

Evaluation of environmental hazards of Tasuj area based on multivariate decision method

Afsaneh Hemmatpour¹, Mohammad Hassanpour Sedghi^{1*}, Nasir Amel¹

1- Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Keywords: Tasuj area, Subsidence, Earthquake, Landslide, AHP method

1- Introduction

A natural hazard is the possibility of a destructive phenomenon occurring in a given location and a time. The subsidence phenomenon refers to movements downward or close to the earth's vertical due to the gravitational force of the earth, which can also have a small horizontal displacement vector (Hafezi Moghaddas and Ghafoori, 2010). Excessive harvesting of groundwater and land subsidence signs in the Tasuj plain indicate the need for zoning the land subsidence risk in this area so that 33 subsidence cases in the Tasuj plain aquifer are identified by Mokhtari et al. (2019). Also, according to the research of Khorshiddoost et al. (2017) in Qaleh Maraghosh village located in Tasuj plain, it has been determined that the water table drawdown has caused landslides in some parts of this area.

Earthquake is the earth's surface vibration due to the sudden release of accumulated energy inside the earth's crust. Tasuj area has been one of the most earthquake-prone areas in the country, which has always caused many casualties and financial losses in this city during the past periods, so preparing an earthquake hazard zoning map of the Tasuj area is one of the necessities.

The movement of a mass of earth's constituent materials from a downward slope is called the landslide or slope instability. Due to the primarily mountainous topographic conditions, high tectonic and seismic activity, and the various geological conditions of the Tasuj region, this region can also be exposed to the potential for landslides.

2- Methods

Tasuj area is located about 100 km northwest of Tabriz and is one of Shabestar city parts. The geographical coordinates of the region are limited to longitudes 45° 15' 0" to 45° 30' 0" and latitudes 38° 17' 0" to 38° 25' 0". Tasuj plain covers only 258 Km², and the total area of the study area is 41 Km². Tasuj's study area is located in an independent zone called the Khoy-Mahabad zone. The region has many faults, some of which even cut off the fourth era's alluvium. However, the diversity of formations in the study area is enormous, and all three groups of igneous, metamorphic, and sedimentary rocks are found and are present in the Precambrian range to the present day.

The AHP model is one of the most comprehensive systems designed for multi-criteria decision making. This model is based on the three principles of analysis, pairwise comparisons, summation and prioritization of options, and facilitates judgment and calculation (Saaty, 1994). In the AHP method, the comparison of factors using a scale from 1 to 9. Also, in this technique, the degree of consistency and inconsistency of the decision is shown, one of its excellent advantages in multi-criteria decision making (Ghodsipour, 2007).

3- Results and discussion

In this study, the effect of groundwater drawdown and the resulting subsidence risk were evaluated to take the necessary measures to reduce these effects if necessary. For this purpose, areas with a high risk of subsidence were identified using drawdown maps. According to the results of this study, the average

* Corresponding author: hassanpour_mhd@tabrizu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2020.34656.2154

Received 2020-08-16

Accepted 2020-10-14

amount of water table drawdown in the study area is about 6 meters. Also, the map of the water table level of the Tasuj aquifer in 2018 was drawn using the data of 7 piezometric wells in the region, which were obtained from the Regional Water Organization of East Azarbayjan Province. According to this map, the plain's recharge places are the northeastern part, and the direction of the dominant flow is from northeast to southwest and south. The plain hydrograph was extracted to investigate the water table fluctuations in the aquifer. The aquifer hydrograph of the plain shows the fluctuation of the water table during the ten years (2008-2018) and its significant decrease, especially during the years 2016 and 2017. The decrease can be attributed to the water resources overused or the decrease in the water table in the region and the occurrence of water shortage and drought.

In order to prepare the hazard zoning maps of subsidence (Fig. 1), earthquake (Fig. 2), and potential for landslide occurrence (Fig. 3), according to the general conditions of the region, the most critical factors in the occurrence of the mentioned hazards were determined and examined. Then the information layers of each criterion were prepared in the geographic information system (GIS). Accordingly, to identify, evaluate, and zone subsidence hazard in the Tasuj area, nine criteria, water table, water table drawdown, lithology, land use, elevation, slope, aspect, the distance of stream, and distance of fault were prepared and used (Table 1). For earthquake hazard zoning, eight criteria, lithology, the distance of epicentre, the distance of fault, fault length, earthquake magnitude, earthquake depth, slope and elevation (Table 2), and also for zoning the susceptibility for landslides in the study area, nine criteria, lithology, land use, elevation, slope, aspect, rainfall, the distance of stream, distance of fault and distance of road were prepared (Table 3). Then, in the Arc GIS software, after the sub-criteria weighting process, the criteria were compared in pairs using Extension AHP and the weight of each factor that indicates their effectiveness was calculated. Then, according to each criterion's quantitative weight values, each factor's weight map was prepared, and finally, a final map of subsidence, earthquake, and landslide hazard zoning was prepared using weight layers and weight coefficients related to each of the criteria.

Table 1. The matrix of criteria influencing subsidence, their weight value and consistency ratio.

Data layers	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	Weighting
(a) Water table drawdown	1	3	0.5	2	3	3	3	2	3	0.1873
(b) Slope	0.3333	1	0.33	0.5	0.5	2	2	0.33	0.5	0.0612
(c) Water table	2	3.03	1	2	3	4	4	3	3	0.2417
(d) Distance of stream	0.5	2	0.5	1	2	3	3	2	3	0.1458
(e) Distance of fault	0.3333	2	0.33	0.5	1	2	3	0.5	2	0.0903
(f) Aspect	0.3333	0.5	0.25	0.33	0.5	1	2	0.5	0.5	0.05
(g) Elevation	0.3333	0.5	0.25	0.33	0.33	0.5	1	0.5	0.5	0.0414
(h) Lithology	0.5	3.03	0.33	0.5	2	2	2	1	2	0.1114
(i) Landuse	0.3333	2	0.33	0.33	0.5	2	2	0.5	1	0.071
Consistency Ratio (CR) = 0.0361										

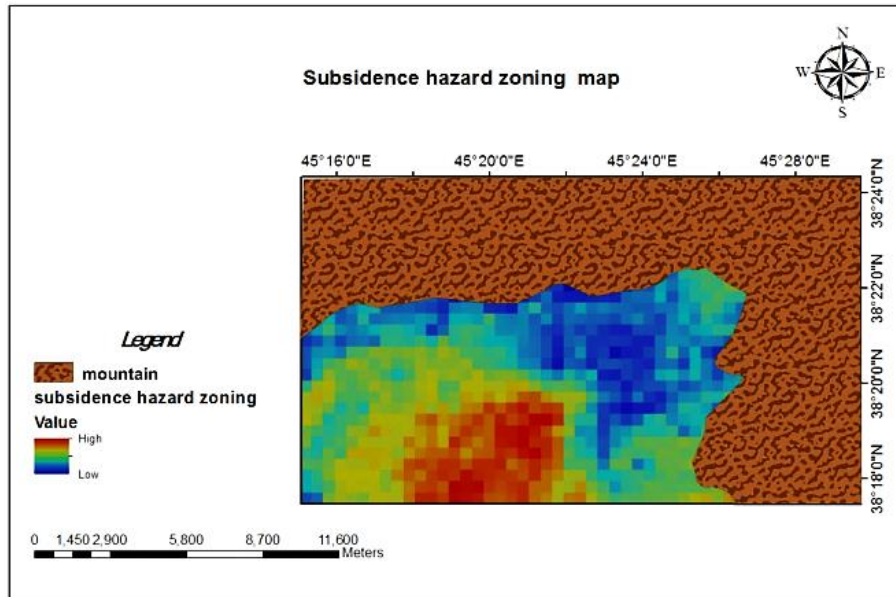


Fig. 1. Subsidence hazard zoning map of the Tasuj area.

Table 2. The matrix of criteria influencing earthquake, their weight value and consistency ratio.

Data layers	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	Weighting
(a) Distance of epicenter	1	2	2	0.33	0.33	2	2	3	0.1394
(b) Earthquake magnitude	0.5	1	0.5	0.5	0.5	2	2	3	0.102
(c) Earthquake depth	0.5	2	1	0.5	2	2	2	3	0.1508
(d) Distance of fault	3.03	2	2	1	3	3	3	4	0.2634
(e) Faults length	3.030 3	2	0.5	0.333 3	1	3	3	2	0.1643
(f) Slope	0.5	0.5	0.5	0.33	0.33	1	2	0.5	0.0619
(g) Elevation	0.5	0.5	0.5	0.33	0.33	0.5	1	0.5	0.0523
(h) Lithology	0.33	0.33	0.33	0.25	0.5	2	2	1	0.0659

Consistency Ratio (CR) = 0.0704

4- Conclusion

In this study, subsidence, earthquake, and landslide zoning maps of the Tasuj region were prepared by the AHP method, and the factors affecting their occurrence were analyzed. The results showed that: 1. Based on the groundwater level fluctuations and the map of the Water table drawdown of the Tasuj plain aquifer, this area has faced an annual decrease of 60 cm (6 meters in total for ten years).

2. The criterion of the water table with the final weight of 0.2417 had the most significant effect, and the elevation criterion with the final weight of 0.0414 had the most negligible effect on the subsidence of the area compared to other criteria. Most of the high-risk subsidence areas are located in the central and southern parts of the plain.

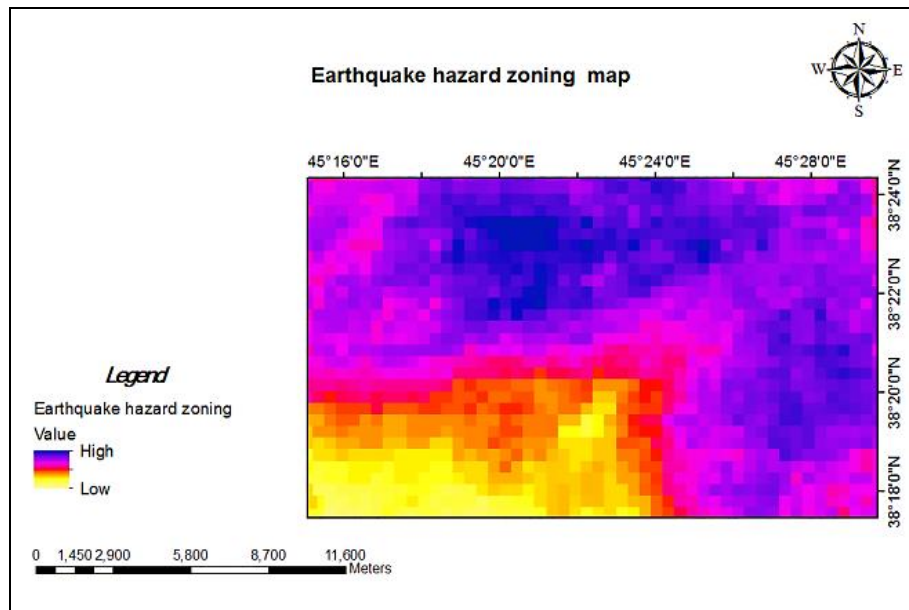


Fig. 2. Earthquake hazard zoning map of the Tasuj area.

Table 3. The matrix of criteria influencing landslide, their weight value and consistency ratio.

Data layers	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	Weighting
(a) Lithology	1	4	3	4	2	2	3	2	2	0.2297
(b) Landuse	0.25	1	0.33	2	0.33	0.33	2	2	2	0.076
(c) Slope	0.33	3.03	1	3	2	2	3	3	3	0.1792
(d) Aspect	0.25	0.5	0.33	1	0.5	0.33	0.5	0.5	0.33	0.0411
(e) Rainfall	0.5	3.03	0.5	2	1	2	3	3	3	0.1538
(f) Elevation	0.5	3.03	0.5	3.03	0.5	1	3	3	3	0.1363
(g) Distance of road	0.33	0.5	0.33	2	0.33	0.33	1	0.5	0.5	0.0483
(h) Distance of stream	0.5	0.5	0.33	2	0.33	0.33	2	1	2	0.0708
(i) Distance of fault	0.5	0.5	0.33	3.03	0.33	0.33	2	0.5	1	0.0649

Consistency Ratio (CR) = 0.0619

3. The distance of fault criterion with the final weight of 0.2634 had the most significant effect, and the elevation criterion with the final weight of 0.0523 had a minor effect on the earthquake of the area compared to other criteria and most of the high-risk areas of the earthquake are located in the eastern and northern parts of the region.

4. The lithology criterion with the final weight of 0.2297 has the most role, and the aspect criterion with the final weight of 0.0411 had the minuscule role compared to other criteria on the potential for landslides of the area and the eastern and northern parts of the region and the mountainous and steep areas are among the areas sensitive to landslides.

