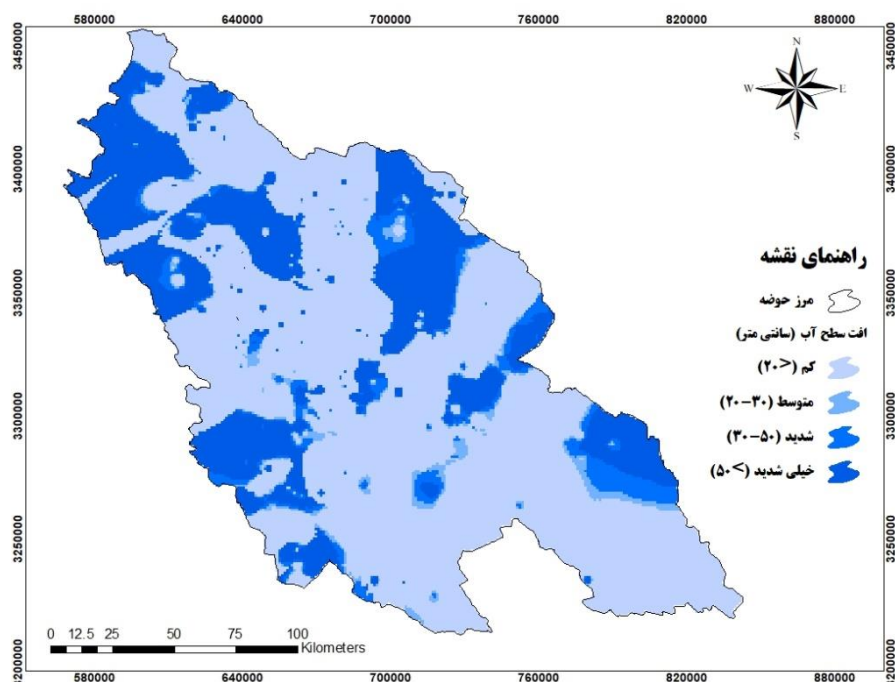
فرونشست بین رودخانه های شهرچای تا باراندوز چای به سمت دریاچه ارومیه افت شدید سطح ایستابی (برداشت های بی رویه) و فشردگی رسوبات دانه ریز است. نتیجه به دست آمده در پژوهش حاضر بیان گر این است که فرونشست زمین در مناطق یاد شده می تواند متأثر از عوامل دیگری نظیر هدررفت میزان زیاد آب زیرزمینی، شیوه های نادرست کشاورزی و حفر تونل باشد. نکته دیگر این که با این نتیجه می توان گفت که شاخص فرونشست اراضی در بررسی شدت بیابان زایی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان نمی تواند در اولویت باشد.



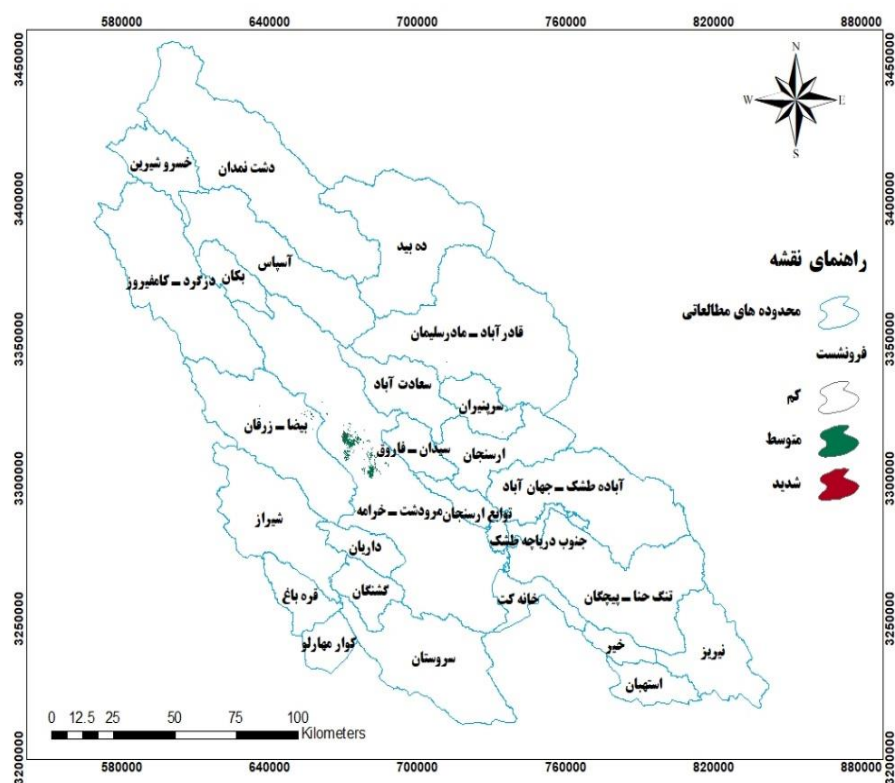
شکل ۲- پهنه‌بندی هدایت الکتریکی آب زیرزمینی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان
Figure 2- Zoning groundwater electrical conductivity in Maharloo-Bakhtegan watershed



