

Research Paper



Assessment and Zoning of Liquefaction Hazard Using FUZZY-VIKOR Model Case study: Leilan Alluvial Fan in Northwest Iran



Davoud Mokhtari ¹, Somayyeh Moazzez ^{*2}, Mohammad Hosein Rezaei Moghaddam ³



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/hyd.2023.56284.1689

Reference to this article: Mokhtari, Davoud; Moazzez, Somayyeh; Mohammad Hosein Rezaei Moghaddam;. (2023). Assessment and Zoning of Liquefaction Hazard Using FUZZY-VIKOR Model Case study: Leilan Alluvial Fan in Northwest Iran. *Hydrogeomorphology*, 10(36): 58 – 72.

Keywords

Alluvialfan, Geomorphological hazards, FUZZY-VIKOR, Liquefaction, Leilan alluvial fan, Northwest of Iran

Receive Date: 2023/04/21

Accept Date: 2023/07/25

Available: 2023/10/30

ABSTRACT

Alluvial fans are among the areas prone to geomorphological hazards. One of these hazards is liquefaction, which the main purpose of this research was to investigate this phenomenon in the surface of the Leilan alluvial fan. The FUZZY-VIKOR combined model was used to prepare the liquefaction risk potential map. The used parameters in this research were: slope, depth of underground water, type of soil and seismicity. The information layers of each of these parameters were prepared in the ArcGIS software environment. Next, the fuzzy model was used to standardize the layers. At the end, the weighting of the parameters was done by Vikor method. . The results of weighting the parameters by Vikor method showed that two parameters of soil and depth of underground water have obtained the highest importance coefficient with the weight of 0.442 and 0.236 respectively. The final map was prepared by overlapping the layers and multiplying the final weight of the criteria in each layer in 5 classes from very low to very high potential. The final map was prepared by overlapping the layers and multiplying the final weight of the criteria in each layer in 5 classes from very low to very high potential. The results of examining the area of each risk class showed that 0.28% of the area is in the very high class and 70% is in the high class in terms of the risk of liquefaction. Mainly, the areas with high risk potential are located in the downstream parts of the region.

* Corresponding Author: Davoud Mokhtari

E-mail: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

1. Professor of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

2. Ph.D in Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

3. Professor of Geomorphology, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Extended Abstract

Introduction

The Leilan alluvial fan, located in the northwest of Iran, has been exploited by humans due to its topographical, geological, and climatic conditions, and many cities (Leilan and Miandoab) and villages have been established on its surface. The alluvial fan has become vulnerable to geomorphic hazards due to its excessive use of capacity by its inhabitants over several years. This study mainly investigates the hazard of liquefaction on the surface of the Leilan alluvial fan. The FUZZY-VIKOR combined model and GIS technique were used to prepare the liquefaction hazard potential map. The following parameters were used in this study: slope, depth of underground water, type of soil, and seismicity.

Methodology

The Leilan alluvial fan is located within the boundaries of the West and East Azerbaijan provinces, and the cities of Leilan and a part of the city of Miandoab are located on it. This alluvial fan is located in the geographical coordinates of 36° 55' 10" to 37° 00' 40" north latitude and 46° 06' 17" to 46° 17' 17" east longitude. The area of this alluvial fan is about 108.3 Km².

In this study, the following materials and tools have been used to prepare a map of the hazard of liquefaction:

- Topographic maps with a scale of 1:50000 and 1:250000
- Geological maps with a scale of 1:100,000
- Maps of soil texture
- Landsat satellite images of OLI-TIRS sensor with pass and row 168-34.
- Google Earth images
- Groundwater quality and level data that was prepared by the regional water organization of East Azerbaijan and West Azerbaijan.
- Seismographic data from the Earthquake Research Institute website
- Field data collection using a GPS device
- Digital Elevation Model (DEM) with a spatial resolution of 12.5 meters

Results and Discussion

After preparing each of the information layers used in this part of the research in ArcGIS software, parameters were weighted using the Fuzzy VIKOR model. First, the importance coefficient of each of the effective parameters in the occurrence of liquefaction in the study area was determined using the Analytical Network Process (ANP) model (Table 1).

Table (1): The coefficient of the importance of the effective parameters in the occurrence of liquefaction using the ANP method

parameter	soil	Groundwater depth	slope	Seismicity
importance coefficient	0.540	0.160	0.157	0.141
Inconsistency index	0.046			

The decision weight matrix was prepared and normalized by determining the importance coefficient of the parameters. Next, by calculating the optimal amount of data, the influence coefficient of each parameter on the occurrence of liquefaction was determined using the VIKOR model (Table 2). According to The results of weighting the parameters by the VIKOR method, two parameters of soil and depth of underground water

have obtained the highest importance coefficient with the weight of 0.442 and 0.236 respectively, which indicates the importance of these parameters in the risk of liquefaction in the region.