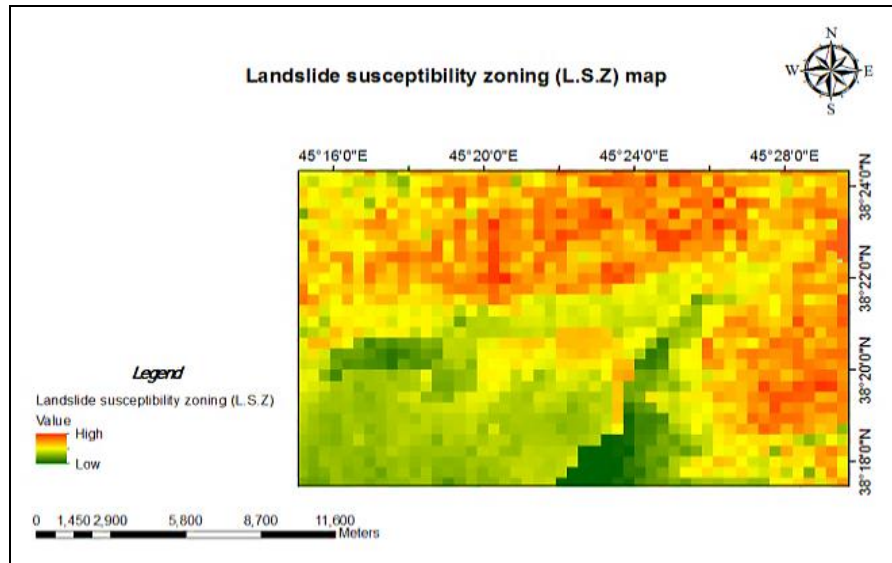


Fig. 3. Landslide susceptibility zoning map of the Tasuj area.

Acknowledgements

The authors are grateful to the Regional Water Organization of East Azarbaijan Province for providing the necessary data for this study.

References

- Hafezi Moghaddas, N., Ghafoori, M., 2010. Environmental Geology. Shahroud University of Technology Publications, 1th edition, p. 207 (in Persian).
- Khorshiddoost, A.M., Razmi, R., Maali ahari, N., Abbaszadeh, K., 2017. Study of the effect of groundwater level fluctuations on subsidence phenomenon in Qala region (East Azarbaijan, Tasuj). Journal of Geography and Planning 21(60), 73- 93.
- Mokhtari, D., Ebrahimi, H., Salmani, S., 2019. Land subsidence susceptibility modeling using random forest approach (Case study: Tasuj plain catchment). Journal of Remote Sensing and Geographic Information System for Natural Resources 10(3).
- Ghodsipour, H., 2007. Analytical hierarchy process. Amirkabir university of Tehran publications, 5th edition.
- Saaty, T. L., 1994. How to make a decision: The analytical hierarchy process. Interfaces 24 (6, S), 19 - 43.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Hemmatpour, A., Hassanpour Sedghi, M., Amel, N., 2022. Evaluation of environmental hazards of Tasuj area based on multivariate decision method. Adv. Appl. Geol. 11(4), 856-876.

DOI: 10.22055/AAG.2020.34656.2154

url: https://aag.scu.ac.ir/article_16261.html?lang=en

ارزیابی مخاطرات زیست محیطی ناحیه تسوج براساس روش تصمیم‌گیری چند متغیره

افسانه همت‌پور

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

محمد حسنیپور صدقی*

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

نصیر عامل

گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۰۷

*hassanpour_mhd@tabrizu.ac.ir

چکیده

منطقه مورد مطالعه ناحیه تسوج، استان آذربایجان شرقی، می‌باشد که بخشی از محدوده را نقاط کوهستانی و بخشی دیگر را قسمتی از دشت تسوج تشکیل می‌دهد. پژوهش حاضر با هدف شناسایی مناطق دارای پتانسیل بالای رخداد فرونشست، زمین‌لرزه و زمین‌لغزش در ناحیه تسوج، براساس عوامل تأثیرگذار بر وقوع آنها و با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) می‌باشد. جهت پهنه‌بندی مخاطرات مورد اشاره، ۱۵ معیار، سطح ایستایی آب زیرزمینی، افت سطح آب زیرزمینی، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، عمق زلزله، طول گسل، فاصله از مرکز سطحی زمین‌لرزه، بزرگی زلزله، فاصله از جاده و بارندگی مورد استفاده قرار گرفتند. براساس نتایج حاصل از این مطالعه به ترتیب معیارهای تراز سطح آب زیرزمینی، فاصله از گسل و لیتولوژی بیشترین تأثیر را بر روی خطر وقوع فرونشست، زمین‌لرزه و احتمال وقوع زمین‌لغزش ناحیه دارند و همین‌طور بیشترین مناطق مربوط به پهنه با خطر بالا فرونشست، زمین‌لرزه و زمین‌لغزش به ترتیب در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت، قسمت‌های خاوری و شمالی منطقه و نواحی کوهستانی و پرشیب در شمال و خاور منطقه واقع شده‌اند. بنابراین با مطالعه نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل و شناسایی نقاط با پتانسیل بالای خطر در حوضه، می‌توان اثرات زیان‌بار آنها را در عرصه‌های منابع طبیعی و سایر بخش‌ها کاهش داد.

کلمات کلیدی: ناحیه تسوج، فرونشست، زمین‌لرزه، زمین‌لغزش، روش AHP

مقدمه

مهم‌ترین عامل فرونشست زمین، برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی است. فرونشست زمین به طور معمول بلافاصله با خروج سیال رخ نمی‌دهد بلکه در زمانی طولانی‌تر از برداشت اتفاق می‌افتد (Kosloff et al., 1980). مقدار فرونشست زمین برای هر ۱۰ متر افت سطح آب زیرزمینی معمولاً بین ۱ تا ۵۰ سانتی‌متر متغیر است. برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی در دشت تسوج، سبب رخداد فرونشست در این ناحیه گردیده است به طوری که ۳۳ مورد فرونشست در محدوده آبخوان حوضه آبریز دشت تسوج توسط Mokhtari و همکاران (۲۰۱۹) شناسایی شدند. همچنین طبق تحقیقات Khorshiddoost و همکاران (۲۰۱۷) در روستای قلعه مراغوش واقع در دشت تسوج، مشخص شده است که افت سطح ایستابی سبب نشست زمین در برخی از قسمت‌های این ناحیه گردیده است. در مطالعه دیگری توسط Zhu و همکاران (۲۰۱۳)، برای فرونشست شهر پکن مبتنی بر AHP، بهره‌برداری طولانی مدت و در مقیاس بزرگ از آب‌های زیرزمینی منطقه، یکی از دلایل اصلی وقوع این مخاطره در این ناحیه می‌باشد.

یک مخاطره طبیعی عبارت است از احتمال وقوع یک پدیده مخرب در یک مکان معین و در یک بازه زمانی مشخص. البته تمام مخاطرات زمین‌شناسی طبیعی نبوده و برخی از آنها تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی به وجود می‌آیند. در دهه‌های اخیر پیامدهای زیست محیطی متأثر از برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی نیز در اثر افزایش جمعیت همراه با فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی زبان‌های جبران‌ناپذیری را بر پیکره محیط زیست وارد ساخته است. یکی از این پیامدها فرونشست زمین است (Amiri, 2018). پدیده فرونشست به حرکت‌های به طرف پایین قائم یا نزدیک به قائم زمین تحت اثر نیروی جاذبه‌ی زمین اطلاق می‌گردد که می‌تواند دارای بردار جابه‌جایی افقی اندکی نیز باشد (Hafezi Moghaddas and Ghafoori, 2010). فرونشست زمین می‌تواند در اثر عملکرد انسان یا فرایندهای طبیعی باشد. فرایندهای طبیعی مانند زمین‌لرزه‌ها، حرکات تکتونیکی، فوران آتشفشانی، انحلال سنگ‌ها، تراکم رسوبات و ذوب زمین‌های یخ بسته به طور معمول سبب فرونشست تدریجی زمین در ناحیه وسیع می‌گردند. در نواحی خشک و نیمه خشک

زمین لرزه پدیده‌ای است که به طور متناوب گریبانگیر بشر بوده است و از حیث گستردگی قلمرو، کثرت وقوع و شدت خساراتی که وارد می‌سازد، یکی از مهم‌ترین خطرات طبیعی به حساب می‌آید. ارتعاش زمین به طور مستقیم برای انسان خطرناک نبوده و علت اصلی تلفات زلزله‌ها ناشی از بروز پدیده‌هایی نظیر تخریب سازه‌ها، نشست زمین، روانگرایی، سونامی و غیره است. تجربه و یافته‌های علمی نشان می‌دهد که براساس اطلاعات قابل دسترس و استفاده از روش‌های آمار احتمالاتی می‌توان ایمنی سازه‌ها را در مقابل زمین-لرزه‌ها تا حد مطلوب برآورد نمود (Hafezi Moghaddas and Ghafoori, 2010). در تحقیقی توسط Ranjbar و همکاران (۲۰۱۱)، سرچشمه‌های مهم لرزه‌های شهرستان خمین مورد بررسی قرار گرفت. این ناحیه به علت نزدیکی به گسل‌های مهم استان مرکزی از جمله گسل نیزار، گسل خمین، گسل قره کهریز و گسل فرنگ مستعد حوادث طبیعی از جمله زلزله می‌باشد. در مطالعه‌ی دیگری، Erden و همکاران (۲۰۱۲)، به بررسی وزن پارامترهای متداول تأثیرگذار بر زلزله در منطقه Küçükçekmece شهر استانبول پرداختند. در این مطالعه جهت شبیه‌سازی نقشه خطر زلزله^۱ (EHM)، روش AHP و نرم‌افزار GIS به کار گرفته شده است.

در سال‌های اخیر با افزایش خسارات ناشی از وقوع زمین‌لغزش، بشر در صدد کاهش زیان‌های آن برآمده است. از آنجا که پیش‌بینی زمان دقیق وقوع زمین‌لغزش از توان علمی انسان خارج است، بنابراین با شناسایی مناطق مستعد زمین‌لغزش و رتبه‌بندی آنها می‌توان تا حدودی از خطرات ناشی از رخداد این پدیده جلوگیری نمود (Hatamifard et al., 2013). افزایش خسارات حرکات توده‌ای از طرفی به خاطر استفاده از زمین‌های ناپایدار و از طرف دیگر به خاطر دخالت گسترده انسان در طبیعت می‌باشد. Varnes در سال (۱۹۷۸) طبقه‌بندی جامعی برای حرکات توده‌ای بر مبنای مکانیسم حرکت و نوع مصالح درگیر ارائه نمود. در این طبقه‌بندی حرکات توده‌ای به ۶ گروه ریزش، واژگونی، لغزش، جانبی، جریان و حرکات توده‌ای مرکب تقسیم شده است. در مطالعه‌ای توسط Ghavimi Panah و همکاران در سال (۲۰۱۸)، شش عامل جهت جغرافیایی، شیب، ارتفاع، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی و فاصله از رودخانه به عنوان مهم‌ترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های حوضه آبخیز ولی‌عصر واقع در استان اردبیل شناخته شده‌اند. در مطالعه‌ی دیگری He و همکاران (۲۰۱۹)، به بررسی زمین‌لغزش جنوب آنهویی در کشور چین با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS و براساس روش AHP، پرداختند. طبق این گزارش در این منطقه زمین‌لغزش توسط گسل‌ها کنترل می‌شود.

برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و وجود نشانه‌های فرونشست زمین در دشت تسوج، ضرورت نیاز به پهنه‌بندی خطر فرونشست

برداشت بی‌رویه آب‌های زیرزمینی و وجود نشانه‌های فرونشست زمین در دشت تسوج، ضرورت نیاز به پهنه‌بندی خطر فرونشست

1- Earthquake Hazard Map

روش کار

موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی منطقه

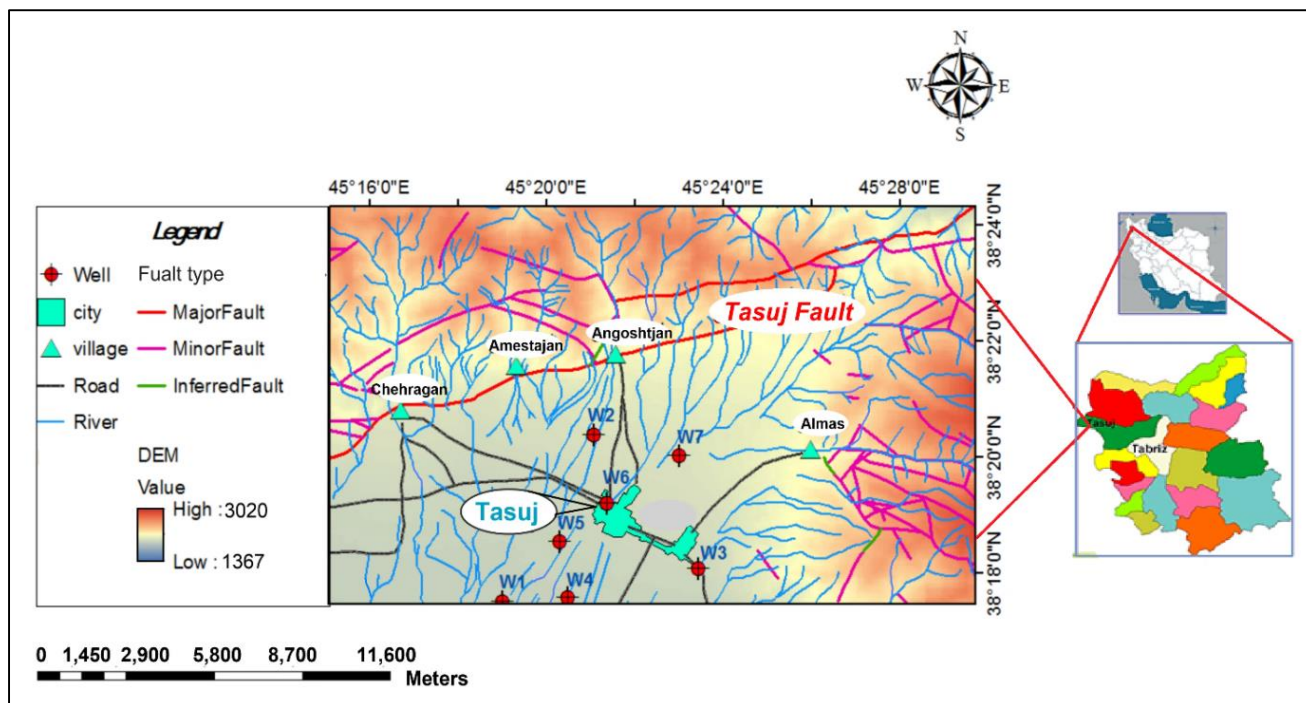
ناحیه تسوج در فاصله حدود ۱۰۰ کیلومتری شمال باختر شهر تبریز قرار گرفته است و از بخش‌های شهرستان شبستر محسوب می‌شود. مختصات جغرافیایی منطقه محدود به طول‌های جغرافیایی $45^{\circ} 15' 0''$ تا $45^{\circ} 30' 0''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی 38° تا $38^{\circ} 25' 0''$ شمالی می‌باشد. منطقه مطالعاتی از جنوب به دریاچه ارومیه، از شمال به محدوده مرند و ارتفاعات میشو و از خاور به شبستر و از باختر به سلماس محدود شده است (شکل ۱). دشت تسوج تنها ۲۵۸ کیلومتر مربع را شامل می‌شود و مساحت کل محدوده مطالعاتی از دشت برابر ۴۱ کیلومتر مربع است. آبخوان آزاد موجود در این دشت به عنوان منبع اصلی آب جهت شرب و کشاورزی می‌باشد. دشت تسوج یکی از دشت‌های حوضه دریاچه ارومیه محسوب می‌شود که شدیداً با بحران کاهش سطح آب زیرزمینی مواجه است (Nadiri et al., 2011).

براساس زون‌بندی‌های ساختمانی در ایران، محدوده مطالعاتی تسوج در ادامه شمال باختری زون زمین‌ساختی ایران مرکزی و زون تکتونیکی سنندج - سیرجان و جنوب واحد زمین‌ساختی البرز - آذربایجان قرار دارد (Nabavi, 1976). با این وجود تفاوت‌های موجود بین این ناحیه و دو زون مذکور سبب می‌شود تا این زون مستقل به نام خوی - مه‌باد میان این دو زون تفکیک گردد. گسل‌های بسیاری در منطقه وجود دارند که برخی از آنها حتی آبرفت‌های دوران چهارم را قطع می‌کنند. گسل تسوج که گسلی ژرف و با سازوکار فشاری و معکوس می‌باشد با درازای ۶۱ کیلومتر و

مقاومت لیتولوژیکی آن باعث شده که این سازند جزء برجستگی‌های توپوگرافیکی منطقه باشد. سازند روته (Pr) در جنوب باختر حوضه با لیتولوژی کربناته برونزد دارد و با توجه به فسیل یافت شده در آن، سن پرمین بالایی برای آن تعیین شده است.

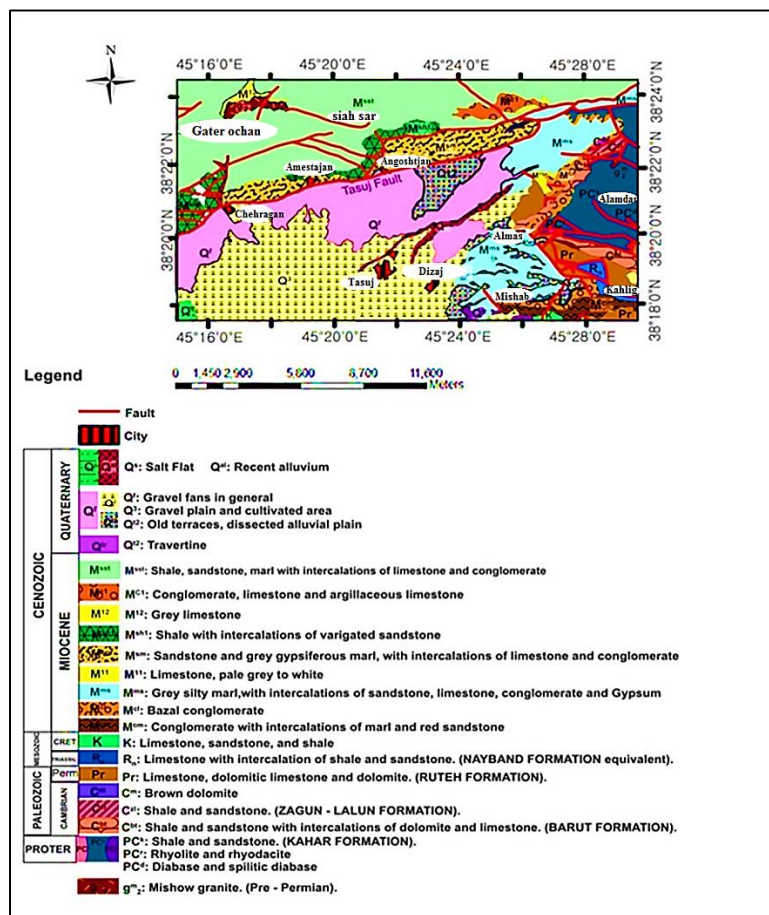
رسوبات مزوزوئیک در منطقه به نهشته‌های تریاس بالایی و کرتاسه در جنوب باختر حوضه محدود شده است. سازندهای دوران سنوزوئیک بیشترین بخش برونزدهای سازند سخت منطقه را به خود اختصاص داده‌اند و به دو گروه تخریبی و تبخیری تقسیم می‌شوند. رسوبات مربوط به دوره میوسن به لحاظ گستردگی و دارا بودن گسله‌های فراوان که بیشتر خاوری - باختری هستند نقش مهمی را در تغذیه و ذخیره آبخوان دشت دارد. در جنوب باختر منطقه مطالعاتی، رسوبات کربناتی با سن پلیوکواترنر دیده می‌شوند که گاهی ضخامت آنها به ده‌ها متر می‌رسد. آبرفت‌های عهد حاضر به دو بخش پادگانه آبرفتی و مخروط‌افکنه‌ها تقسیم می‌شوند.

روندی خمدار از ۵ کیلومتری شمال تسوج و دریاچه ارومیه می‌گذرد (شکل ۱). گسل تسوج، گسلی فعال و لرزه‌خیز است و در دو سده اخیر هفت زلزله وابسته به آن را ثبت نموده‌اند (Khodabandeh and Amini Fazl, 1993). تنوع سازندها در منطقه مطالعاتی بسیار زیاد است و هر سه گروه سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی به چشم می‌خورد و در گستره پرکامبرین تا عهد حاضر رخنمون دارند (شکل ۲). واحدهای اصلی زمین‌شناسی در محدوده مطالعاتی عبارتند از: سازند کهر (PC^k) از مهم‌ترین نهشته‌های پرکامبرین است که در شمال خاور منطقه در کوه علمدار ضخامت قابل توجهی از رسوبات تخریبی ریزدانه مثل شیل و شیل ماسه‌ای و کمی ماسه‌سنگ را دارا بوده، دگرگونی کمی را از خود نشان می‌دهد و بیشتر به اسلیت و به ندرت به فیلیت تبدیل شده‌اند. سازند باروت (C^{bt}) در منطقه با رخساره شیلی است. سازند میلا (C^m) در شمال خاور حوضه بر روی نهشته‌های سازند لالون - زاگون با همبری گسله دیده می‌شود. لیتولوژی آن شامل دولومیت حاوی گرهک‌های چرت بوده و فاقد فسیل می‌باشد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی.

Fig. 1. Location of the study area.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (Khodabandeh and Amini Fazl., 1999).

Fig. 2. Geological map of the study area (Khodabandeh and Amini Fazl., 1999).

روش AHP

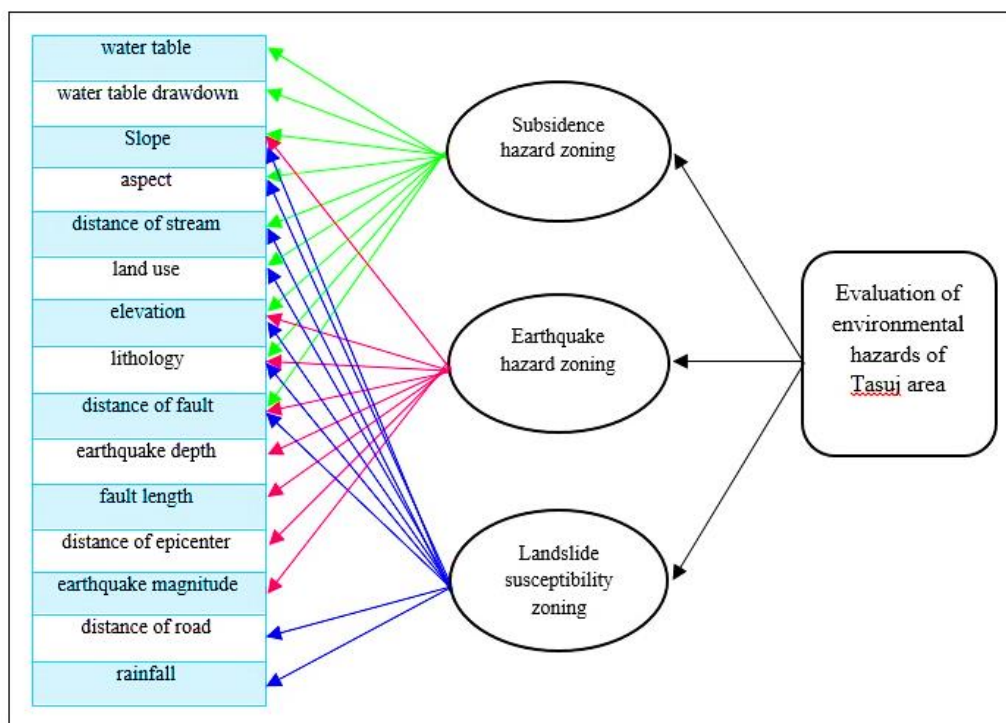
همچنین ساختار دادن به مسأله تصمیم‌گیری با تشکیل سلسله مراتب صورت می‌گیرد (شکل ۳). در این مطالعه روند مدل‌سازی AHP به این صورت می‌باشد: ۱. ساختن درخت سلسله مراتب تصمیم ۲. انجام مقایسه‌های زوجی ۳. محاسبه وزن‌های نسبی و نهایی ۴. آزمایش سازگاری ۵. رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها. نقطه ضعف اصلی این روش این است که اولویت ذهنی در رتبه‌بندی از عوامل جزء مسئله ممکن است از یک متخصص به دیگری متفاوت باشد (Behyari, 2017). در این پژوهش، لایه‌های اطلاعاتی مؤثر بر موضوع مورد پژوهش که شامل: سطح ایستابی آب زیرزمینی، افت سطح آب زیرزمینی، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه، کاربری اراضی، ارتفاع، لیتولوژی، فاصله از گسل، عمق زلزله، طول گسل، فاصله از مرکز سطحی زمین‌لرزه، بزرگی زلزله، فاصله از جاده و بارندگی می‌باشند، تهیه گردید. سپس در نرم‌افزار Arc GIS با استفاده از Extension AHP ماتریس‌ها و مقادیر وزنی معیارها (جدول ۲، ۳ و ۴) محاسبه شده، سپس نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست، خطر زمین‌لرزه و هم‌چنین نقشه پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش منطقه مطالعاتی استخراج گردید.