شکل ۳- پهنه‌بندی نسبت جذب سدیم (SAR) آب زیرزمینی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان
Figure 3- Zoning groundwater SAR in Maharloo-Bakhtegan watershed



شکل ۴- پهنه‌بندی افت سطح آب زیرزمینی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان
Figure 4- Zoning water table drop in Maharloo-Bakhtegan watershed



شکل ۵- پهنه‌بندی فرونشست زمین در سال ۱۳۹۵ در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان
Figure 5- Zoning subsidence in Maharloo-Bakhtegan watershed, 2016

زیرزمینی و نیز نقشه فرونشست است. همان‌طور که در شکل نیز مشاهده می‌شود، بخش‌هایی از محدوده‌های آباده طشک-جهان‌آباد، تنگ حنا-پیچگان، مروودشت-خرامه، ارسنجان و کوار

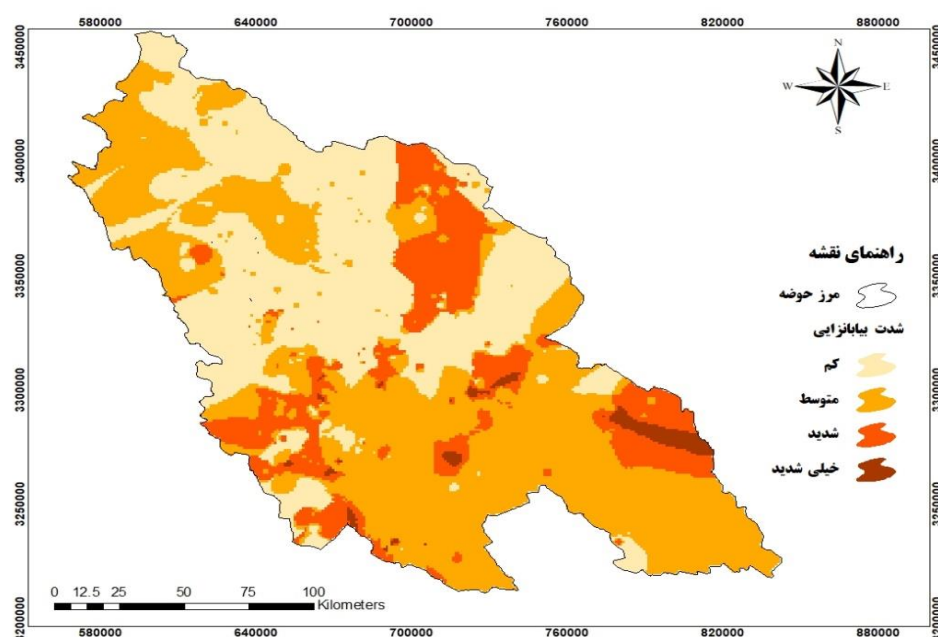
۳-۳- شدت بیابان‌زایی

شکل ۶ نشان‌دهنده نقشه پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی پس از تلفیق لایه‌های شدت تخریب کیفی و شدت تخریب کمی منابع آب

