



Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Short Paper

Optimization of GALDIT Model to Assess the Risk of Saline Water Intrusion to Aquifer Adjacent to a Salt Playa

Mohammad Faryabi^{1*}

¹Assist. Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran

Article information

Received: June 26, 2022

Revised: August 25, 2022

Accepted: August 27, 2022

Keywords:

GALDIT Model

Saline Water Intrusion

Salt Playa

Sirjan Plain

*Corresponding author:

faryabi@ujiroft.ac.ir



Abstract

The saline water intrusion to aquifers in arid regions is one of the major challenges in the development of water resources. In this research, the risk of saline water intrusion near a salt playa in Sirjan plain was evaluated by modifying and optimizing the GALDIT model. Parameters such as aquifer type, aquifer hydraulic conductivity, groundwater level, distance to the salt playa, the current status of saline water intrusion, and aquifer thickness were used to zone the risk of saline water intrusion. To modify and optimize the GALDIT model, a single parameter sensitivity analysis method, analytical hierarchy process, and fuzzy logic were used. According to the different models' results, the Sirjan plain was classified into three saline water intrusion risk zones namely: low, moderate, and high. Groundwater electrical conductivity and chloride ion concentration were employed for the validation of the results of the models. Achieving results shows that the fuzzy logic is the best method for optimizing the GALDIT model. So that the correlation coefficients between the results of the Fuzzy GALDIT model results and parameters of electrical conductivity and chloride ion concentration are equal to 0.88 and 0.90 respectively.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open-access article distributed under the CC BY (license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



Introduction

As a result of human activities, aquifer salinization has increased in recent years and causing irreparable economic and environmental impacts. Saline water intrusion is not limited to islands and sea coasts, but it is possible for saline water to move from deserts, swamps, and saline water pits to nearby freshwater aquifers. Due to its dry climate, Iran has abundant deserts. As a result of the limitation of surface water resources and the high extraction of groundwater in desert areas, the intrusion of saline water into

freshwater aquifers is a common environmental problem.

In recent years, several studies have been conducted in the field of saline water intrusion into freshwater aquifers. Looking at the conducted research, it is clear that most of these researches investigated the vulnerability of groundwater resources to saline water intrusion in coastal areas. There are not many studies about the saline water intrusion into aquifers near salt flats and desert areas. For this reason, this study was conducted in order to evaluate the vulnerability of the Sirjan plain aquifer against



the intrusion of saline water from the adjacent salt playa.

Material and Methods

The study area is Sirjan plain in the southeast of Iran. This plain is located near a large salt playa. Sirjan's salt playa is a lake during the rainy season and turns into a large salt flat during the rest of the year. To protect the Sirjan plain aquifer, the risk of saline water intrusion was evaluated using GALDIT model. The capabilities of geographical information system (GIS) have also been used for this purpose. The GALDIT model takes into account six parameters: groundwater occurrence (aquifer type), hydraulic conductivity of the saturated media, groundwater level, distance to the salt playa, existing status of

saline water intrusion and the aquifer thickness. Salt water intrusion index, which is also called GALDIT index (GI), is calculated using Eq. 1.

$$GI = \sum_{i=1}^6 (R_i W_i) / \sum_{i=1}^6 W_i \quad (1)$$

Where, R and W represent the rate and weight of the desired parameter (i), respectively.

In this research, three methods were used to optimize the GALDIT model. These methods include single parameter sensitivity analysis, analytical hierarchy process, and fuzzy logic.

Results

The saline water intrusion risk maps are shown in Fig. 1.