مدل AHP یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است. این مدل بر مبنای سه اصل تجزیه، مقایسه‌های زوجی، جمع‌بندی و اولویت‌بندی گزینه‌ها استوار است و قضاوت و محاسبات را تسهیل می‌کند (Saaty, 1994). همانطور که در جدول ۱ نشان داده شده است، در روش AHP مقایسه عوامل با استفاده از یک مقیاس از ۱ تا ۹ ساخته شده است. اگر معیارها رابطه مستقیم با هم داشته باشند، از مقیاس ۱ تا ۹ و در صورتی که عوامل مؤثر رابطه معکوس داشته باشند از مقیاس ۱/۲ تا ۱/۹ نشان داده خواهند شد (Saaty, 1977). در این تکنیک میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم نشان داده می‌شود که از مزایای ممتاز آن در تصمیم‌گیری چندمعیاره است (Ghodsipour, 2007). تجربه نشان داده است که اگر نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری مقایسه‌ها قابل قبول است و در غیر این صورت باید در مقایسه‌ها تجدیدنظر شود. از دیگر مزایای این مدل، استفاده از آن در تصمیم‌گیری با معیارهای کمی است و

جدول ۱- مقیاس اولویت‌ها بین دو پارامتر در روش AHP (Saaty and Vargas., 2001).

Table 1. Priority scale between two parameters in AHP method (Saaty and Vargas., 2001).

Description	Dominant value
Equal importance	1
Moderate prevalence of one over another	3
Strong or essential prevalence	5
Very strong or demonstrated prevalence	7
Extremely high prevalence	9
Intermediate values	2,4,6,8



شکل ۳- فلوچارت سلسله مراتب تصمیم براساس روش AHP در پژوهش حاضر.

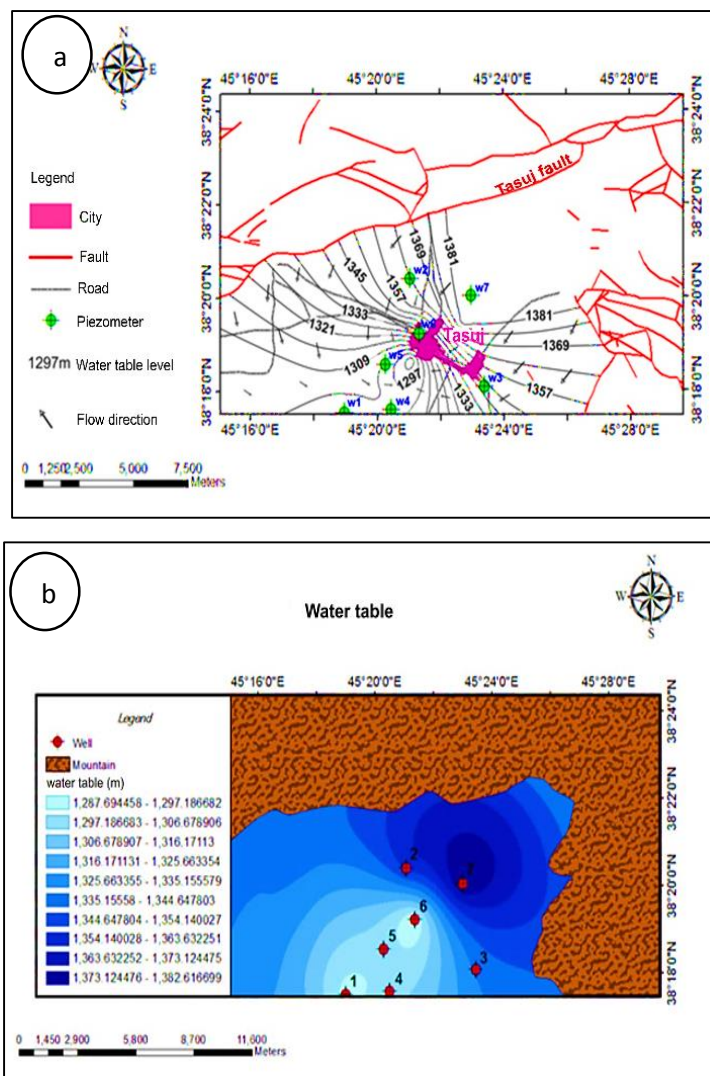
Fig. 3. Hierarchy of decision fluchart based on AHP method in the present study.

بحث و نتایج

فرونشست

پارامترهای زیادی بر وقوع فرونشست در یک ناحیه تأثیر می‌گذارند که هر کدام از آنها نقش متفاوتی بر روی فرونشست‌ها دارند. اصلی‌ترین دلیل فرونشست زمین در دشت تسوج، افت سطح آب زیرزمینی، بروز بحران آب و دوره خشکسالی موجود در منطقه طی سالیان اخیر می‌باشد (Mokhtari et al., 2019). جهت بررسی نوسانات سطح آب زیرزمینی، جهت جریان آب زیرزمینی، نواحی تغذیه و تخلیه، نقشه سطح ایستابی آبخوان دشت برای سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷، با استفاده از داده‌های ۷ چاه پیژومتری موجود در منطقه که از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی اخذ شده

بود، ترسیم گردید. با بررسی نقشه هم تراز سطح ایستابی در سال ۱۳۹۷ برای دشت تسوج (شکل a۴) قابل مشاهده است که منحنی-ها از آرایش نسبتاً ملایمی برخوردار بوده و محل‌های تغذیه در دشت، قسمت شمال خاوری بوده و جهت جریان غالب از شمال خاور به جنوب باختر و جنوب می‌باشد. جهت فرآیند پهنه‌بندی، لایه رستری تراز سطح ایستابی برای کل دشت مطالعاتی، توسط نرم‌افزار Arc GIS و با استفاده از روش درونیایی Kriging و مقادیر تراز سطح ایستابی چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه، تهیه گردید (شکل b۴).



شکل ۴- (a) نقشه تراز سطح ایستابی آبخوان تسوج در سال ۱۳۹۷ و (b) نقشه رستری تراز سطح ایستابی آبخوان تسوج در سال ۱۳۹۷.
 Fig. 4. (a) The map of the water table level of the Tasuj aquifer in 2018, (b) the raster map of the water table level of the Tasuj aquifer in 2018.

و جنوب دشت با افت سالیانه ۶۰ سانتی متری (۶ متر در مجموع ده سال) روبه‌رو بوده است، هم‌چنین در این نقشه محدوده با ریسک بالای فرونشست مشخص شده است. لایه رستری نقشه هم افت سطح ایستابی برای کل دشت مطالعاتی، به منظور انجام فرآیند پهنه‌بندی خطر فرونشست توسط نرم‌افزار Arc GIS و با روش درونیایی Kriging نیز تهیه گردید (شکل ۶b).

در بسیاری از مطالعات صورت گرفته، لیتولوژی به عنوان مهم‌ترین پارامتر تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی در نظر گرفته شده است. براساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج (شکل ۲)، مشاهده می‌گردد که بیشتر قسمت‌های دشت توسط لایه‌های زمین‌شناسی کواترنری پوشیده شده و رسوبات مربوط به دوره میوسن، به دلیل وجود گسل‌های فراوان و افزایش نفوذپذیری، نقش مهمی را در تغذیه و ذخیره آبخوان دشت تسوج ایفا می‌کنند. این رسوبات در قسمت مرکزی و جنوب منطقه، با توجه به خاصیت تراکم‌پذیری و

برای بررسی میزان نوسانات سطح ایستابی در آبخوان، هیدروگراف معرف دشت استخراج شد (شکل ۵a). هیدروگراف معرف آبخوان این دشت، نشان‌دهنده نوسان تراز سطح ایستابی در طی دوره ده ساله (۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷) و کاهش چشمگیر آن به خصوص در طول سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ می‌باشد که آن را می‌توان به افزایش بهره‌برداری از منابع آب یا کاهش سطح ایستابی در منطقه و همچنین وقوع دوره کم آبی و خشکسالی نسبت داد. جهت بررسی دقیق‌تر میزان افت، تغییرات سطح ایستابی در هفت چاه مشاهده‌ای که در منطقه مطالعاتی قرار دارند، اقدام گردید (شکل ۵b).

فرونشست ناشی از افت سطح آب زیرزمینی سبب تراکم برگشت‌ناپذیر در آبخوان می‌شود. میزان افت ده ساله دشت تسوج در فاصله زمانی سال‌های ۱۳۸۷ تا ۱۳۹۷ محاسبه و نقشه هم‌افت دشت رسم گردید (شکل ۵a). با توجه به این نقشه، محدوده مرکزی

این اهمیت و خطر وقوع فرونشست کاهش می‌یابد. گسل‌ها و شکستگی‌ها با تأثیراتی که بر روی واحدهای سنگی می‌گذارند، علاوه بر فعالیت‌های لرزه‌ای و وقوع زمین‌لرزه سبب تحریک مخاطرات دیگری همچون فرونشست‌های ناگهانی می‌شوند. جهت ایجاد نقشه فاصله از گسل، خطوط گسل موجود در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه رقومی شد و سپس از طریق نرم‌افزار Arc GIS نقشه مورد نظر استخراج گردید (شکل f۷). بر این اساس هر چه فاصله از خطوط گسل بیشتر باشد، منطقه تناسب کمتری برای احتمال فرونشست زمین دارا بوده و هرچه فاصله به خطوط نزدیکتر شود، این میزان احتمال بیشتر می‌شود.

با توجه به نقشه‌های تهیه شده و تلفیق آنها با متد وزنی (جدول ۲)، نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست برای منطقه به دست آمد (شکل ۸). با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۸، مناطق با رنگ قرمز پرخطرترین و ناپایدارترین محدوده‌ها را نشان می‌دهند که اغلب در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت واقع هستند و مناطق با خطر کم، با رنگ آبی نشان داده شده‌اند.

زمین لرزه

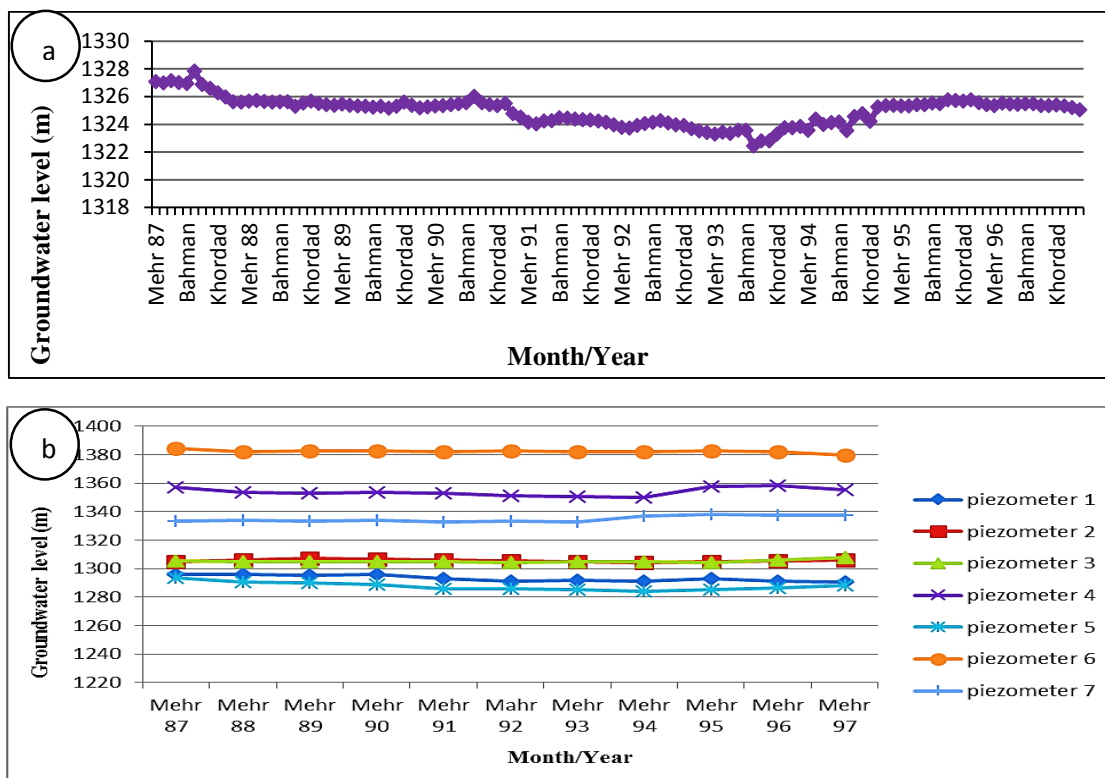
براساس شرایط لیتولوژیکی منطقه، بیشتر قسمت‌های دشت با سری‌های زمین‌شناسی پادگانه‌های آبرفتی جدید و قدیمی دارای سختی کمتر بوده و در نتیجه باعث تشدید زلزله می‌شوند اما در نواحی دیگر به ویژه کوهستان‌ها، به دلیل وجود سازندهای سخت از جمله کنگلومرا و ماسه‌سنگ و گسترش واحدهایی به سن میوسن با لیتولوژی شیلی در شمال منطقه، دارای سختی بیشتر بوده و باعث کم شدن توان زمین‌لرزه می‌گردند (شکل ۲). رخداد زمین‌لرزه در یک محل نشان از خطر لرزه‌ای آن محل دارد و احتمال تکرار زمین‌لرزه و آزادشدن انرژی در نزدیکی همان محل می‌باشد (Ekhlaspour, 2014). لایه اطلاعاتی مراکز سطحی زمین‌لرزه‌ها، از داده‌های لرزه‌ای مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برای بازه زمانی سال‌های ۱۹۱۴ تا ۲۰۱۹ و همین‌طور از اطلاعات موجود برای زمین‌لرزه‌های تاریخی منطقه مطالعاتی که توسط Ambraseys و Melville (۱۹۸۲) جمع‌آوری شده است، به دست آمد. در (شکل a۹) موقعیت رو مرکز زمین‌لرزه‌ها نشان داده شده است. با استفاده از داده‌های لرزه‌ای این شکل، نقشه رستری فاصله از مرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها در محیط نرم افزار Arc GIS تهیه گردید (شکل b۹). در این لایه فواصل نزدیکتر به رومرکز زمین‌لرزه‌ها دارای اهمیت نسبی بیشتری نسبت به سایر فواصل هستند. گسل‌ها به عنوان چشمه‌های لرزه‌ای، از جمله اصلی‌ترین عوامل در جابه‌جایی‌های صفحه‌ای و خروج نیرو محسوب می‌شوند (Rahimi Shahid et al., 2018). با توجه به نقشه فاصله از گسل (شکل f۷)، بخش‌های قرمز رنگ دارای فواصل نزدیک به گسل بوده و خطر لرزه‌ای در این نواحی بالا می‌باشد. همچنین در راستای مطالعات تکمیلی، لایه چگالی کلی گسل‌ها توسط نرم‌افزار Arc GIS استخراج شد (شکل