Table (2): The final weight of effective parameters in the occurrence of liquefaction using Vikor method

parameter	soil	Groundwater depth	slope	Seismicity
importance coefficient	0.442	0.236	0.173	0.148

Conclusions

In the present study, a map of the hazard potential of this liquefaction was prepared in the Leilan Alluvial fan. For this purpose, 4 effective criteria in the occurrence of this hazard, including slope, soil, depth of underground water and seismicity, were used to prepare a zoning map. In the following, Vikor's multi-criteria decision-making method and fuzzy model were used to determine the weight and importance of criteria in the occurrence of liquefaction. The zoning map of the hazard of liquefaction using the FUZZY-VIKOR model for the Leilan Alluvial fan showed that the downstream areas of the Alluvial fan are susceptible to this hazard. The results of examining the area of each risk class showed that 0.28% of the area is in the very high class and 70% is in the high class in terms of the hazard of liquefaction.



مقاله پژوهشی



ارزیابی و پهنه بندی مخاطره روانگرایی با استفاده از مدل ویکور فازی مطالعه موردی: مخروط افکنه لیلان شمالغرب ایران



داود مختاری*^۱، سمیه معزز^۲، محمدحسین رضائی مقدم^۳



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کپی‌رایت کامانز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: مختاری، داود؛ معزز، سمیه؛ رضایی مقدم، محمدحسین (۱۴۰۲). ارزیابی و پهنه بندی مخاطره روانگرایی با استفاده از مدل ویکور فازی مطالعه موردی: مخروط افکنه لیلان شمالغرب ایران. هیدروژئومورفولوژی، ۱۰ (۳۶): ۷۲ - ۵۸.

DOI:10.22034/hyd.2023.56284.1689



چکیده

مخروط افکنه‌ها از جمله مناطق مستعد وقوع مخاطرات ژئومورفولوژیکی هستند. یکی از این مخاطرات روانگرایی می‌باشد که هدف اصلی این پژوهش بررسی این پدیده در سطح مخروط افکنه لیلان واقع در شمال غرب ایران بوده است. جهت تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع روانگرایی از مدل ترکیبی FUZZY-VIKOR و تکنیک GIS استفاده شده است. پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق عبارت بودند از: شیب، عمق آب زیرزمینی، نوع خاک و لرزه‌خیزی. لایه‌های اطلاعاتی هر یک از این پارامترها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه شدند. در ادامه جهت استانداردسازی لایه‌ها از مدل فازی استفاده گردید. در پایان وزن دهی پارامترها با روش ویکور انجام شد. نتایج وزن دهی پارامترها با روش ویکور نشان داد که دو پارامتر خاک و عمق آب زیرزمینی به ترتیب با وزن ۰/۴۴۲، ۰/۲۳۶ بیشترین ضریب اهمیت را کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده اهمیت این پارامترها در خطر وقوع روانگرایی در سطح منطقه می‌باشد. نقشه نهایی با هم‌پوشانی لایه‌ها و ضرب وزن نهایی معیارها در هر لایه در ۵ طبقه از پتانسیل خیلی کم تا خیلی زیاد تهیه گردید. نتایج بررسی مساحت هر یک از طبقات خطر نشان داد که ۰/۲۸ درصد از مساحت منطقه در طبقه خیلی زیاد و ۷۰ درصد نیز در طبقه زیاد از نظر خطر وقوع روانگرایی قرار دارد. به‌طور عمده مناطق با پتانسیل خطر بالا در قسمت‌های پایین‌دست منطقه قرار دارند. این مناطق از نظر عمق آب زیرزمینی، بافت خاک و شیب مستعد وقوع خطر روانگرایی می‌باشند.

کلیدواژه‌ها

مخروط افکنه، مخاطرات ژئومورفولوژیکی، فازی ویکور، روانگرایی، مخروط افکنه لیلان، شمالغرب ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۸/۰۸

* نویسنده مسئول: داود مختاری

رایانامه: d_mokhtari@tabrizu.ac.ir

- ۱- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۲- دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.
- ۳- استاد گروه ژئومورفولوژی، دانشکده برنامه ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران.