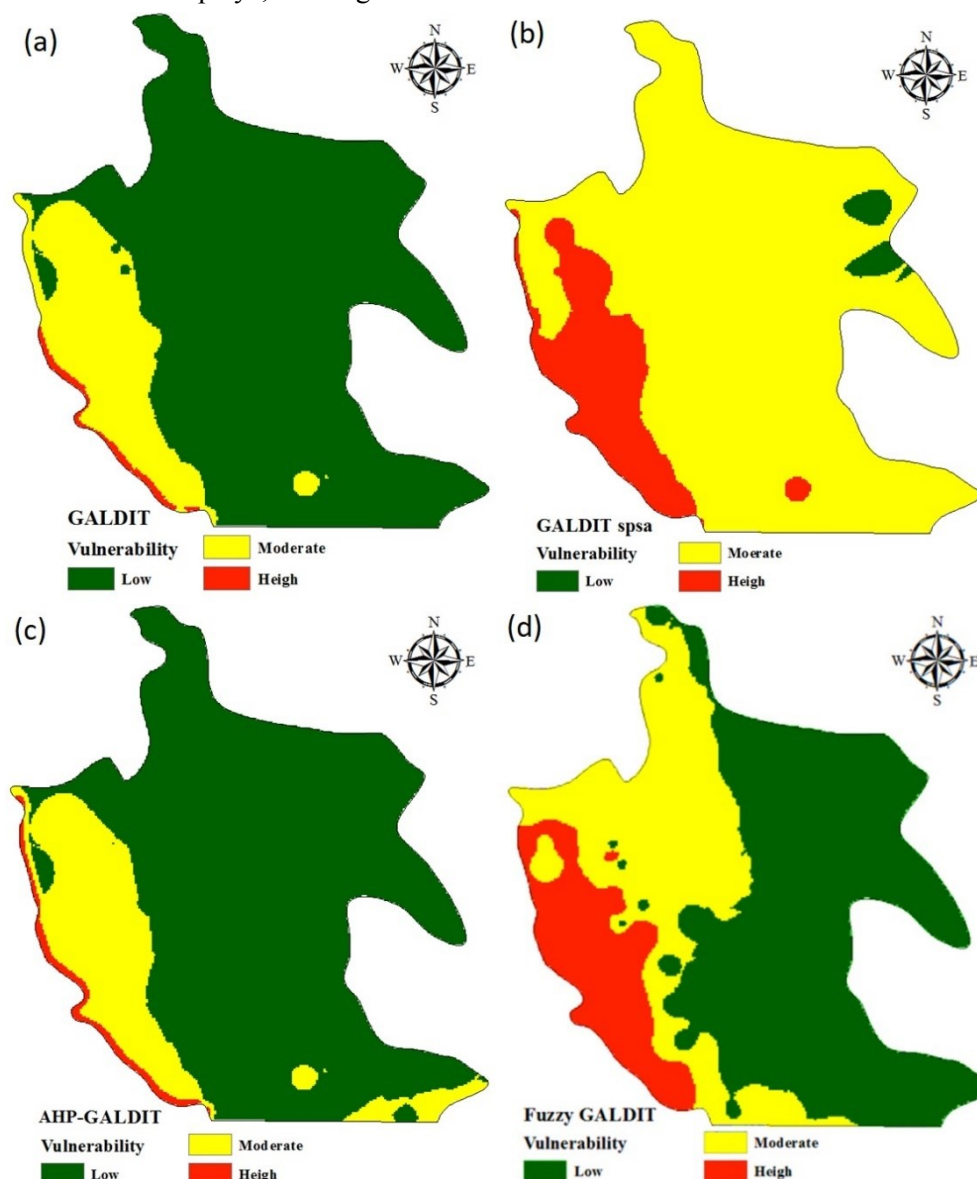


Fig. 1 Zoning of saline water intrusion risk based on different models: a) GALDIT model, b) GALDIT spsa model, c) AHP-GALDIT model and d) Fuzzy GALDIT model

According to GALDIT model result (Fig. 1a), the Sirjan plain has been classified into three zones of saline water intrusion risk. These zones are low, moderate, and high. The greatest risk of saline water intrusion is observed in areas adjacent to the salt playa. The aquifer sediments are mostly fine-grained in these areas. The groundwater level is also at a lower height. Therefore, there is a high risk of saline water intrusion.

The risk map of saline water intrusion prepared by the single parameter sensitivity analysis model (GALDITspsa) is presented in Fig. 1b. As it can be seen in Fig. 1b, the moderate vulnerability class has occupied the largest area of the Sirjan plain. Fig. 1c shows the risk map of saltwater intrusion based on the combination of the analytical hierarchy process and the GALDIT model. The results of this model (AHP-GALDIT model) are very similar to the results of the GALDIT model. The saline water intrusion risk map based on the Fuzzy GALDIT model is presented in Fig. 1d. Based on the results of this model, the zones of low, moderate, and high saline water intrusion risk have been allocated 55.35, 30.7, and 13.95% of the area of Sirjan plain, respectively.

In order to evaluate and compare the results of the different models, the correlation coefficient between the final map obtained from each model and the qualitative parameters representing saline water intrusion (electrical conductivity and chloride ion concentration) have been calculated. According to the results, the GALDIT and AHP-GALDIT models have acceptable results in assessing the risk of saline water intrusion, but

the GALDITspsa model did not have an acceptable performance. The results of the Fuzzy GALDIT model show the highest correlation with water quality parameters. The correlation coefficients of the results of this model with electrical conductivity and chloride ion concentration are equal to 0.88 and 0.9 respectively.

Conclusions

The results of this research showed that despite the fact that the GALDIT model was developed to assess the risk of saline water intrusion in coastal areas, this model was able to evaluate the vulnerability of the Sirjan plain aquifer to saltwater intrusion from the Sirjan salt playa. Among the methods used in this research, the fuzzy logic method is the best method to optimize the GALDIT model.

The results of this research will be a suitable guide for the management of groundwater resources in Sirjan plain. It is suggested to use the GALDIT model to assess the risk of saline water intrusion in aquifers adjacent to saline and evaporative areas in other regions of the country. By comparing and evaluating the results, a comprehensive model can be introduced to assess the risk of saline water intrusion in such areas.

Data Availability

The data can be sent by email by the corresponding author upon request.

Conflicts of interest

The authors of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir

مقاله کوتاه

بهینه سازی مدل GALDIT برای ارزیابی خطر نفوذ آب شور به آبخوان مجاور یک کفه نمکی

محمد فاریابی^{*}

استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ دریافت: [۱۴۰۱/۰۴/۰۵]	نفوذ آب شور در آبخوان های موجود در حاشیه کویرها و مناطق خشک یکی از چالش های مهم توسعه منابع آب در این مناطق است. در این پژوهش سعی شد تا با اصلاح و بهینه سازی مدل GALDIT، خطر نفوذ آب شور در مجاورت یک کفه نمکی در دشت سیرجان ارزیابی شود. پارامترهایی مانند نوع آبخوان، هدایت هیدرولیکی آبخوان، تراز آب زیرزمینی، فاصله تا کفه نمکی، وضعیت موجود نفوذ آب شور و ضخامت آبخوان برای پهنه بندی خطر نفوذ آب شور به کار گرفته شدند. برای اصلاح و بهینه سازی مدل GALDIT از روش آنالیز حساسیت تک پارامتری، روش تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی کمک گرفته شد. بر اساس نتایج به دست آمده، دشت سیرجان از لحاظ پتانسیل نفوذ آب شور به سه منطقه با خطر کم، متوسط و زیاد تقسیم بندی شد. نتایج حاصل از صحت سنجی مدل های مختلف نشان داد که روش منطق فازی بهترین روش برای بهینه سازی مدل GALDIT در منطقه مورد مطالعه است. میزان همبستگی نتایج مدل Fuzzy GALDIT با پارامترهای هدایت الکتریکی و غلظت یون کلراید آب زیرزمینی به ترتیب برابر با ۰/۸۸ و ۰/۹۰ بود.
تاریخ بازنگری: [۱۴۰۱/۰۶/۰۳]	
تاریخ پذیرش: [۱۴۰۱/۰۶/۰۵]	
واژه های کلیدی: کفه نمک دشت سیرجان نفوذ آب شور مدل GALDIT	
*نویسنده مسئول: faryabi@ujiroft.ac.ir	