اهمیت ضخامت در آنها سبب تسهیل در فرونشست می‌شوند. نوع کاربری اراضی محدوده مطالعاتی، براساس بانک اطلاعات سازمان نقشه‌برداری استان آذربایجان شرقی تهیه شد (شکل a۷). با توجه به اهمیت دشت تسوج و افزایش بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی در این ناحیه، قسمت‌های مرکزی و باختر دشت به دلیل وجود اراضی کشاورزی و باغات و همچنین تراکم چاه‌های بهره‌برداری، نقش بیشتری را در وقوع فرونشست ناحیه ایفا می‌کنند و مناطق بایر و فاقد پوشش گیاهی اهمیت کمتری به خود اختصاص می‌دهند. یکی دیگر از پارامترهای تأثیر گذار در فرونشست زمین، شاخص ارتفاع می‌باشد که با استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاع^۱ (DEM) منطقه، تهیه شده است (شکل b۷). نتایج حاصل از پژوهش (Mokhtari et al., 2019) در حوضه آبریز دشت تسوج، نشان می‌دهد که بیش از ۸۵ درصد فرونشست‌های ثبت شده در مناطق با ارتفاع بین ۱۰۳۵ تا ۱۰۹۰ متر رخ داده‌اند. یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در وقوع ناپایداری، شاخص شیب می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه این شاخص با استفاده از داده‌های DEM منطقه به دست آمده است (شکل c۷). بررسی این شاخص نشان می‌دهد که در قسمت‌های شمالی و خاوری دشت و دامنه‌های کوهستانی، شیب با درصد بالایی نسبت به سایر نواحی دشت وجود دارد. سرعت حرکت آبراهه‌ها در مناطق با درصد شیب کم، کمتر بوده و در نتیجه آب‌های سطحی فرصت کافی برای نفوذ به عمق زمین و وقوع ناپایداری در منطقه خواهند داشت. همچنین بیشتر فرونشست‌های ثبت شده در مناطق با شیب بین ۱ تا ۹ درجه هستند، در حالی که تعداد بسیار اندکی از فرونشست‌ها در مناطق با شیب بیشتر از ۱۰ درجه وجود دارند (Mokhtari et al., 2019). جهت شیب یکی دیگر از عوامل مهم در رخداد ناپایداری‌ها می‌باشد. جهت تهیه این معیار، از داده‌های DEM منطقه استفاده شده است (شکل d۷). در این نقشه مناطق با جهت شیب‌های جنوبی و باختری، دارای بیشترین زمان تابش و مقدار تبخیر در طول روز هستند و در نتیجه تأثیر کمتری در وقوع فرونشست در ناحیه دارند. اما مقدار تبخیر در مناطق با جهت شیب‌های شمالی و خاوری به دلیل کم بودن میزان تابش خورشید در طول روز، کمتر بوده و در نهایت رواناب بیشتری در سازندهای منطقه نفوذ میکند که سبب ناپایداری در منطقه می‌شود. از عوامل مهم دیگر شاخص آبراهه‌ها می‌باشد. آبراهه با افزایش فشار آب منفذی، سبب کاهش زاویه اصطکاک داخلی واحدهای سنگی شده و وقوع ناپایداری را تسهیل می‌کند. آبراهه‌های محدوده با استفاده از روش‌های دورسنجی و استخراج لایه رقومی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه به دست آمد و در نهایت لایه فاصله از آبراهه استخراج شد (شکل e۷). با توجه به این نقشه، فواصل نزدیک به آبراهه‌ها دارای بیشترین وزن نسبی اهمیت می‌باشند و با افزایش فاصله از آبراهه‌ها

1- Digital Elevation Model

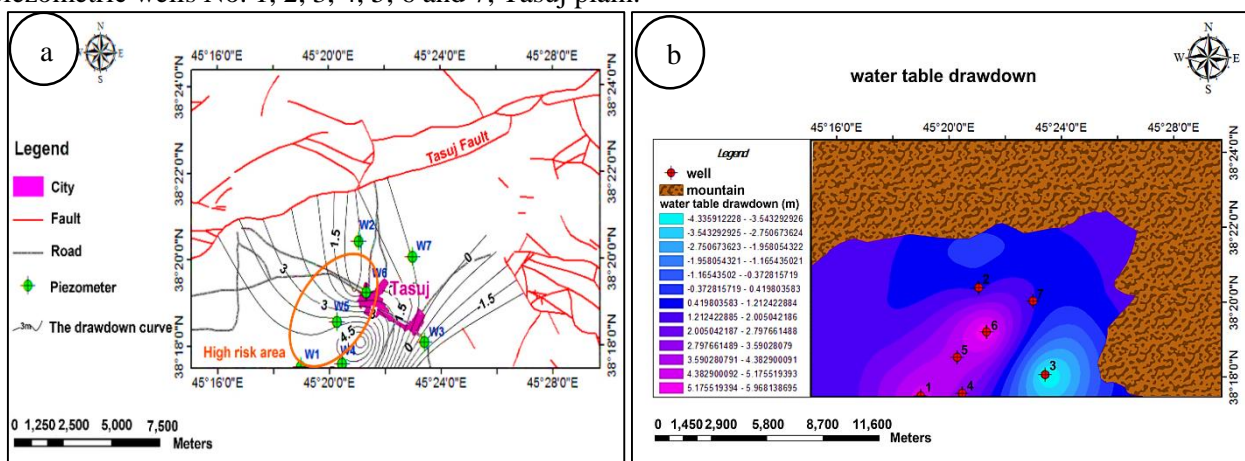
گسل می‌باشد. نقشه تقسیم‌بندی طول گسل منطقه توسط نرم افزار Arc GIS تهیه شد (شکل ۹d). براساس این نقشه، خطر لرزه-خیزی در اطراف گسل‌های با طول بیشتر که در شمال محدوده مطالعاتی واقع شده‌اند، نسبت به سایر گسل‌ها بالاتر می‌باشد.

۹c). بررسی نقشه چگالی گسل‌های منطقه، نشان‌دهنده وجود محدوده خطر زمین لرزه با ریسک بالا در جنوب خاوری و شمال ناحیه مطالعاتی به دلیل وجود سیستم شکستگی‌های متراکم‌تر می‌باشد. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار در لرزه‌خیزی یک منطقه طول



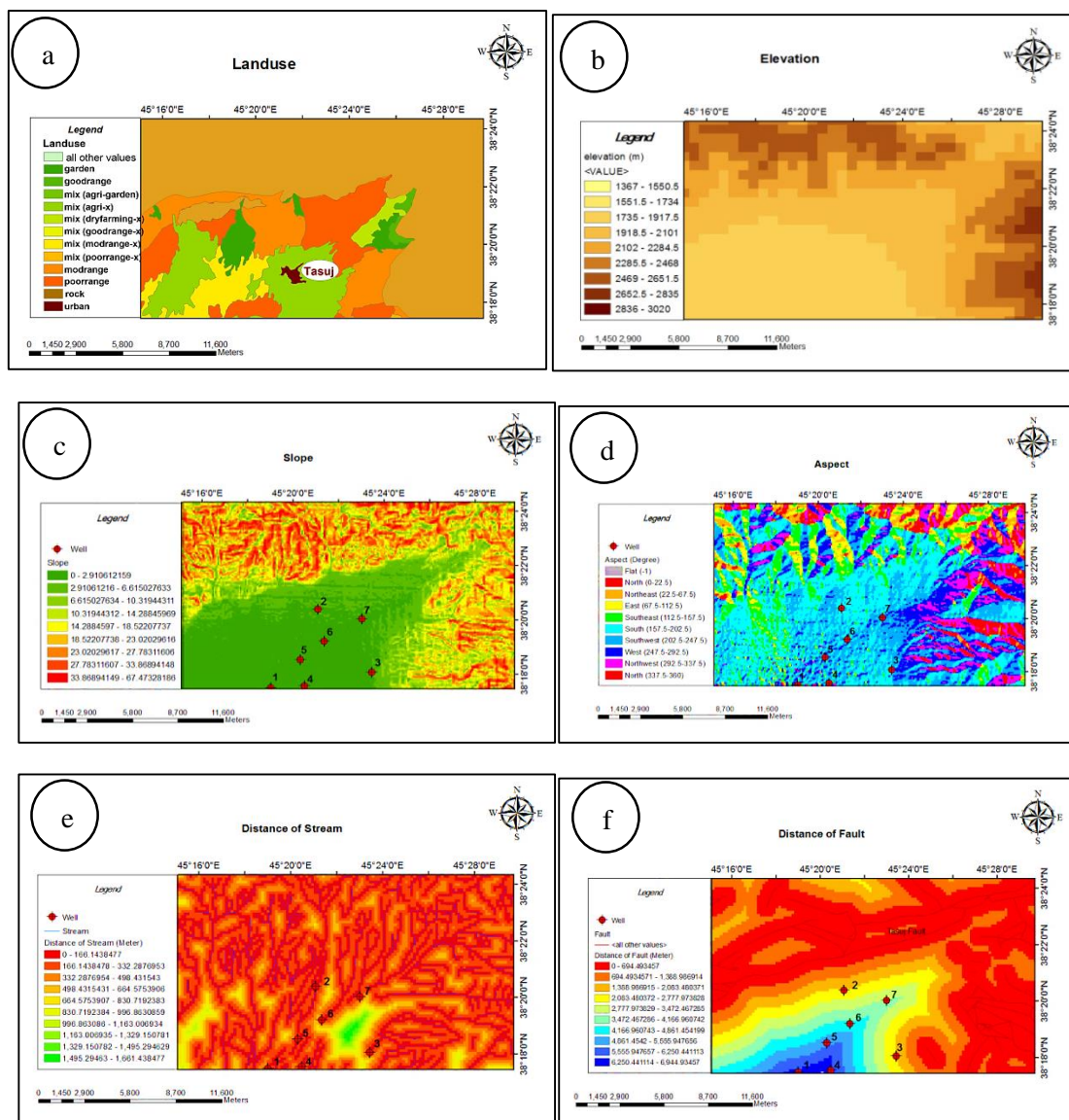
شکل ۵- (a) هیدروگراف آبخوان دشت تسوج در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۷، (b) تغییرات سطح ایستابی در چاه‌های پیزومتری شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷، دشت تسوج.

Fig. 5. (a) The hydrograph of the Tasuj plain aquifer in the period 2008–2018 and (b) water table changes in piezometric wells No. 1, 2, 3, 4, 5, 6 and 7, Tasuj plain.



شکل ۶- (a) نقشه افت سطح ایستابی آبخوان دشت تسوج در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۷، (b) نقشه رستری افت سطح ایستابی آبخوان دشت تسوج در بازه زمانی ۱۳۹۷-۱۳۸۷.

Fig. 6. (a) The map of the Water table drawdown of the Tasuj plain aquifer in the period 2008 – 2018 and (b) The raster map of the Water table drawdown of the Tasuj plain aquifer in the period 2008 – 2017.



شکل ۷- (a) نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه، (b) نقشه ارتفاع، (c) نقشه شیب، (d) نقشه جهت شیب، (e) نقشه فاصله از آبراهه‌ها، (f) نقشه فاصله از گسل.