مرکز کاهش بحران سازمان ملل واژه‌ی خطر را این‌گونه تعریف می‌کند: خطر عبارت از پدیده‌ای ماده‌ای، یا فعالیتی خطرناک که ممکن است به انسان یا مایملک او صدمه بزند و ناهنجاری‌های اجتماعی یا اقتصادی ایجاد کند یا باعث تخریب محیط شود (UNISDR, 2009). روانگرایی پدیده‌ی مخربی است که در طول یک زمین‌لرزه روی می‌دهد. بعد از زلزله نیگاتای ژاپن و آلاسکا روانگرایی و تغییرات زمین مرتبط با آن یکی از موضوعات تحقیق جالب برای مهندسیین زمین‌شناسی و مهندسیین ژئوتکنیک شد (سید و ادیسی، ۱۹۷۱). سیستم‌های تپه‌ای دلتایی، آبرفتی و ساحلی در سطح جهانی به عنوان مکان‌های مستعد وقوع روانگرایی شناخته شده‌اند (یود و هوس^۱، ۱۹۷۷؛ هولزر و همکاران^۲، ۲۰۱۰). مهم‌ترین عواملی که روانگرایی را کنترل کرده و متداول‌ترین روش‌های مورد استفاده در ارزیابی استعداد روانگرایی بر اساس آن‌ها تعریف می‌شود عبارت از: تراز آب زیرزمینی، نوع خاک، تراکم نسبی، دانه‌بندی، وضعیت زهکشی، شکل ذرات، سن زمین‌شناسی و خصوصیات زمین‌ریخت‌شناسی، شرایط تاریخچه‌ای (سیمانی شدن، نسبت پیش‌تحکیمی و ضریب فشار جانبی) و فشار همه‌جانبه. اگرچه این ضوابط اساساً در استعداد روانگرایی خاک تأثیرگذار می‌باشند اما به تنهایی برای ارزیابی استعداد روانگرایی در ساختگاه کافی نیستند (معاونت نظارت راهبردی امور نظام فنی، ۱۳۹۱).

برای کاهش آثار مخرب روانگرایی، شناسایی مناطق مستعد روانگرایی بسیار ضروری است. این شناسایی می‌تواند به شکل پهنه‌بندی که در آن پتانسیل خطر در مناطق مختلف تعیین می‌شود انجام گیرد. مخروط افکنه لیلان واقع در شمال غرب ایران به علت برخورداری از شرایط مناسب از نظر توپوگرافی، زمین‌شناسی و اقلیمی توسط انسان مورد بهره‌برداری قرار گرفته و شهرها (لیلان و میان‌دوآب) و روستاهای زیادی در سطح آن مستقر شده است. استفاده بیش از اندازه از ظرفیت مخروط افکنه توسط ساکنان آن در طول چندین سال، مخروط افکنه را در مقابل مخاطرات ژئومورفیک آسیب‌پذیر کرده است. روانگرایی نیز از جمله مخاطرات ژئومورفیکی می‌باشد که به دلیل وجود سازندهای حساس در سطح مخروط افکنه و همچنین عدم استفاده مناسب از ظرفیت مخروط افکنه توسط اهالی، احتمال وقوع آن در سطح مخروط افکنه لیلان انتظار می‌رود. بنابراین نقشه‌ی حساسیت خطر وقوع روانگرایی با استفاده از فاکتورهای مؤثر در وقوع این مخاطرات و سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه خواهد شد. نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق جهت مدیریت هر چه بهتر این مخاطرات و جلوگیری از وقوع آن‌ها و کاهش خسارات حاصل از آن‌ها کمک خواهد کرد. میر حسینی (۱۳۸۱)، با پهنه‌بندی پتانسیل روانگرایی شهر تهران در مقیاس کوچک، زلزله‌ای با بزرگی متوسط تا بزرگ، روانگرایی در جنوب تهران، شهر ری و مسیر رودخانه‌های کرج، کن و جاجرود رخ خواهد داد (میرحسینی، ۱۳۸۱). برآورد پتانسیل روانگرایی در هر شبکه در نواحی شمالی و جنوبی در بخشی از نواحی جنوب شرقی تهران نشان می‌دهد پتانسیل روانگرایی صفر است و خطر روانگرایی این مناطق را تهدید نمی‌کند. در نواحی مرکزی محدوده مورد بررسی خطر روانگرایی کم است و در ناحیه شمال غربی و جنوب شرقی خطر روانگرایی زیاد می‌باشد (عسکری و کسای، ۱۳۸۲). کمترین و بیشترین درصد احتمال خطر به هنگام وقوع زلزله به ترتیب در محدوده شهرهای بندر ترکمن و بندر گز بوده و انجام تمهیدات مکان‌یابی جهت اجرای سازه‌های مهندسی و ابنیه فنی در محدوده این مناطق جهت کاهش خسارت احتمالی ناشی از روانگرایی اجتناب‌ناپذیر است (مصطفی زاده و همکاران، ۱۳۸۶). شهر قشم با توجه به وجود لایه‌ای سنگی کربناته به صورت پادگانه‌های دریایی در سطح زمین و نوع پروفیل زمین‌شناسی زیر این لایه‌ها چه در وضع تراز آب زیرزمینی و چه در صورت افزایش آن، از نظر خطر روانگرایی ایمن است. در شهر درگهان اگرچه در تراز آب موجود خطر روانگرایی پایین است اما افزایش تراز آب می‌تواند در بخش‌هایی از این شهر به افزایش شدید خطر روانگرایی منجر گردد (عسکری و همکاران، ۱۳۸۸). با استفاده از داده‌های سنجش از دوری ماهواره‌ای نقشه پهنه‌بندی خطر روانگرایی خاک در دشت سیلاخور از طریق همپوشانی لایه‌های رقومی شده ویژگی‌های لرز زمین‌ساخت، عمق آب زیرزمینی و ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی در محیط نرم‌افزاری در ۷ کلاس ترسیم شد (سکوند و همکاران، ۱۳۹۰). ارزیابی پهنه‌بندی توان بالقوه روانگرایی با استفاده از روش ویکور در جنوب غرب تهران با استفاده از روش چند معیاره ویکور انجام گرفته است. بدین منظور از معیارهای آب زیرزمینی، عمق رس، جنس زمین و فاصله از گسل استفاده شده است. مدل‌سازی احتمال وقوع پدیده روانگرایی در ساختار رستری