۱- مقدمه

است (Mohammadzade 2013). در زمینه بررسی پتانسیل نفوذ آب شور به آب زیرزمینی در سال های گذشته مطالعات متعددی صورت گرفته است. Bordbar et al. (2019) با استفاده از مدل GALDIT آسیب پذیری آبخوان ساحلی قره سو-گرگان رود را بررسی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد بخش های غربی آبخوان آسیب پذیری زیادی به نفوذ آب شور دارند. (Amiri (2021 پتانسیل نفوذ آب شور به

پیشروی آب شور در آبخوان های آب شیرین تنها به جزایر و سواحل دریاها محدود نمی شود، بلکه امکان دارد آب شور از طریق کویرها، باتلاق ها و چاله های آب شور در آبخوان های آب شیرین مجاور پیشروی کند. ایران به دلیل داشتن آب و هوای خشک، دارای کویرهای فراوان می باشد. محدودیت منابع آب سطحی و بهره برداری بیش از اندازه از آب زیرزمینی باعث پیشروی آب شور به آبخوان های حاشیه کویرها شده



آسیب‌پذیری زیادی به آلودگی‌های با منشأ انسانی و نفوذ آب‌شور دریا است.

با نگاهی به پژوهش‌های انجام شده مشخص می‌شود که اغلب این پژوهش‌ها، آسیب‌پذیری منابع آب‌زیرزمینی نسبت به آب‌شور در مناطق ساحلی را بررسی کردند. تاکنون مطالعات چندانی در خصوص خطر نفوذ آب‌شور به آبخوان‌های مجاور کفه‌های نمکی و مناطق کویری انجام نشده است. به همین دلیل این پژوهش به منظور بررسی توانایی مدل GALDIT برای ارزیابی پتانسیل نفوذ آب‌شور از کفه نمکی سیرجان به آبخوان مجاور آن انجام شد. روش‌های مختلفی نیز برای بهینه‌سازی این مدل نیز بکار گرفته شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

دشت سیرجان با اقلیمی خشک و بیابانی در غرب استان کرمان واقع شده است. منطقه مورد مطالعه از شمال به وسیله کوه‌های سرچشمه و از جنوب به وسیله کفه نمک سیرجان محدود شده است (شکل ۱). کفه نمک سیرجان در بخشی از ایام سال به صورت یک دریاچه بوده و در فصول بدون بارندگی به یک شوره‌زار بزرگ تبدیل می‌شود. متوسط دمای سالانه دشت سیرجان 18°C و میانگین بارندگی سالانه آن 145mm است. آبخوان دشت سیرجان از نوع آزاد بوده و آبرفت‌های دوره کوتاه‌تر ساختمان اصلی آن را تشکیل می‌دهند. تعداد چاه‌های عمیق و نیمه عمیق موجود در دشت سیرجان 1003 حلقه بوده و تخلیه سالانه آن‌ها در حدود 415 MCM است. سطح آب‌زیرزمینی در آبخوان مورد مطالعه روندی نزولی دارد و متوسط افت سالانه آن 0.85m است (Anonymous 2018).

۲-۲- روش پژوهش

در این پژوهش برای تعیین خطر نفوذ آب‌شور از مدل GALDIT استفاده شد. در این مدل، اطلاعات حاصل از پارامترهای مختلف به صورت تلفیقی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. جدول (۱) نحوه امتیازدهی به پارامترهای مختلف مدل GALDIT را نشان می‌دهد. شاخص نفوذ آب شور در این مدل با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Barzegar et al. 2021).