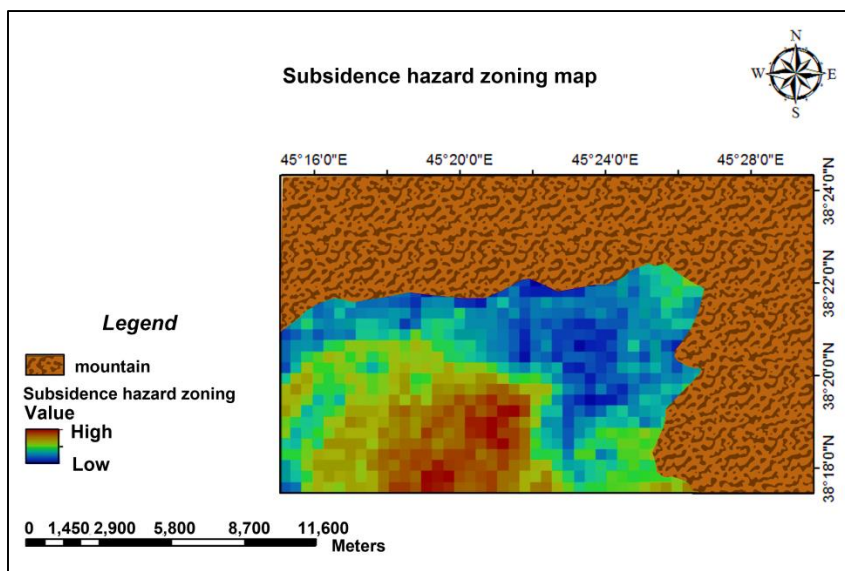
Fig. 7. (a) Landuse map of the study area, (b) elevation map, (c) slope map, (d) aspect map, (e) distance of streams map, and (f) distance of fault map.

جدول ۲- ماتریس معیارهای تأثیرگذار بر فرونشست، مقادیر وزنی آنها و نرخ سازگاری.

Table 2. The matrix of criteria influencing subsidence, their weight value and consistency ratio.

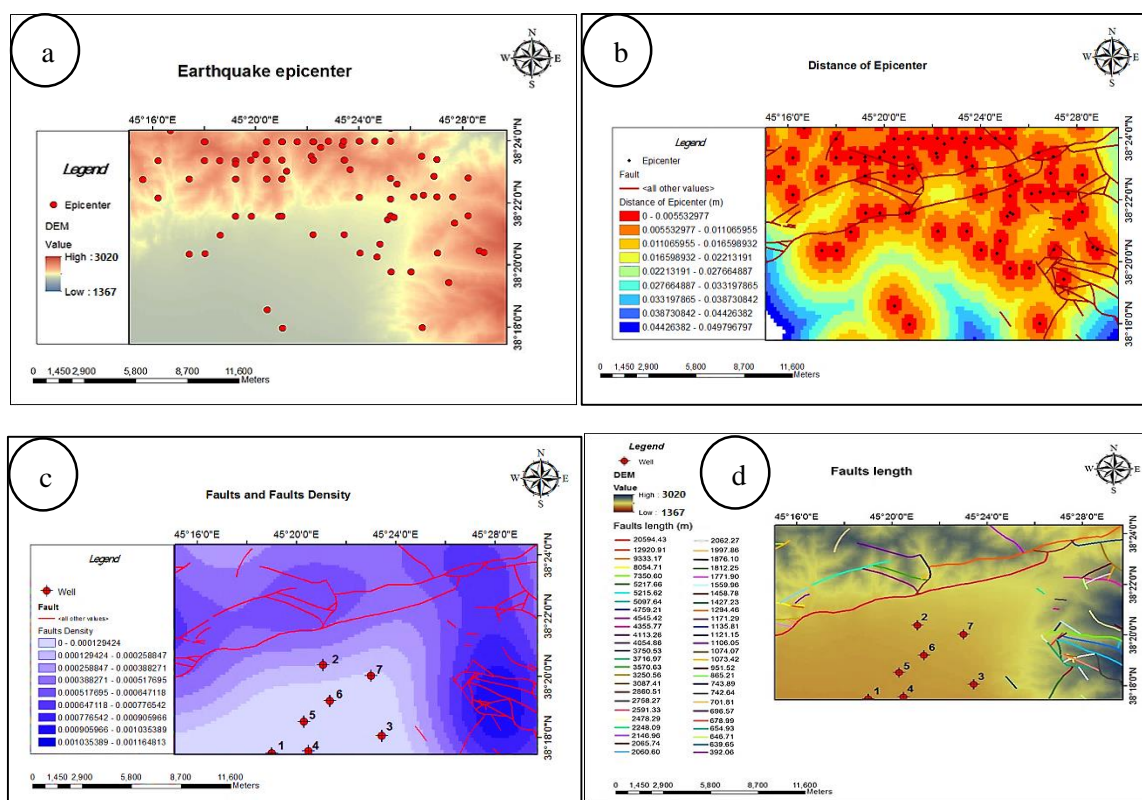
Data layers	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	Weighting
(a) Water table drawdown	1	3	0.5	2	3	3	3	2	3	0.1873
(b) Slope	0.3333	1	0.33	0.5	0.5	2	2	0.33	0.5	0.0612
(c) Water table	2	3.0303	1	2	3	4	4	3	3	0.2417
(d) Distance of stream	0.5	2	0.5	1	2	3	3	2	3	0.1458
(e) Distance of fault	0.3333	2	0.3333	0.5	1	2	3	0.5	2	0.0903
(f) Aspect	0.3333	0.5	0.25	0.3333	0.5	1	2	0.5	0.5	0.05
(g) Elevation	0.3333	0.5	0.25	0.3333	0.3333	0.5	1	0.5	0.5	0.0414
(h) Lithology	0.5	3.0303	0.3333	0.5	2	2	2	1	2	0.1114
(i) Landuse	0.3333	2	0.3333	0.3333	0.5	2	2	0.5	1	0.071

Consistency Ratio (CR) = 0.0361



شکل ۸- نقشه پهنه‌بندی خطر فرونشست ناحیه تسوج.

Fig. 8. Subsidence hazard zoning map of the Tasuj area.



شکل ۹- (a) موقعیت مرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها در منطقه مورد مطالعه، (b) نقشه فاصله از مرکز سطحی زمین‌لرزه‌ها، (c) نقشه گسل‌ها و چگالی گسل‌ها و (d) نقشه طول گسل.

Fig. 9. (a) Location of the earthquakes epicenter of the study area, (b) distance of earthquakes epicenter map, (c) faults and faults density map, and (d) fault length map.

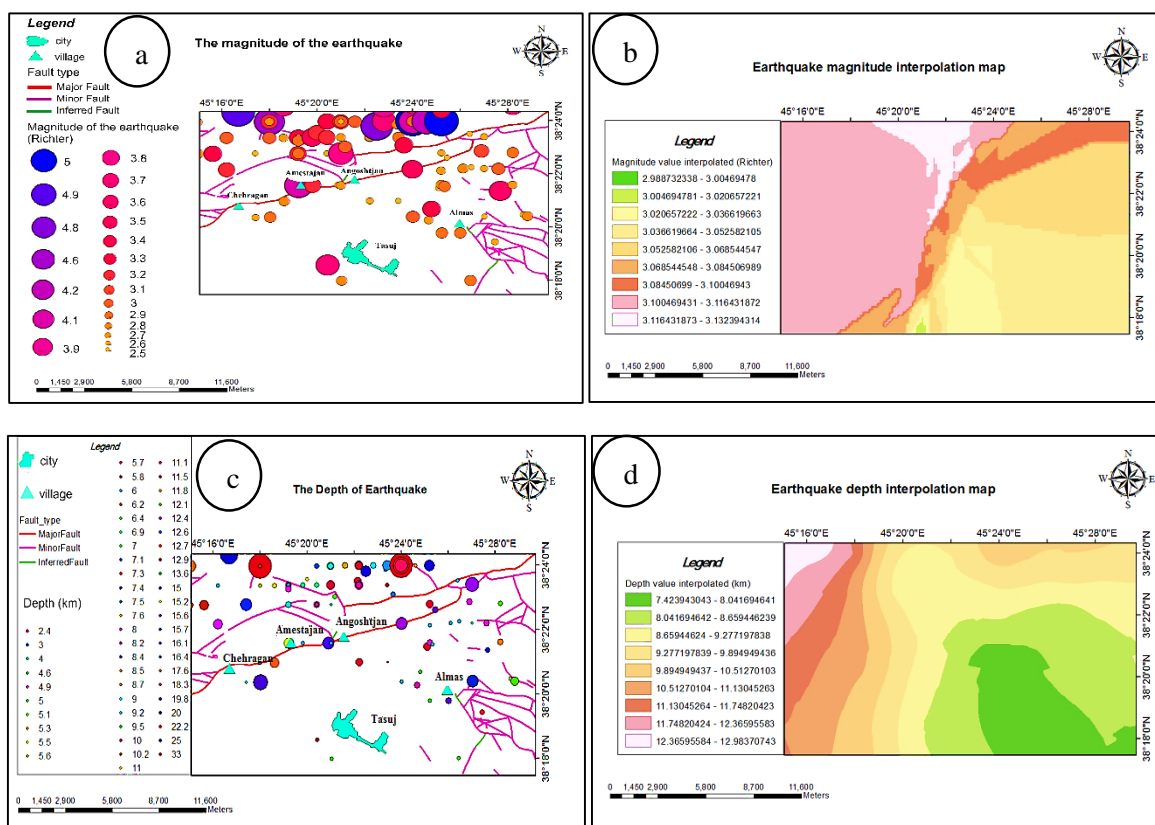
برای بازه زمانی ۱۹۱۴ تا ۲۰۱۹ اخذ شده بود، استفاده گردید (شکل ۱۰a). با توجه به این شکل بزرگی زمین‌لرزه‌ها در نواحی شمالی محدوده مطالعاتی مقادیر بیشتری به خود اختصاص داده‌اند.

با افزایش بزرگی زمین‌لرزه خطر ناشی از زمین‌لرزه افزایش یافته و محدوده وسیعتری را متأثر می‌سازد. جهت تهیه این لایه، از داده‌های زمین‌لرزه‌های منطقه که از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران

سطحی زمین‌لرزه‌ها (شکل ۸۹)، اکثریت زلزله‌های منطقه در نواحی مرتفع و کوهستانی و پرشیب رخ داده‌اند؛ لذا از شاخص ارتفاع و شیب (شکل‌های b۷ و c۷) نیز در پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه استفاده گردید.

با توجه به نقشه‌های تهیه شده و تلفیق آنها با روش وزنی (جدول ۳)، نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لرزه برای منطقه به دست آمد (شکل ۱۱). با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۱۱، مناطق با رنگ آبی پرخطرترین و لرزه‌خیزترین محدوده‌ها را نشان می‌دهند که اغلب در قسمت‌های خاوری و شمالی منطقه مطالعاتی واقع هستند و مناطق با خطر کم، با رنگ زرد نشان داده شده‌اند.

همچنین نقشه درونیایی شده بزرگی زمین‌لرزه‌ها برای منطقه مورد مطالعه توسط نرم افزار Arc GIS و روش درونیایی Kriging تهیه شد (شکل ۱۰b). هر چه زلزله‌های یک منطقه عمق و ژرفای کمتری داشته باشند، شدت تخریب بیشتر خواهد بود و عمیق بودن زمین‌لرزه‌ها در یک منطقه از شدت تخریب آنها می‌کاهد. جهت تهیه این لایه، از داده‌های لرزه‌ای مراکز سطحی زمین‌لرزه‌های منطقه که از مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برای بازه زمانی ۱۹۱۴ تا ۲۰۱۹ اخذ شده بود، استفاده گردید (شکل ۱۰c). همین‌چنین نقشه درونیایی شده عمق زمین‌لرزه‌ها برای منطقه مورد پژوهش توسط نرم افزار Arc GIS و روش درونیایی Kriging تهیه شد (شکل ۱۰d). براساس اطلاعات به دست آمده از مراکز



شکل ۱۰- (a) نقشه پراکندگی بزرگی زمین‌لرزه‌ها در بازه زمانی ۲۰۱۹ - ۱۹۱۴، (b) نقشه درونیایی شده بزرگی زمین‌لرزه‌های ناحیه تسوج در بازه زمانی ۲۰۱۹ - ۱۹۱۴، (c) نقشه پراکندگی عمق زمین‌لرزه‌ها در بازه زمانی ۲۰۱۹ - ۱۹۱۴ (دایره‌های بزرگ نمایانگر عمق‌های زیاد هستند) و (d) نقشه درونیایی شده عمق زمین‌لرزه‌های ناحیه تسوج در بازه زمانی ۲۰۱۹ - ۱۹۱۴.