شدت بیابان‌زایی شدید و خیلی شدید است. بنابراین، وضعیت کلی حوزه آبخیز به لحاظ شدت بیابان‌زایی حاد نیست، اما با توجه به تغییر کاربری‌های اراضی که امروزه بسیار در حال گسترش هستند و نیز افزایش سطح زیرکشت در حوزه آبخیز، نواحی که شدت تخریب متوسط دارند و میزان آن نیز کم نیست (۴۷ درصد از سطح کل حوزه آبخیز)، با توجه به رشد روزافزون سطح زیر کشت و تغییر کاربری اراضی، در معرض انتقال به طبقه شدید هستند. از این رو باید به‌منظور جلوگیری از رخ دادن این اتفاق، برنامه‌ریزی و راهبردهای مقتضی در مناطق مورد اشاره اتخاذ شوند.

مهارلو در طبقه بیابان‌زایی بسیار شدید قرار دارد. مقایسه نقشه‌های به‌دست آمده نشان می‌دهد که شاخص هدایت الکتریکی بیش‌ترین انطباق را در مقایسه با دیگر شاخص‌های مورد مطالعه با شدت بیابان‌زایی دارد. بنابراین، می‌توان گفت که هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی مهم‌ترین نقش را در تعیین شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان دارد.

به‌طور کلی ۳۶ درصد از سطح حوزه آبخیز در طبقه کم یا ناچیز، ۴۷ درصد در طبقه متوسط، ۱۵/۵ درصد در طبقه شدید و ۱/۵ درصد در طبقه خیلی شدید به لحاظ شدت بیابان‌زایی قرار دارند. در مجموع ۸۳ درصد از سطح حوزه آبخیز دارای شدت بیابان‌زایی کم و متوسط و ۱۷ درصد از سطح حوزه آبخیز دارای



شکل ۶- پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در حوزه آبخیز مهارلو-بختگان
Figure 6- Zoning of desertification intensity in Maharloo-Bakhtegan watershed

و با توجه به نقش فعالیت‌های انسانی در افت سطح آب زیرزمینی، افت کیفی آب‌های زیرزمینی و نهایتاً فرونشست اراضی، اقداماتی نظیر تهیه دستورالعمل فنی استفاده از آب‌های زیرزمینی، استفاده از سامانه‌های آبیاری تحت فشار، اجرای شایسته طرح تعادل‌بخشی وزارت نیرو و اجرای برنامه‌های مدیریتی جهت حفظ پوشش گیاهی جنگل‌ها و مراتع و نیز اصلاح الگوی کشت توصیه می‌شود. هم‌چنین، نقشه‌های پهنه‌بندی شاخص‌ها و شدت بیابان‌زایی تهیه شده در این مطالعه نیز قابلیت استفاده توسط کارشناسان جهت آمایش سرزمین و ارائه راهکارهای پیشنهادی و اعمال روش‌های مدیریتی مناسب با هدف جلوگیری از گسترش و پیش‌روی اراضی شور و بیابانی را دارند. انجام پژوهش در زمینه شاخص‌ها و عوامل دیگر مؤثر بر

۴- نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی میزان اثر افت و تغییر کیفیت آب‌های زیرزمینی و فرونشست زمین در بیابان‌زایی و تخریب اراضی حوزه آبخیز مهارلو-بختگان انجام شد. نتایج نشان داد که عامل هدایت الکتریکی آب زیرزمینی می‌تواند تأثیر قابل توجهی در شدت بیابان‌زایی داشته باشد. از طرف دیگر، شاخص فرونشست اراضی در تعیین شدت بیابان‌زایی در اولویت قرار نگرفت. هم‌چنین، شدت بیابان‌زایی در بخش عمده‌ای از حوزه آبخیز در طبقه‌های کم و متوسط قرار گرفت که با تغییر کاربری‌های کنونی و افزایش سطح زیرکشت توصیه می‌شود که از هم‌اکنون برنامه‌ریزی‌های لازم جهت جلوگیری از پیشرفت شدت بیابان‌زایی در نواحی اشاره شده، صورت گیرد. در این راستا

این مقاله برگرفته از بخشی از نتایج طرح پژوهشی با کد مصوب ۹۹۰۵۴۳-۹۹۰۲۵-۹۹۰۳۰-۰۹-۰۹-۰۱ در سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی (تات) است و بدین وسیله از مسئولین محترم پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، مؤسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کهگیلویه و بویراحمد، سرکار خانم ها دکتر سکینه لطفی نسب و سمیرا زندی فر و جناب آقای دکتر عادل جلیلی قدردانی به عمل می آید.