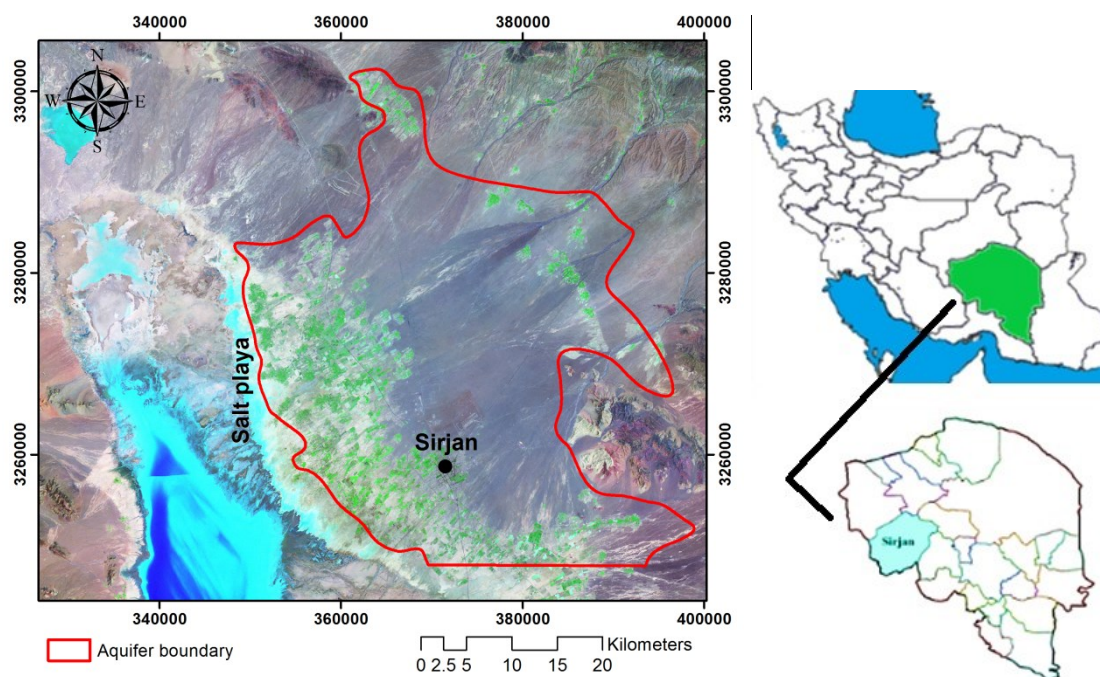
آبخوان در مجاورت دریاچه ارومیه را با استفاده از مدل‌های 'MODFLOW، MT3DMS و SEAWAT ارزیابی کرد.

نتایج این مطالعه نشان داد که در وضعیت کنونی، احتمال نفوذ آب‌شور به این آبخوان بسیار پایین است. Hu et al. (2018) با استفاده از مدل‌های DRASTIC و GALDIT آسیب‌پذیری آبخوانی در شمال چین را بررسی کردند. این محققان بیان کردند که تلفیق مدل DRASTIC و تحلیل سلسله‌مراتبی کارایی بهتر نسبت به مدل GALDIT در ارزیابی پتانسیل آسیب‌پذیری آبخوان دارد. Kazakis et al. (2018) از منطق فازی برای اصلاح مدل GALDIT در ارزیابی آسیب‌پذیری نفوذ آب‌شور دریا به آبخوان ساحلی شمال غرب یونان استفاده کردند. بر اساس نتایج این پژوهش، بخش وسیعی از آبخوان در معرض خطر نفوذ آب شور دریا است. (Nadjla et al. 2021) با استفاده از مدل GALDIT آسیب‌پذیری یک آبخوان ساحلی در شمال غرب الجزایر را مطالعه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که وجود مجاری انحلالی و پمپاژ زیاد از چاه‌ها، خطر نفوذ آب‌شور را افزایش داده است. (El Fehri et al. 2021) برای ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور به یک آبخوان ساحلی در تونس، شاخص RIHM را ارائه کردند. این محققان بیان کردند که این شاخص جدید، پارامترهای کمتری نیاز داشته و کارایی خوبی در پهنه‌بندی پتانسیل نفوذ آب‌شور به آبخوان دارد.

(Boufekane et al. 2022) با استفاده از مدل‌های GALDIT و MODFLOW خطر نفوذ آب‌شور در آبخوانی در الجزایر را بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که روند تغییرات زمانی تراز آب‌زیرزمینی و تغذیه آبخوان مهمترین فاکتورهای کنترل کننده نفوذ آب‌شور دریا به آبخوان هستند. (Pisciotta et al. 2022) از مدل اصلاح-شده GALDIT برای ارزیابی تأثیر آلودگی‌های انسان‌زاد و زمین‌زاد بر آبخوان جزیره‌ای در ایتالیا استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که 66% از مساحت جزیره دارای

¹Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model

²Modular Three Dimensional Multispecies Transport Model for Simulation



شکل ۱- موقعیت و وضعیت عمومی منطقه مورد مطالعه

Fig. 1 Location and general map of study area

$$GI = \sum_{i=1}^6 (R_i W_i) / \sum_{i=1}^6 W_i \quad (1)$$

نظر است.

که، GI شاخص نفوذ آب شور، R رتبه و W وزن پارامتر مورد

جدول ۱- پارامترهای مدل GALDIT (Barzegar et al. 2021)

Table 1 Parameters of GALDIT model (Barzegar et al. 2021)

Parameter	Vulnerability Classes			
	Very low	Low (5)	Medium (7.5)	High (10)
Groundwater occurrence	Bonded	Leaky confined	Unconfined	Confined
Aquifer hydraulic conductivity (m/d)	<5	5-10	10-40	>40
Level of groundwater (m)	>2	1.5-2	1-1.5	<1
Distance to salt playa (m)	>1000	750-1000	500-750	<500
Existing saline water intrusion (Cl/HCO ₃)	<1	1-1.5	1.5-2	>2
Thickness of aquifer (m)	<5	5-7.5	7.5-10	>10
Saline water Intrusion Risk	-	Low (2.5-5)	Medium (5-7.5)	High (7.5-10)

هدایت هیدرولیکی آبخوان بین ۲ تا ۱۵ m/d متغیر است. بر این اساس لایه هدایت هیدرولیکی آبخوان تهیه و بر اساس جدول (۱) امتیازدهی شد. جهت تهیه لایه تراز آب زیرزمینی از داده‌های تراز سطح آب در چاه‌های مشاهده‌ای موجود در دشت سیرجان استفاده شد. لایه فاصله تا کفه نمکی نیز با توجه به جدول (۱) امتیازبندی شد. نحوه توزیع مکانی نسبت یون کلراید به بی کربنات به عنوان معرف وضعیت نفوذ آب شور در آبخوان استفاده شد. لایه ضخامت آبخوان دشت سیرجان نیز با توجه به نتایج مطالعات ژئوفیزیک تهیه شد.