1. Youd & Hoose
2. Holzer et al

و محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی انجام گرفته و نقشه نهایی پهنه‌بندی توان بالقوه وقوع روانگرایی تهیه شده است (انتظاری و همکاران، ۱۳۹۵). استعداد روانگرایی شهر بوشهر با استفاده از دو روش مهم و معمول Seed و Idriss و Iwasaki و همکاران مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج به وسیله نرم افزار ArcGIS به صورت پهنه‌بندی ارائه شده‌اند. مناطق مختلف شهر از لحاظ پتانسیل روانگرایی و سطح آب زیرزمینی بررسی شده و نتایج به صورت همپوشانی باهم مقایسه گردید. نتایج پهنه‌بندی نشان داده که اکثر نقاط شهر خصوصاً مناطق ساحلی به دلیل سطح بالای آب زیرزمینی و خاک ماسه‌ای سست در لایه‌های فوقانی زمین، دارای پتانسیل بالای روانگرایی هستند (زارع و حاجیان بوشهریان، ۱۳۹۷). تحلیل و مدل سازی در پژوهش پهنه بندی خطر سیلاب حوضه ی آبریز شهر چای میانه با مدل ویکور نشان داد که شیب، بارندگی و جهت شیب بیشترین تاثیر را در وقوع سیلاب در این حوضه دارند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۴۰۰). پهنه‌بندی خطر روانگرایی با یک رویکرد جدید در شهر لائوگ در شمال فیلیپین به وسیله تهیه نقشه حساسیت خطر روانگرایی مبتنی بر معیارهای ژئومورفولوژی انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد که مکان‌هایی که در آن روانگرایی اتفاق افتاده بود در نقشه طبقه‌بندی خطر در طبقات متوسط و خیلی زیاد از نظر حساسیت روانگرایی قرار گرفته بودند که دقت خوب مدل مورد استفاده را نشان می‌دهد (برویا و آیدین^۱، ۲۰۱۰). تعدیل شاخص پتانسیل روانگرایی با در نظر گرفتن توپوگرافی در کرایست چرچ نیوزلند توسط مطالعه شاخص پتانسیل روانگرایی در بیش از ۱۲۰۰ مخروط با آزمون نفوذ ژرفاسنجی در امتداد ناحیه کرایست چرچ محاسبه شد. بر پایه جزییات مشاهده میدانی از ایجاد روانگرایی با شکست زیرزمین بعد از زلزله مشخص شد که شاخص پتانسیل روانگرایی (LPI) برای شناخت نواحی با عدم وجود مخاطره روانگرایی و نواحی که ممکن است روانگرایی داشته باشند کاربرد دارد (رشیدیان و گیلینس^۲، ۲۰۱۷). نقشه‌کشی مخاطره گسترش عرضی وقوع روانگرایی احتمالی و کاربرد آن در بخش یوتا (Utah) با استفاده از نقشه‌کشی مخاطره منطقه‌ای گسترش و جابجایی عرضی روانگرایی انجام شده است که به منظور نشان دادن نوع نقشه‌های مخاطره جابجایی، نقشه‌ها در ارتباط با دوره‌های بازگشت ۱۰۳۳ و ۲۴۷۵ ساله برای ایالت یوتا استفاده شده است (شریفی و همکاران، ۲۰۱۸). ارزیابی مخاطره روانگرایی و تجزیه تحلیل احتمال شکست زمین در دره کاسماندو در نیپال با روش‌های محاسبه و تجزیه و تحلیل برای ارزیابی روانگرایی به کار برده شدند و نتایج به دست آمده به صورت نقشه‌های مخاطره روانگرایی ارائه شد (ماندپ سوبدی و همکاران^۳، ۲۰۲۲). در پژوهش حاضر و با توجه به کمبود منابع داخلی در این زمینه که مطالعه‌ای مربوط به مخاطرات مخروط افکنه ای صورت نگرفته، مخاطره روانگرایی در مخروط افکنه بررسی شد.