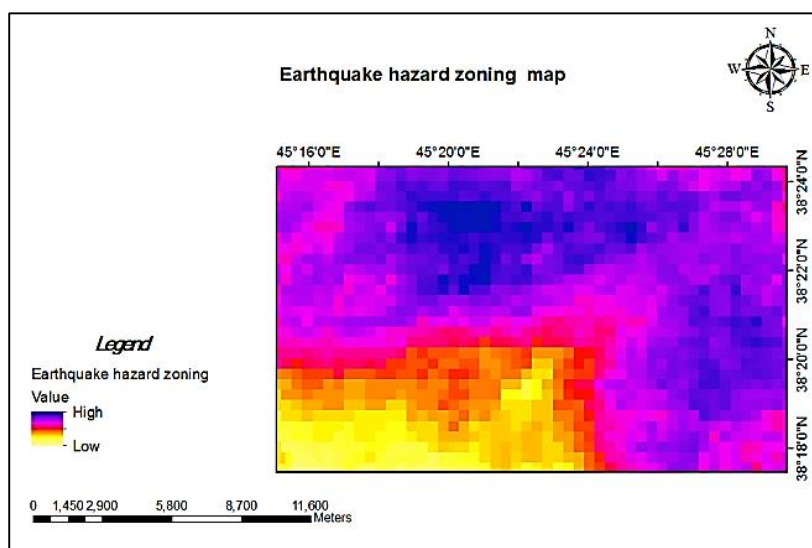
Fig. 10. (a) Earthquakes magnitude distribution map in the period 1914 - 2019, (b) Earthquakes magnitude interpolation map of the Tasuj area in the period 1914 - 2019, (c) Earthquakes depth distribution map in the period 1914 - 2019 (big circles indicate high depth), and (d) Earthquakes depth interpolation map of the Tasuj area in the period 1914 - 2019.

جدول ۳- ماتریس معیارهای تأثیرگذار بر زمین لرزه، مقادیر وزنی آنها و نرخ سازگاری.

Table 3. The matrix of criteria influencing earthquake, their weight value and consistency ratio.

Data layers	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	Weighting
(a) Distance of epicenter	1	2	2	0.33	0.33	2	2	3	0.1394
(b) Earthquake magnitude	0.5	1	0.5	0.5	0.5	2	2	3	0.102
(c) Earthquake depth	0.5	2	1	0.5	2	2	2	3	0.1508
(d) Distance of fault	3.0303	2	2	1	3	3	3	4	0.2634
(e) Faults length	3.0303	2	0.5	0.3333	1	3	3	2	0.1643
(f) Slope	0.5	0.5	0.5	0.3333	0.3333	1	2	0.5	0.0619
(g) Elevation	0.5	0.5	0.5	0.3333	0.3333	0.5	1	0.5	0.0523
(h) Lithology	0.3333	0.3333	0.3333	0.25	0.5	2	2	1	0.0659

Consistency Ratio (CR) = 0.0704



شکل ۱۱- نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لرزه ناحیه تسوج.

Fig. 11. Earthquake hazard zoning map of the Tasuj area.

زمین لغزش

بیشترین اهمیت را به خود اختصاص می‌دهند. بعد از پادگانه‌های آبرفتی قدیمی و جدید، سنگ‌های مقاوم موجود در منطقه که عمدتاً شامل ریولیت، دیوداسیت و گرانیت میشو هستند در رتبه آخر از نظر اهمیت قرار می‌گیرند، این برونزدها به نظر می‌رسد به دلیل لرزه‌های فراوان ناشی از پهنه‌های گسلی موجود در آنها، موجب افزایش احتمال وقوع زمین لغزش در ناحیه شوند (شکل ۲). پوشش گیاهی با کاهش مقدار آب بر روی دامنه‌ها سبب جلوگیری از وقوع لغزش می‌شود. با توجه به (شکل ۲۷)، مناطق شمالی و شرقی محدوده، فاقد پوشش گیاهی قابل توجهی بوده و توسط رخنمون‌های سنگی پوشیده شده‌اند. بنابراین این نواحی پتانسیل بالایی در احتمال وقوع زمین لغزش دارند. همچنین مناطق با رنگ قرمز و نارنجی نشانگر زمین‌های بایر و فقیر از پوشش گیاهی هستند و در رتبه دوم از نظر اهمیت قرار دارند؛ در مقابل قسمت‌های با طیف سبز رنگ شامل باغات، زمین‌های کشاورزی و پوشش

وضعیت زمین‌شناسی منطقه بی تردید نقش اساسی در پراکندگی زمین لغزش‌ها دارد. در محدوده مطالعاتی رسوبات مربوط به دوره میوسن در اطراف کوه سیاه‌سر شامل برونزدهایی از شیل، ماسه‌سنگ، مارن و میان‌لایه‌هایی از آهک و کنگلومرا هستند که به دلیل پتانسیل بالا در احتمال رخداد زمین لغزش دارای بیشترین اهمیت هستند. کوه میشاب با دارا بودن رسوباتی از جنس مارن خاکستری با میان‌لایه‌هایی از ماسه سنگ، آهک، ژئپس و کنگلومرا در رتبه دوم از نظر اهمیت قرار دارد. همچنین با توجه به جنس و مساحت سازندهای موجود در منطقه به ترتیب سازند روته (شامل آهک و دولومیت)، سازند باروت (شامل شیل، ماسه‌سنگ، آهک و دولومیت)، سازند نایبند (شامل آهک با میان‌لایه‌هایی از شیل و ماسه‌سنگ)، سازند کهر (شامل شیل و ماسه‌سنگ که در کوه علمدار برونزد دارد) و سازند زاگون- لالون (شامل شیل و ماسه‌سنگ)

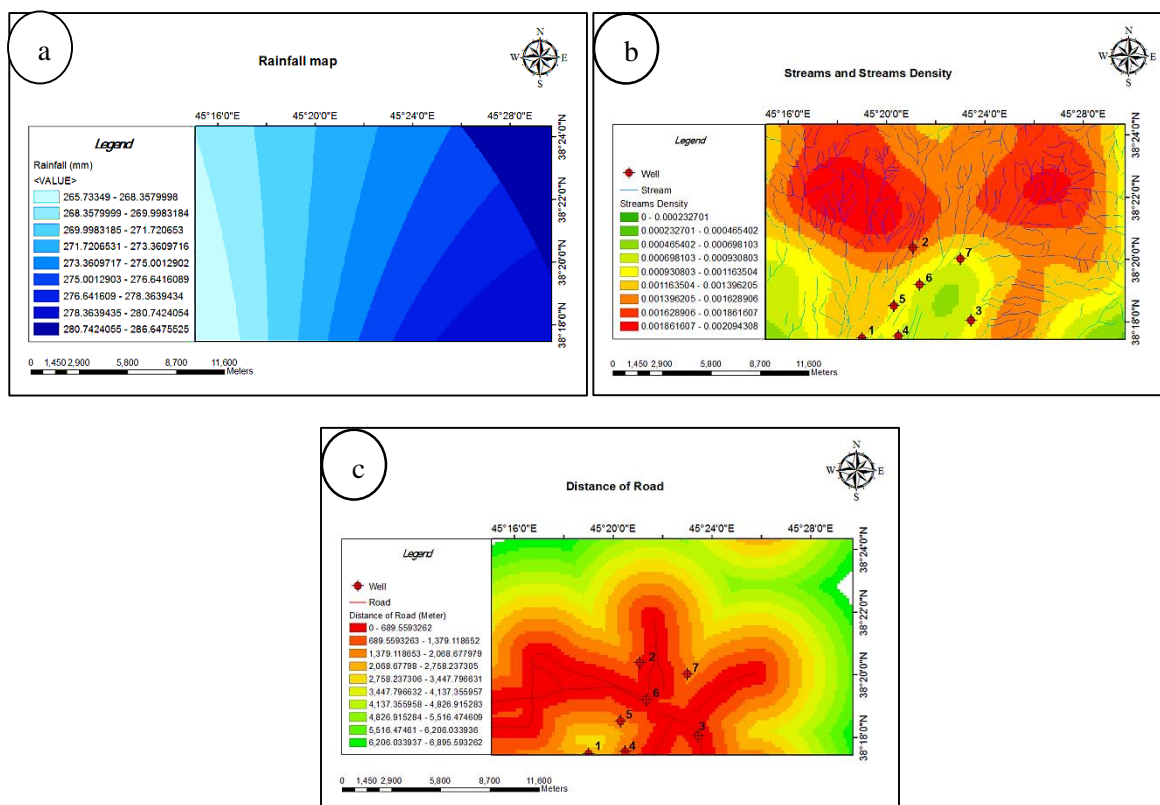
زیرزمینی و در نتیجه کاهش تنش مؤثر و مقاومت برشی شیبها می‌گردد. کاهش پارامترهای مقاومتی خاک خود پتانسیل وقوع لغزش را افزایش می‌دهند. این مسأله به خصوص در خاک‌های مستعد لغزش مانند لایه‌های ماری بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

شاخص فاصله از آبراهه‌ها یکی دیگر از پارامترهای مؤثر در وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. آبراهه‌ها تأثیر منفی بر روی پایداری شیبها دارند، این تأثیر ناشی از فرسایش شیبها یا افزایش درجه اشباع لایه‌های زیرین می‌باشد. کاهش فاصله از آبراهه‌ها باعث افزایش پتانسیل وقوع زمین‌لغزش می‌گردد (شکل ۷). جهت مطالعات تکمیلی، لایه چگالی کلی آبراهه‌ها نیز استخراج گردید (شکل ۱۲). این معیار در نقاط کوهستانی که امکان استفاده از سیستم پیرومتری برای تعیین سطح آب زیرزمینی وجود ندارد، حائز اهمیت می‌باشد. با توجه به (شکل ۱۲)، تراکم آبراهه‌ها در مناطق شمال خاوری و شمال باختری محدوده مطالعاتی بیشتر از سایر نواحی بوده و در نتیجه در این نواحی نفوذ آب به درون زمین کاهش می‌یابد و بیشتر جریان‌های ناشی از بارندگی به صورت آب‌های سطحی از منطقه خارج می‌گردد که خود باعث افزایش پتانسیل لغزش می‌گردد. بسیاری از لغزشها در اثر وقوع زمین‌لرزه تحریک شده و رخ می‌دهند. با توجه به (شکل ۷)، مناطق نزدیک به حریم گسل به دلیل فعالیت‌های لرزه‌ای و احتمال وقوع زمین‌لغزش در سیستم شکستگی سنگ‌های اطراف آنها از اهمیت نسبی بیشتری نسبت به نواحی دورتر از گسل برخوردار هستند. یکی دیگر از شاخص‌های مؤثر بر رخداد زمین‌لغزش، شاخص فاصله از جاده می‌باشد. همانند تأثیر فاصله از جریان، زمین‌لغزش ممکن است در جاده‌ها یا در کنار شیب‌های تحت تأثیر جاده رخ بدهد. شیب در حالت طبیعی دارای تعادل بوده، ولی پس از احداث جاده به دلیل تأثیر ناخوشایند ناشی از جاده مانند تغییر توپوگرافی، تغییر شیب و تغییر شرایط زهکشی دچار ناپایداری می‌گردد. جهت ایجاد این نقشه، خطوط جاده موجود در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ تسوج رقومی شد و سپس از طریق نرم‌افزار Arc GIS نقشه مورد نظر استخراج گردید (شکل ۱۲). با توجه به این نقشه، در فواصل نزدیک به جاده پتانسیل وقوع زمین‌لغزش بیشتر می‌باشد.

با توجه به نقشه‌های تهیه شده و تلفیق آنها با متد وزنی (جدول ۴)، نقشه پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش برای منطقه به دست آمد (شکل ۱۳). با توجه به نتایج به دست آمده از شکل ۱۳، مناطق با رنگ قرمز ناپایدارترین محدوده‌ها را نشان می‌دهند که اغلب قسمت‌های خاوری و شمالی منطقه و نواحی کوهستانی و پرشیب را پوشش داده‌اند و مناطق پایدارتر، با رنگ سبز نشان داده شده‌اند.