پارامترهای موردنیاز در مدل GALDIT عبارت‌اند از: نوع آبخوان (G)، هدایت هیدرولیکی آبخوان (A)، تراز سطح آب زیرزمینی (L)، فاصله تا ساحل (D)، وضعیت موجود نفوذ آب شور (I) و ضخامت آبخوان (T). نحوه تهیه هر کدام از این پارامترها در ادامه توضیح داده می‌شود.

مطالعات ژئوفیزیک و حفاری‌های انجام شده نشان می‌دهد که دشت سیرجان دارای یک آبخوان آزاد است؛ بنابراین طبق جدول (۱) امتیاز نوع آبخوان برای آن ۷/۵ می‌باشد. میزان

۲-۲-۱- بهینه‌سازی مدل GALDIT

جهت اصلاح و بهینه‌سازی مدل GALDIT از روش تحلیل حساسیت تک‌پارامتری، روش تحلیل سلسله‌مراتبی و منطق فازی استفاده شد. روش تحلیل حساسیت تک‌پارامتری برای مقایسه وزن مؤثر یا واقعی پارامترهای ورودی در هر پیکسل با وزن تئوریک اختصاص یافته به آن پارامتر توسط مدل استفاده می‌شود. وزن مؤثر در هر پیکسل با استفاده از رابطه (۲) به دست می‌آید (Sappa and Vitale, 2004):

$$W = (Pr.Pw/V) \times 100 \quad (2)$$

که، W وزن مؤثر هر پارامتر، Pr و Pw به ترتیب نمره و وزن هر کدام از پارامترها و V اندیس نهایی آسیب‌پذیری است.

فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به منظور برآورد وزن‌دهی و درجه‌بندی هر یک از معیارها در مقایسه با سایر معیارها می‌باشد. وزن‌های تعیین شده برای پارامترهای مختلف بر اساس این روش در محدوده ۰/۰۲۴ تا ۰/۴۴۸ قرار می‌گیرند.

تئوری فازی وسیله‌ای برای بیان عدم صراحت و عدم قطعیت‌ها می‌باشد. اولین گام در منطق فازی، استانداردسازی پارامترها با استفاده از توابع عضویت فازی مختلف است. برای فازی‌سازی پارامتر نوع آبخوان از تابع خطی استفاده شد. پارامترهای هدایت هیدرولیکی، وضعیت موجود نفوذ آب شور و ضخامت آبخوان با استفاده از تابع Large فازی‌سازی شدند. برای فازی‌سازی پارامترهای تراز سطح آب و فاصله تا کفه نمکی نیز از تابع Small کمک گرفته شد.

۳- یافته‌ها و بحث

نقشه شاخص GALDIT دشت سیرجان در شکل (۲الف) نشان داده شده است. با توجه به این شکل، دشت سیرجان از نظر خطر نفوذ آب‌شور به سه منطقه با خطر کم، متوسط و زیاد تقسیم‌بندی شده است. این رده‌ها به ترتیب ۸۰/۸۸٪، ۱۸/۰۵ و ۱/۰۶٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند. بیشترین خطر نفوذ آب‌شور در مجاورت کفه‌نمکی مشاهده می‌شود. در این مناطق رسوبات تشکیل دهنده آبخوان عمدتاً ریزدانه، بار هیدرولیکی کم و میزان افت سطح آب‌زیرزمینی زیاد است؛ بنابراین خطر نفوذ آب‌شور بیشتر است. این نتیجه با مطالعات Kardan Moghaddam and Javadi (2016) و Bordbar et al. (2019) مبنی بر افزایش خطر نفوذ آب‌شور در نزدیکی خط ساحلی مطابقت دارد. (۲۰۱۹) نیز فاصله تا منبع آب‌شور را مهمترین پارامتر در ارزیابی خطر

نفوذ آب‌شور معرفی کرده‌اند. کمترین خطر نفوذ آب‌شور در بخش شرقی دشت سیرجان مشاهده می‌شود. در این مناطق ضخامت آبخوان زیاد و رسوبات تشکیل‌دهنده آبخوان عمدتاً درشت‌دانه هستند. تراز سطح آب‌زیرزمینی نیز بالاتر از سایر مناطق دشت است.