۲- مواد و روش‌ها

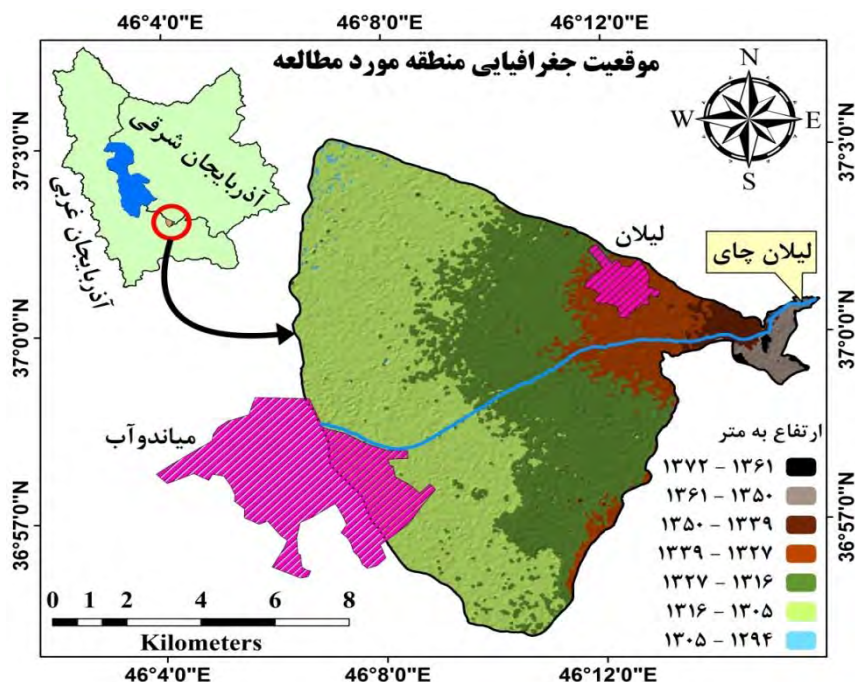
۲-۱- معرفی منطقه مورد مطالعه

مخروط افکنه لیلان در محدوده استان‌های آذربایجان غربی و شرقی قرار دارد و شهرهای لیلان و قسمتی از شهر میاندوآب بر روی آن واقع شده‌اند. این مخروط افکنه در مختصات جغرافیایی $36^{\circ} 55' 10''$ تا $37^{\circ} 0' 40''$ عرض شمالی و $46^{\circ} 06' 17''$ تا $46^{\circ} 17' 17''$ طول شرقی قرار گرفته است. مساحت این مخروط افکنه حدود $108/3$ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه لیلان چای که از ارتفاعات کوهستان سهند سرچشمه می‌گیرد در مسیر خود حدود ۱۵ کیلومتر در سطح این مخروط افکنه جریان می‌یابد (شکل ۱).

1. Beroya and Aydin

2. Gillins

3. Mandip Subedi et. al



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig (1): The Study Area

۲-۲- مواد و ابزارهای بکار رفته عبارت از:

- نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰
- نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰
- نقشه‌های بافت خاک
- تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده OLI-TIRS با گذر و ردیف ۳۴-۱۶۸.
- تصاویر Google Earth
- داده‌های کیفیت و سطح آب زیرزمینی که از سازمان آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی تهیه شد.
- داده‌های لرزه‌نگاری از سایت پژوهشکده زلزله
- برداشت داده‌های میدانی با استفاده از دستگاه GPS
- مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر

۲-۳- مدل فازی

منطق فازی توسط پروفسور لطفی زاده در سال ۱۹۶۵ طی مقاله‌ای با عنوان مجموعه‌های فازی برای رشته‌های ریاضی و الکترونیک انتشار یافت و کم‌کم به دلیل قابلیت پیش‌بینی کنندگی خود وارد رشته‌های دیگر گردید (صفاری و همکاران، ۱۳۹۰). تئوری مجموعه فازی، روشی است که قضاوت‌های فردی و مبهم در مورد یک پدیده منحصر به فرد را وارد مدل‌های احتمالی یا ریاضی می‌نماید (امینی فسخودی، ۱۳۸۴؛ قائد رحمتی، ۱۳۹۰) و زمینه را برای استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (کرمی و عبد شاهی، ۱۳۹۰). برای هر لایه‌ی فازی عددی بین صفر تا یک وجود دارد که صفر عدم عضویت فازی و یک عضویت کامل را نشان می‌دهد (پور قاسمی و همکاران، ۱۳۸۸). برخلاف منطق کلاسیک که دارای دو ارزش صفر و یک است، منطق فازی ارزش‌های خود را به صورت درصد عضویت در بازه (۰، ۱) نشان می‌دهد (لطفی زاده، ۱۹۷۵). اگر فضای عوارض باشد، سری فازی A در فضای Z از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$A\{z, MF(z)\}, z \in Z \tag{1}$$