سپاسگزاری

منابع

- آل شیخ، علی اصغر، چترسیماب، زهرا، وثوقی، بهزاد، مدیری، مهدی، و پاکدامن، محمدصادق (۱۴۰۱). بررسی فرونشست سطح زمین در اثر برداشت بی رویه آب زیرزمینی با استفاده از تکنیک تداخل سنجی راداری-آبخیزان مرودشت. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۴(۱)، ۱۱۴-۱۲۵. doi:10.22092/ijwmse.2018.116621.1400
- اجل لوثیان، ر. و بهادران، ب. (۱۳۷۷). ارتباط نوسانات آب های زیرزمینی با زمین لغزش، نشست و ترک های سطحی زمین (بررسی موارد عینی). دومین همایش انجمن زمین شناسی ایران، انجمن زمین شناسی ایران، ۲۵-۳۷.
- اختصاصی، محمدرضا، و مهاجری، سعید (۱۳۷۵). روش طبقه بندی و شدت بیابان زائی اراضی در ایران. دومین همایش ملی بیابان زایی و روش های مختلف بیابان زدایی، موسسه تحقیقات جنگل ها و مراتع کشور.
- احمدی، ح. (۱۳۸۴). گزارش نهایی طرح تدوین شرح خدمات جامع و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص های ارزیابی بیابان زایی در ایران. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ۱۲۵ صفحه.
- اصغری مقدم، اصغر (۱۳۷۹). بررسی علل شوری آب های زیرزمینی سفره های دشت تبریز. چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، دانشگاه تبریز.
- انتظاری زارچ، احمد، احمدی، حسن، معینی، ابوالفضل، و پذیرا، ابراهیم (۱۴۰۱). ارزیابی تخریب اراضی با بهره گیری از مدل های خاک و بیابان زایی مبتنی بر مطالعات میدانی و داده های عددی. مدیریت بیابان، ۱۰(۴)، ۲۰-۱. doi:10.22034/jdmal.2022.562179.1396
- بایبوردی، محمد، و کوهستانی، ابراهیم (۱۳۵۹). خاک: تشکیل و طبقه بندی. انتشارات دانشگاه تهران، ۶۳۰ صفحه.
- برنا، رضا (۱۴۰۰). تحلیل وضعیت بیابان زایی با استفاده از مدل IMDPA با رویکرد تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان شادگان). پژوهش های تغییرات آب و هوایی، ۲(۶)، ۱۹-۳۰.
- حقگو، کامران، رستمی، نورالدین، حشمتی، مسیب، و فرامرزی، مرزبان (۱۳۹۶). بررسی وضعیت بیابان زایی با استفاده از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان زایی (مطالعه موردی: دشت گندمیان، قصر شیرین). جغرافیا و پایداری محیط، ۲۲، ۲۱-۳۳.
- دولت شاهی، ر. (۱۳۸۶). تهیه نقشه شدت بیابان زایی بر اساس مدل IMDPA با تأکید بر سه معیار آب، خاک و پوشش گیاهی (مطالعه موردی جنوب گرمسار). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- ذوالفقاری، فرهاد، و خسروی، حسن (۱۳۹۵). ارزیابی شدت بیابان زایی منطقه سراوان با استفاده از مدل IMDPA. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۷(۲)، ۸۷-۱۰۲. doi:10.22108/gep.2016.21817
- رهنما، ج. و فیروزان، م. (۱۳۸۱). بررسی تأثیرات پدیده متناوب خشکسالی و فرسایش، بر ساختمان ها در پهن دشت سیستان. نشریه ژئوتکنیک و مقاومت مصالح، ۸۸، ۳۰-۳۹.
- زهبائیان، غلامرضا، و اسفندیاری، مطهره (۱۳۸۹). بررسی اثرات توسعه کشاورزی و بهره برداری از منابع آب زیرزمینی در بیابان زایی منطقه طشک (استان فارس). خشکسایم، ۱(۲)، ۸-۱. doi:10.1001.1.2008790.1389.1.2.1.7
- سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۴۰۰). فرونشست زمین، بمب ساعتی اصفهان.
- شکوهی، الهام السادات، زهبائیان، غلامرضا، و طویلی، علی (۱۳۹۱). پهنه بندی وضعیت بیابان زایی منطقه خضرآباد-اله آباد دشت یزد با استفاده از مدل IMDPA و با تأکید بر معیارهای آب و خاک. مرتع و آبخیزداری، ۶۵ (۴)، ۵۱۷-۵۲۸. doi:10.22059/jrwm.2012.32050.528
- عبدی، ژاله (۱۳۸۶). بررسی و تهیه نقشه بیابان زایی بر اساس مدل IMDPA با تأکید بر دو معیار آب و خاک (ابوزیدآباد). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- کاظمی، محسن، فیض نیا، سادات، خسروی، حسن، و مصباح، حمید (۱۳۹۶). بررسی نقش عوامل هواشناسی و برداشت بی رویه آب های زیرزمینی بر کاهش سطح آب دریاچه مهارلو. هواشناسی کشاورزی، ۵(۲)، ۱۰-۱. doi:10.22125/agmj.2018.59704
- کاظمی، محسن، فیض نیا، سادات، خسروی، حسن، ناجی، صادق، و مصباح، حمید (۱۳۹۸). بررسی تغییرات سطح دریاچه مهارلو و کاربری اراضی حاشیه آن با استفاده از تصاویر ماهواره ای. مهندسی و مدیریت آبخیز، ۱۱(۴)، ۱۱۳۹-۱۱۳۰. doi:10.22092/ijwmse.2018.102413.1057
- کرامت زاده، مژده، فتحی، احمد، و معاضد، هادی (۱۴۰۱). بررسی روند بیابان زایی منطقه جنوب شرق اهواز به روش IMDPA و تأکید