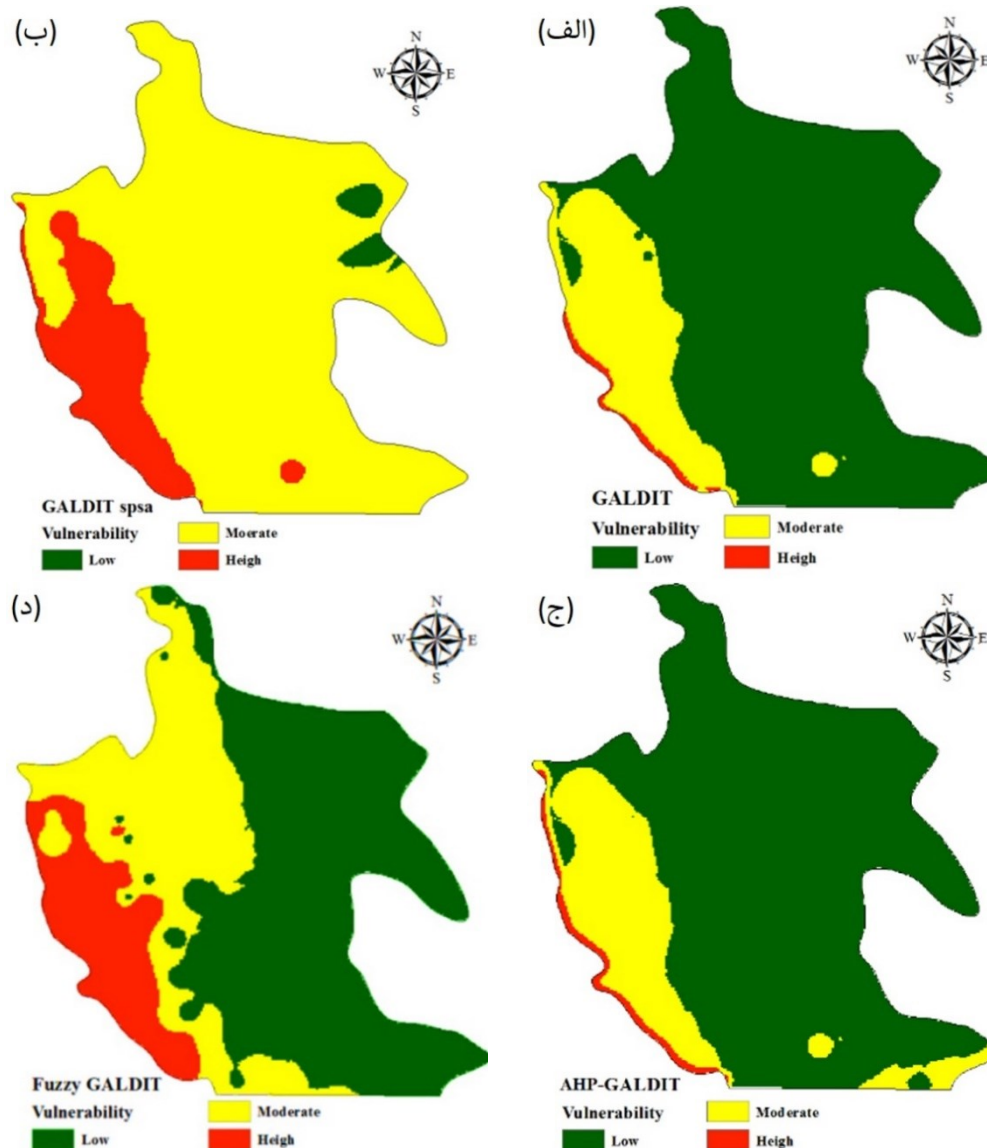
نتایج حاصل از تحلیل حساسیت تک‌پارامتری مدل GALDIT در جدول (۲) ارائه شده است. ستون دوم این جدول نشان‌دهنده وزن‌هایی هستند که در مدل GALDIT به پارامترهای مختلف اعمال شده‌اند. در ستون سوم جدول، درصد هر کدام از این وزن‌ها آورده شده است. وزن مؤثر پارامترهای مختلف مدل GALDIT نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه و در ستون چهارم جدول (۲) آورده شده است. با توجه به این جدول، پارامترهای نوع آبخوان، وضعیت نفوذ آب‌شور و ضخامت آبخوان تأثیر بیشتری در ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور به آبخوان در منطقه مورد مطالعه دارند. وزن واقعی یا اصلاح شده پارامترها نیز در ستون چهارم جدول (۲) ارائه شده است. این وزن‌ها برای تهیه مدل GALDIT spsa به کار گرفته شده‌اند (شکل ۲ب). همان‌طور که در شکل (۲-ب) مشاهده می‌شود، مناطق دارای آسیب‌پذیری متوسط، بخش وسیعی از منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. در مدل GALDIT spsa، رده‌های آسیب‌پذیری کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۱/۹۸٪، ۸۳/۲۷٪ و ۱۴/۷۴٪ از مساحت منطقه را در بر گرفته‌اند.

شکل (۲-ج) پهنه‌بندی خطر نفوذ آب‌شور بر اساس ترکیب روش تحلیل سلسله‌مراتبی و مدل GALDIT را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج مدل AHP-GALDIT، پهنه‌های با خطر کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۷۱/۵۳٪، ۲۶/۴٪ و ۲/۰۷٪ از مساحت دشت سیرجان را به خود اختصاص داده‌اند. نتایج این مدل شباهت زیادی با نتایج مدل GALDIT دارد. دلیل این موضوع این است که در این مدل، فقط وزن پارامترها تغییر کرده و نحوه رده‌بندی پارامترها تفاوتی با مدل GALDIT ندارد.

نقشه خطر نفوذ آب‌شور بر اساس مدل Fuzzy GALDIT در شکل (۲-د) ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از این مدل، مناطق دارای خطر نفوذ کم، متوسط و زیاد به ترتیب ۳۵/۳۵٪، ۵۵٪ و ۱۰/۷٪ از مساحت دشت سیرجان را به خود اختصاص داده‌اند. نکته قابل توجه در این مدل تعدیل مساحت مربوط به رده‌های مختلف خطر نفوذ آب‌شور است.

آب شور است، اما مساحت رده خطر زیاد نفوذ آب شور مشابه با مدل GALDIT spsa است.