بطوریکه $MF(z)$ تابع عضویت برای اختصاص درجه عضویت است (ایلانلو^۱، ۲۰۱۱). در فازی سازی معیارها، برای ارزش گذاری مقادیر معمولاً از توابع عضویت مختلفی چون توابع Sigmoidal، J-shape و Linear استفاده می شود (متکان و همکاران، ۱۳۸۷). علاوه بر این توابع، کاربر می تواند با توجه به نیاز خود، تابع User-defined را تعریف نماید. یکی دیگر از عوامل مؤثر در استانداردسازی نقشه های فازی، تعیین حد آستانه است که به آن ها نقاط کنترل می گویند؛ اما نکته ای که بایستی در انتخاب تابع به آن توجه نمود، نوع کاهشی یا افزایشی بودن معیار مورد نظر است. در اینجا منظور از کاهش، حداقل شونده یا نزولی بودن تابع است (سالاری و همکاران، ۱۳۹۱). در مدل فازی هر عضو هم زمان در مجموعه های مختلف ولی به درجات متفاوت عضویت دارد. درجات عضویت مقادیر بین صفر و یک و نیز خود این دو حد را می پذیرد. هر عضو مجموعه مرجع یا در مجموعه هست یا نیست (مومنی، ۱۳۸۷).

۲-۴- روش ویکور (VIKOR²)

روش ویکور به عنوان یک روش کاربردی برای پیاده سازی در تصمیم گیری چند معیاره است. این روش بر رتبه بندی و انتخاب مجموعه ای از گزینه ها با وجود معیارهای متناقض متمرکز است. راه حل توافقی که اساس آن توسط Yu و Zeleny در سال ۱۹۸۴ تأسیس شده بود، راه حل امکان پذیری است که نزدیک به ایدئال است و در اینجا توافق به معنای توافق ایجاد شده توسط امتیازهای متقابل است. روش ویکور، لیست رتبه بندی توافقی و راه حل توافقی را با معرفی شاخص رتبه بندی چند معیاره بر اساس اندازه گیری خاص از نزدیکی به راه حل ایدئال تعیین می کند (ال-سانتاوی ام اف^۳، ۲۰۱۲). سطوح نارضایتی در ویکور می تواند به صورت رابطه زیر تعریف شود:

$$L_{p,i} = \left\{ \sum_{j=1}^n [W_j (X_j^* - X_{ij}) / (X_j^* - X_j^-)]^\rho \right\}^{\frac{1}{\rho}} \quad 1 \leq \rho \leq \infty \tag{2}$$

در این رابطه $L_{1i}, i = 1, 2, \dots, m$ به عنوان بیشترین ابزار گروهی و $L_{\infty, i}$ بیشترین نارضایتی فردی از طرف مقابل است. روش ویکور برای رتبه بندی گزینه ها می تواند در مراحل زیر توصیف شود:

گام نخست: تشکیل ماتریس تصمیم گیری، یک مسئله تصمیم گیری چند معیاره را می توان به صورت مختصر در قالب یک ماتریس بیان کرد که به آن ماتریس تصمیم می گویند. در این ماتریس ستون ها بیان کننده ی معیارهای در نظر گرفته شده در مسئله مد نظر و سطرها بیان کننده ی گزینه هایی هستند که باید مقایسه شوند. به طور خاص یک مسئله تصمیم گیری با m گزینه (A_1, A_2, \dots, A_m) . که با n معیار (C_1, C_2, \dots, C_n) ارزیابی می شود، می تواند به صورت یک سیستم هندسی با m نقطه در فضای n بعدی در نظر گرفته شود (ال-سانتاوی ام اف، ۲۰۱۲).

$$D = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{bmatrix} \tag{3}$$

گام دوم؛ محاسبه ماتریس نرمالیزه با استفاده از رابطه ۴ در روش ویکور از روش خطی برای نرمال سازی استفاده می شود.