گیاهی انبوه می‌باشند که توسط عملکرد مثبت گیاهان موجب کاهش احتمال وقوع زمین‌لغزش در این نواحی می‌شوند. یکی دیگر از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار بر زمین‌لغزش، شاخص ارتفاع می‌باشد. هرچه ارتفاع از سطح دریا بیشتر باشد، ذرات و مواد جابه‌جا شده در ارتفاعات بالا، از پایداری کمتری برخوردار بوده و تأثیر نیروی ثقل زمین بر روی آنها بیشتر خواهد بود. روی این اصل قانداً با افزایش ارتفاع میزان در صد زمین‌لغزشها و احتمال وقوع آنها افزایش می‌یابد. با توجه به (شکل ۷b)، نواحی مرتفع شمال و خاور محدوده مطالعاتی بیشترین اهمیت را در پتانسیل وقوع زمین‌لغزش ناحیه نسبت به نقاط کم ارتفاع جنوب منطقه دارند. زاویه شیب به دلیل تأثیر بسیار زیاد آن بر روی زمین‌لغزش، به عنوان یک فاکتور اساسی در تهیه نقشه Susceptibility استفاده می‌شود (Moradi, 2011). افزایش شیب دامنه که ممکن است به طور طبیعی (فرسایش) یا مصنوعی (حفاری) ایجاد شود، بر ناپایداری می‌افزاید. وضعیت توپوگرافی محدوده مطالعاتی شیب‌های نسبتاً زیادی را در اغلب نقاط منطقه به وجود آورده است به طوری که به سمت مناطق جنوبی از میزان این شیبها کاسته می‌شود (شکل ۷c). جهت شیب یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر وقوع زمین‌لغزش می‌باشد. طبق مطالعات صورت گرفته، در نیمکره شمالی، دامنه‌های شمالی با تابش کمتر خورشید و تجمع و حضور بیشتر آب و رطوبت مواجه بوده (Ahmadi and Mohammadkhan, 2003) و حالت عکس آن در دامنه‌های جنوبی که زمان بیشتری از نور خورشید بهره‌مند هستند، آب کمتری مشاهده می‌گردد. در نتیجه در این دامنه‌ها رطوبت و ضخامت خاک کمتر است و پایدارتر هستند (Hafezi Moghaddas, 2012). به همین علت معمولاً بیشترین تعداد رخداد‌های لغزشی در جهت شیب شمالی و کمترین آن در جهت شیب جنوبی مشاهده می‌شود (Shariat Jafari, 1997). بر این اساس با توجه به (شکل ۷d) مناطقی که در جهت شیب شمالی قرار گرفته‌اند تأثیر بیشتری در رخداد ناپایداری خواهند داشت ولی در مقابل پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در نواحی با جهت شیب جنوبی کمتر خواهد بود. یکی دیگر از پارامترهای تأثیرگذار بر زمین‌لغزش بارندگی می‌باشد. با افزایش میزان بارندگی، پتانسیل خطر وقوع زمین‌لغزش افزایش می‌یابد. جهت در نظر گرفتن معیار بارندگی از اطلاعات ۳ ایستگاه هواشناسی تسوج، شبستر و بندر شرفخانه در طول دوره آماری ۹۷ - ۹۳ استفاده شده است. داده‌های مربوطه از اداره کل و مرکز تحقیقات هواشناسی کاربردی استان آذربایجان شرقی و همچنین مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان شرقی اخذ گردید. سپس این داده‌ها وارد نرم‌افزار Arc GIS شده و نقشه نهایی با روش میانابایی معکوس فاصله^۱ (IDW) تهیه شد (شکل ۱۲a). نفوذ آب‌های سطحی در فصل بارندگی باعث بالا آمدن سطح آب

1- Inverse Distance Weighting (IDW)



شکل ۱۲- (a) نقشه بارندگی ناحیه تسوج به روش IDW در دوره آماری ۱۳۹۷ - ۱۳۹۳، (b) نقشه آبراهه‌ها و چگالی آبراهه‌ها و (c) نقشه فاصله از جاده.

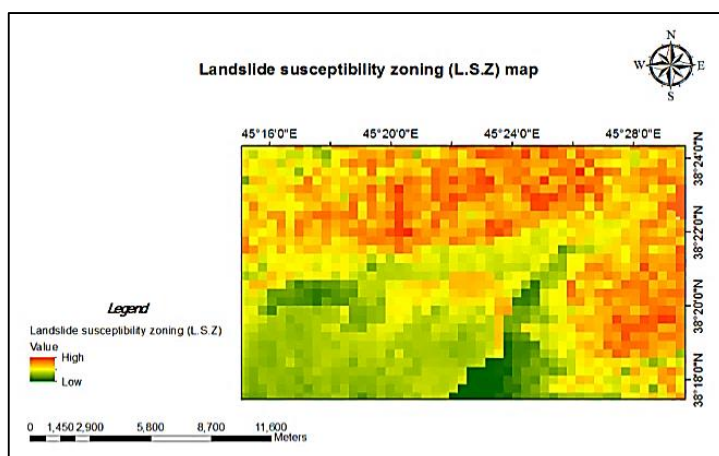
Fig. 12. (a) The rainfall map of the Tasuj area by IDW method in the statistical period 2014 – 2018, (b) streams and streams density map, and (c) distance of road map.

جدول ۴- ماتریس معیارهای تأثیرگذار بر زمین‌لغزش، مقادیر وزنی آنها و نرخ سازگاری.

Table 4. The matrix of criteria influencing landslide, their weight value and consistency ratio.

Data layers	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	Weighting
(a) Lithology	1	4	3	4	2	2	3	2	2	0.2297
(b) Landuse	0.25	1	0.33	2	0.33	0.33	2	2	2	0.076
(c) Slope	0.3333	3.0303	1	3	2	2	3	3	3	0.1792
(d) Aspect	0.25	0.5	0.3333	1	0.5	0.33	0.5	0.5	0.33	0.0411
(e) Rainfall	0.5	3.0303	0.5	2	1	2	3	3	3	0.1538
(f) Elevation	0.5	3.0303	0.5	3.0303	0.5	1	3	3	3	0.1363
(g) Distance of road	0.3333	0.5	0.3333	2	0.3333	0.3333	1	0.5	0.5	0.0483
(h) Distance of stream	0.5	0.5	0.3333	2	0.3333	0.3333	2	1	2	0.0708
(i) Distance of fault	0.5	0.5	0.3333	3.0303	0.3333	0.3333	2	0.5	1	0.0649

Consistency Ratio (CR) = 0.0619



شکل ۱۳- نقشه پهنه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش ناحیه تسوج.

Fig. 13. Landslide susceptibility zoning map of the Tasuj area.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش نقشه‌های پهنه‌بندی فرونشست، زمین‌لرزه و زمین‌لغزش ناحیه تسوج به روش AHP تهیه شد و عوامل مؤثر بر وقوع آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که: ۱. براساس نوسانات سطح آب زیرزمینی و نقشه هم‌افت سطح ایستابی در آبخوان دشت تسوج، این محدوده با افت سالیانه ۶۰ سانتی‌متری (۶ متر در مجموع ده سال) روبه‌رو بوده است. ۲. معیار تراز سطح آب زیرزمینی با وزن نهایی ۰/۲۴۱۷ بیشترین تأثیر و معیار ارتفاع با وزن نهایی ۰/۰۴۱۴ کمترین تأثیر را نسبت به سایر معیارها بر روی فرونشست ناحیه داشته و بیش‌ترین مناطق مربوط به پهنه با خطر بالا فرونشست در قسمت‌های مرکزی و جنوبی دشت واقع شده‌اند. ۳. معیار فاصله از گسل با وزن نهایی ۰/۲۶۳۴ بیشترین تأثیر و معیار ارتفاع با وزن نهایی ۰/۰۵۲۳ کمترین تأثیر را نسبت به سایر معیارها بر روی زمین‌لرزه ناحیه داشته و بیش‌ترین مناطق مربوط به پهنه با خطر بالا زمین‌لرزه در قسمت‌های خاوری و شمالی منطقه واقع شده‌اند. ۴. معیار لیتولوژی با وزن نهایی ۰/۲۲۹۷ بیشترین

منابع

- Ahmadi, H., Mohammadkhan, Sh., 2003. Determining the factors affecting mass movements (Case study: Taleghan watershed). *Iranian Journal of Natural Resources* 55(4), 455- 466.
- Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982. *A History of Persian Earthquakes*. Cambridge University Press Cambridge, Britain.
- Amiri, M., 2018. Risk assessment of land subsidence in Mashhad city. M. Sc. Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
- Behyari, M., Alizadeh, A., Mahmoudian, Sh., 2017. Assess the impact of active structures on land subsidence risk using multivariate decision models. *Advanced Applied Geology* 7, 49-56.
- Ekhlaspour, P., 2014. Seismic hazard zoning of Kerman province with multi criterion methods (AHP and Fuzzy) using GIS. M. Sc. Thesis, Shahid Bahonar University of Kerman, Iran.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از سازمان آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های لازم جهت انجام این پژوهش کمال سپاسگزاری را دارند.

نقش و معیار جهت شیب با وزن نهایی ۰/۰۴۱۱ کمترین نقش را نسبت به سایر معیارها بر روی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش ناحیه دارد و قسمت‌های خاوری و شمالی منطقه و نواحی کوهستانی و پرشیب از جمله بخش‌های حساس به رخداد زمین‌لغزش، می‌باشند. جلوگیری از برداشت بیش از حد از آب‌های زیرزمینی، تغذیه آبخوان و حفظ تراز آب زیرزمینی، به عنوان یکی از راهکارهای عملیاتی برای کنترل پدیده فرونشست در محدوده آبخوان حوضه آبریز تسوج مطرح می‌گردد. همچنین در مورد احتمال وقوع زمین‌لغزش بر اساس نقشه‌های بدست آمده، اغلب نواحی خاوری و شمالی منطقه که پهنه‌های مسکونی نیز هستند مناطق ریسک بالا بوده که در طرح‌های مقاوم سازی و یا گسترش مناطق جمعیتی در آینده توجه خاصی را می‌طلبند.

- Erden, T., Karaman, H., 2012. Analysis of earthquake parameters to generate hazard maps by integrating AHP and GIS for Küçükçekmece region. Istanbul Technical University, Turkey, Hazards Earth system Science 12, 475 – 483.
- Ghavimi Panah, M.H., Khaledi Darwishan, A.W., Ghavimi Panah, M.R., 2018. Confirmation of Analytical Hierarchy Process (AHP) and Multivariate Regression (MR) in landslide zoning (Case study: Vali Asr watershed, Ardabil province). Tarbiat Modarres University oh Tehran (Iran). Journal of Eco Hydrology 3, 775- 789.
- Ghodsipour, H., 2007. Analytical hierarchy process. Amirkabir University of Tehran Publications, 5th edition.
- Hafezi Moghaddas, N., 2012. Engineering Geology. Mashhad printing, Arses Publishing (in Persian).
- Hafezi Moghaddas, N., Ghafoori, M., 2010. Environmental Geology. Shahroud University of Technology Publications, 1th edition, p. 207 (in Persian).
- Hatamifard, R., Mousavi, H., Alimoradi, M., 2013. Landslide hazard zoning using AHP model and GIS technique in Khorramabad city. Journal of Geography and Environmental Planning 23(3), 43- 60.
- He, H., Hu, D., Sun, Q., Zhu, L., Liu, Y., 2019. A Landslide Susceptibility Assessment Method Based on GIS Technology and an AHP – Weighted Information Content Method, A Case Study of Southern Anhui, China. International Journal of Geo – Information 8(6), 256.
- Khodabandeh, A.A., Amini Fazl, A., 1993. Geological map of Tasuj sheet (1: 100000), Geological Survey of Iran.
- Khodabandeh, A.A., Amini Fazl, A., 1999. Geological map of Tabriz sheet (1: 100000), Geological Survey of Iran.
- Khorshiddoost, A.M., Razmi, R., Maali ahari, N., Abbaszadeh, K., 2017. Study of the effect of groundwater level fluctuations on subsidence phenomenon in Qala region (East Azarbayjan, Tasuj). Journal of Geography and Planning 21(60), 73- 93.
- Kosloff, D., Scott, R., and Scranton, J., 1980. Finite element simulation of Wilmington oil field subsidence. I. Linear modelling. Tectonophysics, 65(3), 339 - 368.
- Mokhtari, D., Ebrahimi, H., Salmani, S., 2019. Land subsidence susceptibility modeling using random forest approach (Case study: Tasuj plain catchment). Journal of Remote Sensing and Geographic Information System for Natural Resources 10(3).
- Moradi, M., 2011. GIS- Based landslide susceptibility mapping using Analytical Hierarchy Process (AHP) in Dena (Iran). M. Sc. Thesis, University of Yasouj, Iran.
- Nabavi, M. H., 1976. An Introduction to the Geology of Iran, Geological Survey of Iran.
- Nadiri, A.A., Asghari Moghaddam, A., 2011. The use of multivariate statistical methods in the study of hydrochemical processes of aquifers (Case study: Tasuj plain). University of Urmia, The 14th conference of the Iran earth association and the 28th earth sciences conference.
- Rahimi Shahid, M., Rahimi, N., 2018. Earthquake hazard zoning using Analytical Hierarchy Process (AHP) and Geographic Information System (GIS) techniques (Case study: central part of the Semirom city). Journal of New Findings in Applied Geology 22(1).
- Ranjbar, M., Bayat, S., 2011. Investigating the natural hazard of Khomein city with emphasison earthquake and crisis management. Islamic Azad University of Rey (Iran). Zagros Landscape Geographical Quarterly 2(4).
- Saaty, T. L., 1977. A scaling method for priorities in hierarchical structures, journal of mathematical psychology, 15 (3), 234 – 281.
- Saaty, T. L., 1994. How to make a decision: The analytical hierarchy process, Interfaces 24 (6, S), 19 - 43.
- Saaty, T. L., Vargas, G. L., 2001. Models, methods, concepts and applications of the analytic hierarchy process. Kluwer Academic Publisher, Boston.
- Shariat Jafari, M., 1997. Landslide and the principles of stabilizing natural slopes. Tehran Printing, Structural Publications (in Persian).
- Varnes D. J., 1978. Landslide hazard zonation review of principle and practice UNESCO, Paris.
- Zhu, L., Chen, Y., Gong, h. I., Liu, C., Wang, R., 2013. Spatial risk assessment on land subsidence in Beijing, China, 20th International Congress on Modelling and Simulationg Adelaide, Australia.