به طوری که مساحت رده کم و متوسط مشابه با مدل GALDIT و AHP GALDIT بیشتر از رده خطر زیاد نفوذ



شکل ۲- پهنه بندی خطر نفوذ آب شور بر اساس مدل های مختلف: (الف) مدل GALDIT، (ب) مدل GALDITspsa، (ج) مدل AHP GALDIT، (د) مدل Fuzzy GALDIT

Fig. 2 Zoning of saline water intrusion risk based on different models: a) GALDIT model, b) GALDIT spsa model, c) AHP-GALDIT model, d) Fuzzy GALDIT model

جدول ۲- نتایج حاصل از آنالیز حساسیت تک پارامتری

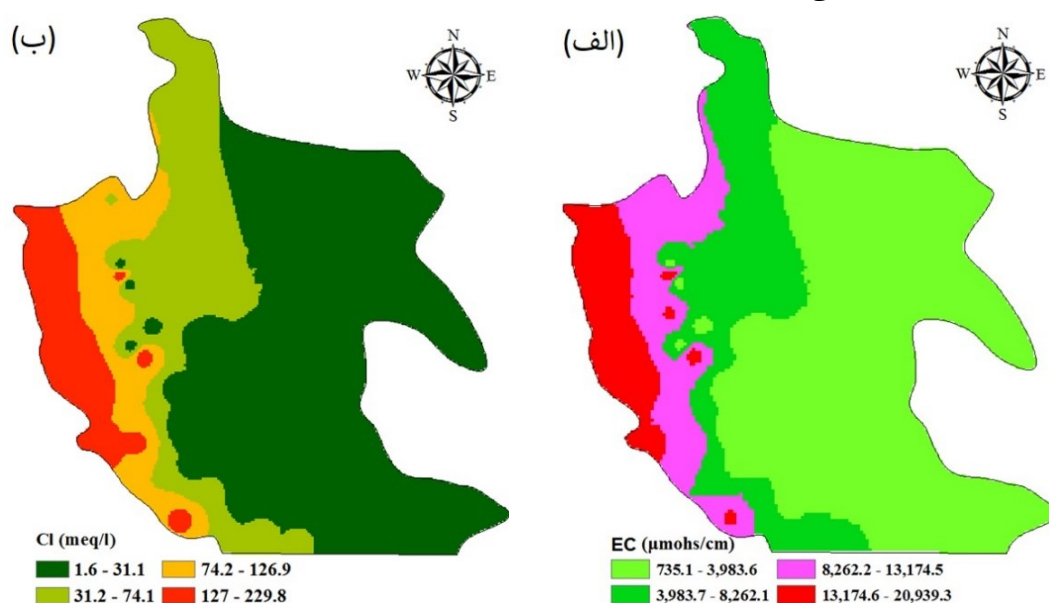
Table 2 Results of single parameter sensitivity analysis

Parameter	Theoretical weight	Theoretical weight (%)	Effective weight (%)				Effective or real weight
			Min	Max	Mean	SD	
G	1	6.7	5.36	13.04	9.62	1.55	1.4
A	3	20.0	8.82	34.29	20.56	4.3	3.1
L	4	26.7	9.76	39.02	19.42	7.73	2.9
D	4	26.7	8.51	39.02	13.34	3.14	2.0
I	1	6.7	3.03	15.38	11.41	2.54	1.7
T	2	13.3	14.29	34.78	25.65	4.14	3.8

۳-۱- اعتبارسنجی مدل‌ها

با ۰/۵۴ و ۰/۶۴ است؛ بنابراین این مدل عملکرد قابل قبولی برای ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور نداشته است. نتایج مدل Fuzzy GALDIT بیشترین میزان همبستگی با پارامترهای کیفی آب را نشان می‌دهند. میزان همبستگی نتایج این مدل با هدایت الکتریکی و کلراید به ترتیب برابر با ۰/۸۸ و ۰/۹ است؛ بنابراین روش منطق فازی به‌عنوان بهترین روش برای بهینه‌سازی مدل GALDIT و ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور در منطقه مورد مطالعه معرفی می‌گردد. (2019) Bordbar et al. نیز مدل Fuzzy GALDIT را به‌عنوان روشی مناسب جهت ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور پیشنهاد کرده‌اند.

نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای هدایت الکتریکی و غلظت یون کلراید (به‌عنوان معرف نفوذ آب شور) در شکل (۳) ارائه شده‌اند. برای ارزیابی و مقایسه نتایج حاصل از مدل‌های به کار گرفته در این پژوهش، ضریب همبستگی بین نقشه نهایی حاصل از هر مدل و پارامترهای کیفی معرف نفوذ آب‌شور محاسبه شده است. مدل GALDIT نتایج قابل قبولی در ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور دارد. میزان همبستگی نتایج این مدل با پارامترهای هدایت الکتریکی و کلراید به ترتیب برابر با ۰/۷۴ و ۰/۸۳ است. میزان همبستگی نقشه نهایی مدل GALDITpsa با هدایت الکتریکی و کلراید به ترتیب برابر



شکل ۳- تغییرات مکانی پارامترهای کیفی آب‌زیرزمینی: الف- هدایت الکتریکی، و ب- کلرور

Fig. 3 Spatial variation of groundwater quality parameters: a) electrical conductivity, and b) Chloride

۴- نتیجه‌گیری

قرار گرفته و افت بیشتری هم نشان می‌دهد. بخش بزرگی از دشت سیرجان به‌ویژه در بخش شرقی و مرکزی دارای کمترین خطر نفوذ آب‌شور است. در این مناطق سطح آب‌زیرزمینی بالا، رسوبات آبخوان دانه‌درشت و افت سطح آب کم است.