معروف‌پور، سامان، فاخری‌فرد، احمد، و شیرینی، جلال (۱۳۹۷). تحلیل و پهنه‌بندی شدت تخریب بیابان‌زایی با استفاده از مدل بیابان‌زایی IMDPA و خوشه‌بندی (مطالعه موردی: دشت بزم‌رامشیر و رحمت‌آباد). اکوهیدرولوژی، ۵(۱)، ۱۲۳-۱۳۴. doi:10.22059/ije.2017.231963.568

مقیم، همایون، عباس نوین‌پور، اسفندیار، و مرشدی، بهمن (۱۴۰۰). بررسی پدیده نشست زمین بر اثر افت سطح آب‌های زیرزمینی در محدوده شهر ارومیه با استفاده از تغییرات دانه‌بندی لایه‌های زمین. اکوهیدرولوژی، ۸(۳)، ۷۹۱-۸۰۶. doi:10.22059/ije.2021.324347.1510

مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع (۱۴۰۱). مطالعات جامع تخریب خاک و فرونشست تحت تأثیر منابع آب زیرزمینی در دشت‌های ایران. گزارش نهایی طرح ملی پژوهشی.

بر دو معیار اقلیم و پوشش گیاهی. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۵(۱)، ۱۵۳-۱۶۶. doi:10.22055/jise.2021.37216.1968

لشکری‌پور، غلامرضا، غفوری، محمد، باقرپور، احمد، و طالبیان، سیده لیلا (۱۳۸۶). تأثیر افت سطح آب زیرزمینی در نشست زمین. اولین کنگره زمین‌شناسی کاربردی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد، ۹۱۶-۹۲۲.

لشکری‌پور، غلامرضا، رستمی بارانی، حمیدرضا، کهندل، اصغر، و ترشیزی، حسن (۱۳۸۵). افت سطح آب زیرزمینی و نشست زمین در دشت کاشمر، دهمین همایش علوم زمین، دانشگاه تربیت مدرس، ۲۴۲۸-۲۴۳۸.

مسعودی، مسعود، و شیرگیر، سمیه (۱۴۰۰). ارزیابی کارایی مدل بیابان‌زایی IMDPA در تعیین فرسایش‌های آبی و بادی. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، ۱۲(۲۳)، ۱۲-۲۵.