1. Ilanloo
 2. Vlse Kriterijumsk Optimizacija Kompromisno Resenje
 3. El-Santawy MF

$$RIJ = \frac{X_{IJ}}{\sum_1^M X_{ij}} \quad (4)$$

گام سوم؛ محاسبه وزن معیارهاست. مزیت مدل ویکور این است که ارزیابی همه‌ی معیارها به بررسی کارشناسی نیاز ندارد، بلکه می‌توان از داده‌ای خام نیز استفاده کرد:

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (5)$$

$$W_j' = \frac{\lambda_j \cdot w_j}{\sum_{j=1}^n \lambda_j \cdot w_j} \quad (6)$$

گام چهارم؛ محاسبه ماتریس نرمالیزه‌ی وزین که از طریق ضرب ماتریس نرمال در وزن هر یک از معیارها محاسبه می‌شود (رابطه ۷).

$$V = R_{I,j} * W_{n*n} \quad (7)$$

گام پنجم؛ تعیین بهترین مقدار X_j^* و بدترین مقدار X_j^- کلیه‌ی توابع معیار ($j = 1, 2, \dots, n$): اگر معیار i ، معیار سود باشد و بیشترین مقدار آن با توجه به هدف مفیدتر باشد، در این صورت $X_j^* = \max X_{ij}$ و $X_j^- = \min X_{ij}$ هستند.

گام ششم؛ محاسبه مقادیر S_i (شاخص مطلوبیت) و R_i (شاخص ناراضایتی)، با استفاده از روابط ۸ و ۹.

$$S_i = L_{1,i} = \frac{\sum_{j=1}^n W_j (X_j^* - X_{ij})}{X_j^* - X_j^-} \quad (8)$$

$$R_i = L_{\infty,i} = \max \left[\sum_{j=1}^n W_j (X_j^* - X_{ij}) / (X_j^* - X_j^-) \right] \quad (9)$$

که در آن X_j^* بزرگ‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون، X_{ij} عدد گزینه مد نظر برای معیار در ماتریس نرمال وزنی، X_j^- کوچک‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون، W_j وزن i امین معیار است که بیان‌کننده‌ی اهمیت نسبی معیارهاست.

گام هفتم؛ محاسبه شاخص ویکور (Q) و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با استفاده از رابطه ۱۰.

$$Q_i = V \times \frac{(S_i - S^*)}{(S^- - S^*)} + (1 - V) \times \frac{(R_i - R^*)}{(R^- - R^*)} \quad (10)$$

که در آن V عدد ثابت ۰/۵، S_i مجموع مقدار S برای هر گزینه، S^* : کوچک‌ترین عدد شاخص S برای هر گزینه، R^- : بزرگ‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه، R^* : کوچک‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه، R_i مقدار R برای هر گزینه است.

گام هشتم؛ انتخاب گزینه‌ی مناسب‌تر (A') است که بهترین رتبه را با کمترین Q دارد (ال - سانتاوی ام اف، ۲۰۱۲).

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- تحلیل فاکتورهای مؤثر در وقوع روانگرایی در مخروط افکنه لیلان

واحدهای ژئومورفیک

ایواساکی و همکاران^۱ (۱۹۸۲) در تحقیقی از تحلیل تعداد زیادی از داده‌های زمین‌لرزه‌های ژاپن، احتمال وقوع روانگرایی در واحدهای مختلف ژئومورفولوژیک را ارائه دادند، طبق این جدول وقوع روانگرایی در مخروط افکنه لیلان ممکن بوده و در صورت مهیا بودن سایر شرایط، احتمال وقوع این مخاطره در سطح منطقه بالا خواهد بود (جدول ۱).

1. Iwasaki et al

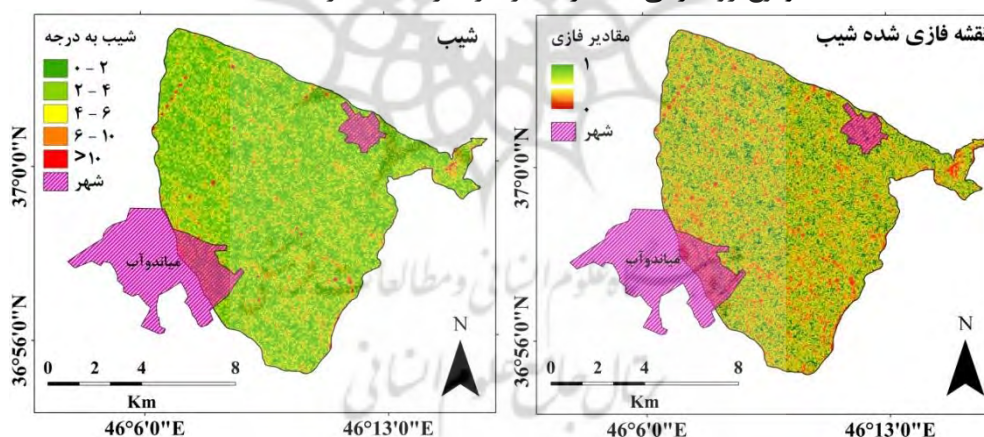
جدول (۱): احتمال وقوع روانگرایی در واحدهای مختلف ژئومورفیک (ایواساکی و همکاران ۱۹۸۲)