۳- مدل‌های GALDIT و AHP-GALDIT نتایج قابل قبولی برای پهنه‌بندی خطر نفوذ آب‌شور در دشت سیرجان ارائه دادند، اما روش تحلیل حساسیت تک پارامتری نتایج خوبی برای اصلاح مدل GALDIT نشان نداد. در میان مدل‌های مورد استفاده در این پژوهش، مدل Fuzzy GALDIT بهترین نتایج برای ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور به آبخوان را ارائه داد.

در این پژوهش امکان استفاده از مدل GALDIT برای ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور به آبخوان دشت سیرجان در غرب استان کرمان مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین دستاوردهای این پژوهش به‌شرح زیر است:

۱- علی‌رغم این‌که مدل GALDIT برای ارزیابی خطر نفوذ آب‌شور در مناطق ساحلی توسعه یافته است، این مدل به‌خوبی توانست آسیب‌پذیری آبخوان دشت سیرجان نسبت به نفوذ آب‌شور از کفه نمکی سیرجان را ارزیابی کند.

۲- بیش‌ترین خطر نفوذ آب شور به دشت سیرجان در مجاورت کفه نمکی مشاهده شد. در این مناطق سطح آب‌زیرزمینی نسبت به سایر مناطق دشت در ارتفاع پایین‌تری

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها حسب درخواست، از طرف نویسنده مسئول از طریق ایمیل قابل ارسال می‌باشند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسنده این مقاله اعلام می‌دارد که هیچ‌گونه تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارد.

References

- Anonymous (2018). Hydrogeological study of Sirjan plain. Kerman Regional Water Authority, 52 pp. [In Persian].
- Amiri, V. (2021). Investigation of the saltwater intrusion potential into groundwater resources using numerical modeling (case study: Urmia coastal aquifer). *J. Nat. Environ. Haz.*, 9(26), 161-184. DOI:10.22111/JNEH.2020.32772.1601 [In Persian].
- Bordbar, M., Neshat, A. and Javadi, S. (2019). Using fuzzy logic and AHP models to modify GALDIT model in coastal aquifer vulnerability assessment. *Iran Water Resour. Res.*, 15(1), 314-326. DOI: 20.1001.1.17352347.1398.15.1.23.0 [In Persian].
- Boufekane, A., Maizi, D., Madene, E., Busico, G. and Zghibi, A. (2022). Hybridization of GALDIT method to assess actual and future coastal vulnerability to seawater intrusion. *Environ. Manage.*, 15(318), 115580. DOI: 10.1016/j.jenvman.2022.115580
- Barzegar, R., Razzagh, S., Quilty, J., Adamowski, J., Kheyrollah Pour, H. and Booi, M.J. (2021). Improving GALDIT-based groundwater vulnerability predictive mapping using coupled resampling algorithms and machine learning models, *J. Hydrol.* DOI: 10.1016/j.jhydrol.2021.126370
- El Fehri, R. M., Chrigui, R., Kouzana, L. and Dlala, M. (2021). A new model approach for vulnerability to assess seawater intrusion risk for Monastir aquifer system, Tunisia. *Int. J. Earth. Sci. Geophys.*, 7, 47. DOI: 10.35840/2631-5033/1847
- Hu, X., Ma, C., Qi, H. and Xu G. (2018). Groundwater vulnerability assessment using the GALDIT model and the improved DRASTIC model: a case in Weibei plain, China. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 25, 32524-32539. DOI: 10.1007/s11356-018-3196-3
- Kardan Moghaddam, H. and Javadi, S. (2016). Evaluation vulnerability coastal aquifer by GALDIT index and calibration by AHP method. *J. Water Soil. Cons.*, 23(2), 163-177. DOI: 10.22069/JWFST.2016.3061 [In Persian].
- Kazakis, N., Spiliotis, M., Voudouris, K. and Papadopoulos F.M. (2018). A fuzzy multicriteria categorization of GALDIT to assess seawater vulnerability in coastal aquifers. *Sci. Total. Environ.*, 621, 524-534. DOI:10.1016/j.scitotenv.2017.11.235
- Mohammadzade, M. (2013). Evaluation of saline water intrusion to Damghan plain aquifer. MSc Dissertation, Khaje Nasir Tousei University, Tehran, Iran. 202 pp. [In Persian].
- Nadja, B., Abdellatif, D. and Assia, S. (2021). Mapping of the groundwater vulnerability to saline intrusion using the modified GALDIT model (Case: the Ain Temouchent coastal aquifer, (North- Western Algeria)). *Environ. Earth Sci.*, 80, 319. DOI: 10.1007/s12665-021-09614-6
- Pisciotta, A., Suozzi, E. and Kumar Tiwari, A. (2022). A modified GALDIT-NUTS index to assess Favignana Island aquifer vulnerability. *Geocarto Int.* DOI: 10.1080/10106049.2022.2060321
- Sappa, G. and Vitale, S. (2004). Groundwater protection: contribution from Italian experience. Available online at: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/water/meetings/groundwater01/italy.pdf>. Accessed 3 January 2018

How to cite this paper:

Faryabi, M. (2023). Optimization of GALDIT model to assess the risk of saline water intrusion to aquifer adjacent to a salt playa. *Environ. Water Eng.*, 9(2), 286-295. DOI: 10.22034/ewe.2022.349031.1793