References

- Abdi, J. (2007). Investigation and preparation of desertification intensity map based on IMDPA model with emphasis on two criteria of water and soil in Abu Zaidabad. M.Sc. Thesis, University of Tehran, Iran. [In Presian]
- Ahmadi, H. (2005). Determination plan of desertification criteria and indicators in Iran. Final report of research project, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, 125 pages. [In Presian]
- Ajallueian, R., & Bahadoran, B. (1998). Correlation of groundwater fluctuations with landslides, subsidence, and cracks on the surface of the earth (investigation of objective cases). Proceedings of the 2nd Conference of the Geological Society of Iran, Pp. 25-37. [In Presian]
- Alesheikh, A., Chatrsimab, Z., Vosoghi, B., Modiri, M., & Pakdaman, M.S. (2022). Surveying subsurface abandonment due to groundwater irregular removal using radar interferometry technique, Marvdasht Aquifer. *Watershed Engineering and Management*, 14(1), 114-125. doi:10.22092/ijwmse.2018.116621.1400 [In Persian]
- Asghari-Moghadam, A. (2000). Investigating the causes of groundwater salinity in Tabriz plain aquifers. 4th Conference of Geological Society of Iran, University of Tabriz, Iran. [In Presian]
- Baybordi, M., & Kuhestani, A. (1980). *Soil; Formation and Classification*. Tehran Uniuersity Press, 630 pages. [In Presian]
- Borna, R. (2021). Analysis of desertification use imdpa model with emphasis on climate and vegetation criteria (Case study: Shadegan Town). *Climate Change Research*, 2(6), 19-30. doi:10.30488/ccr.2021.277914.1040 [In Presian]
- Chaussard, E., Amelung, F., Abidin, H., & Hong, S.H. (2013). Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of Environment*, 128, 150-161. doi:10.1016/j.rse.2012.10.015
- Dolatshahi, R. (2007). Preparation of desertification intensity map based on IMDPA model with emphasis three criteria of water, Soil and vegetation (Case Study: South Garmsar). M.Sc. Thesis, Tehran University, Iran. [In Presian]
- Dong, J., Zhang, L., Tang, M., Liao, M., Xu, Q., Gong, J., & Ao, M. (2018). Mapping landslide surface displacements with time series SAR interferometry by combining persistent and distributed scatterers: A case study of Jiaju landslide in Danba, China. *Remote Sensing of Environment*, 205, 180-198. doi:10.1016/j.rse.2017.11.022
- Ekhtesasi, M.R., & Mohajeri, S. (1996). Classification method of land desertification intensity in Iran. The 2nd national conference on desertification and different methods of desertification. Research Institute of Forests and Pastures of the country, Iran. [In Presian]
- Entezari Zarch, A., Ahmadi, H., Moeini, A.M., & Pazira, E. (2022). Evaluation of land degradation using soil and desertification models based on field studies and numerical data. *Desert Management*, 10(4), 1-20. doi: 10.22034/jdmal.2022.562179.1396 [In Presian] <https://doi.org/10.22034/jdmal.2022.562179.1396>
- Fatahi, A., Azad, B., & Ara, H. (2017). Desertification assessment by using water criterion in iran's central arid regions. *Applied Environmental and Biological Sciences*, 7 (1), 188-197.
- Geological Survey and Mineral Exploration of Iran, (2021). Subsidence of the earth, the time bomb of Isfahan. [In Presian]
- Haghighoo, K., Rostami, N., Heshmati, M., & Farmarzi, M. (2017). Investigating the state of

- desertification using the Iranian Model of Desertification Potential Assessment (case study: Gandomban plain, Qasr Shirin). *Geografia and Environmental Sustainability*, 22, 21-33. [In Presian]
- Kazemi, M., Feiznia, S., Khosravi, H., & Mesbah, H. (2018). Investigating the role of meteorological variables and excessive groundwater withdrawal on reduction of the Lake Maharloo water level. *Journal of Agricultural Meteorology*, 5(2), 1-10. [In Presian]
- Kazemi, M., Feiznia, S., Khosravi, H., Naji, S., & Mesbah, H. (2019). The study of Maharlu Lake area and its marginal land use changes using Landsat images. *Watershed Engineering and Management*, 11(4), 1130-1139. doi:10.22092/ijwmse.2018.102413.1057 [In Presian]
- Keramatzadeh, M., Fathi, A., & Moazed, H. (2022). Investigate the situation of desertification in south east Ahvaz region using IMDPA model with emphasis on the criteria climate and vegetation. *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(1), 153-166. doi:10.22055/jise.2021.37216.1968 [In Presian]
- Lashkaripour, Gh., Qafuri, M., Bagherpur, A. & Talebian, L. (2007). The effect of groundwater level drop on land subsidence. Proceedings of the first applied geology congress of Iran, Islamic Azad University, Mashhad branch, Iran, Pp: 916-922. [In Presian]
- Lashkaripour, Gh., Rostami Barani, P., Kohandel, A., & Tarshizi, H. (2006). Groundwater level drop and land subsidence in Kashmar Plain. Proceedings of the 10th Earth Sciences Conference, Tarbiat Modares University, Iran, Pp. 2428-2438. [In Presian]
- Maroufpoor, S., Fakheri Fard, A., & Shiri, J. (2018). Evaluation and zoning the desertification destructive effects using IMPDA model and clustering (case study: Normashir and Rahmatabad plain). *Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(1), 123-134. doi:10.22059/ije.2017.231963.568 [In Presian]
- Masoudi, M., & Shirgir, S. (2021). Efficiency assessment of desertification model of IMDPA for evaluating of water and wind erosions. *Watershed Management Research*, 12(23), 12-25. [In Presian]
- Moghimi, H., AbbasNovinpour, E., & Morshedi, B. (2021). Investigation of the phenomenon of subsidence due to the decrease of groundwater level in the city of Urmia using the zoning of changes in the distribution of soil layers. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 8(3), 791-806. doi:10.22059/ije.2021.324347.1510 [In Presian]
- Motagh, M., Shamshiri, R., Haghighi, M.H., Wetzal, H-U., Akbari, B., Nahavandchi, H., Roessner, S., & Arabi, S. (2017). Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Engineering Geology*, 218, 134-151. doi:10.1016/j.enggeo.2017.01.011
- Qu, C., Zuo, R., Shan, X., Hu, J., & Zhang, G. (2017). Coseismic deformation of the 2016 Taiwan Mw6.3 earthquake using InSAR data and source slip inversion. *Journal of Asian Earth Sciences*, 148, 96-104. doi:10.1016/j.jseaes.2017.08.027
- Research Institute of Forests and Rangelands (RIFFR), (2022). Comprehensive Studies of Soil Degradation and Subsidence under the Influence of Groundwater Resources in the Plains of Iran. Final report of National Research Project. [In Presian]
- Shokoohi, A., Zehtabiyan, Gh., & Tavili, A. (2013). Study of desertification status using IMDPA model with emphasis on water and soil criteria (Case study: Khezr Abad - Elah Abad of Yazd - plain). *Journal of Rangeland and Watershed Management. Iranian Journal of Natural Resources*, 4, 517 -528. doi:10.22059/jrwm.2012.32050 [In Presian]
- Sowter, A., Amat, M.B.C., Cigna, F., Marsh, S., Athab, A., & Alshammari, L. (2016). Mexico City land subsidence in 2014-2015 with Sentinel-1 IW TOPS: Results using the Intermittent SBAS (ISBAS) technique. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 52, 230-242. doi:10.1016/j.jag.2016.06.015
- UNESCO, (1970). Land Subsidence: Proceedings of the First International Symposium on Land Subsidence, Tokyo.
- Zehtabian, Gh., & Esfandiari, M. (2011). Evaluation of the agricultural development and groundwater use on desertification in Tashk region, Fars province. *Journal of Arid Biom*, 2, 1-8. dor:20.1001.1.2008790.1389.1.2.1.7 [In Presian]
- Zolfaghari, F., & Khosravi, H. (2016). Assessment of Desertification Severity Using IMDPA Model in Saravan Region. *Geography and Environmental Planning*, 27(2), 87-102. doi:10.22108/gep.2016.21817 [In Presian]