Table(1): The Possibility of Liquefaction in Different Geomorphie Units (Iwasaki et al,1982)

پتانسیل وقوع روانگرایی	واحدهای ژئومورفیک	درجه
احتمال روانگرایی بالا می باشد	بسترهای حاضر و قدیمی رودخانه‌ای - باتلاق - زمین‌های پست بین تپه‌های ماسه‌ای - محل‌های احیاء شده	A
روانگرایی ممکن است	مخروط افکنه - کنار بند طبیعی - تپه‌های ماسه‌ای - دشت سیلابی - جلگه‌های دیگر	B
روانگرایی غیرممکن است	تراس - تپه - کوه	C

شیب

شیب زمین به عنوان یک پارامتر مهم و تأثیرگذار در وقوع مخاطره روانگرایی محسوب می‌شود. طبق نتایج محققانی چون میرمحمد حسینی و مسلمانزاده (۲۰۰۴)، پتانسیل وقوع روانگرایی در مخروط افکنه‌های با شیب کمتر از ۵ درصد بالا می‌باشد. در تحقیق حاضر جهت تهیه نقشه شیب منطقه از لایه DEM با قدرت تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر استفاده شده است (شکل ۲). نقشه تهیه شده نشان می‌دهد که شیب بیش از ۷۳ درصد از سطح مخروط افکنه لیلان بین ۰ تا ۴ درجه می‌باشد. بنابراین پتانسیل وقوع روانگرایی در سطح مخروط افکنه بالا می‌باشد. جهت فازی‌سازی لایه شیب از تابع خطی کاهش استفاده شده است. بدین صورت که مناطق با شیب کمتر به دلیل داشتن حساسیت بالا نسبت به وقوع روانگرایی مقادیر بالاتر فازی را کسب کرده‌اند.



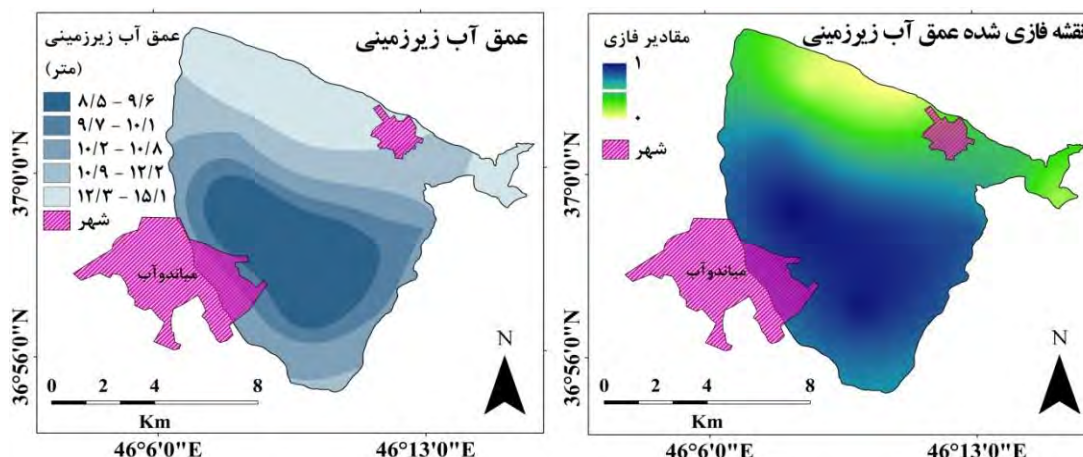
شکل (۲): نقشه شیب منطقه

Fig (2): Slope Map of The Study Area

عمق آب زیرزمینی

رسوباتی مستعد وقوع روانگرایی هستند که در زیر سطح ایستابی قرار گرفته و اشباع یا تقریباً اشباع باشند و نتوانند به‌طور آزاد زهکشی شوند (سید و ادریسی^۱، ۱۹۸۲). در تحقیق حاضر جهت تهیه نقشه عمق آب زیرزمینی از داده‌های چاه‌های پیژومتری موجود در سطح منطقه استفاده شده و داده‌های نقطه‌ای چاه‌ها با استفاده از روش درون‌یابی کریجینگ به نقشه رستری تبدیل شده است (شکل ۳). با توجه به اینکه شیب عمومی منطقه از شرق به غرب می‌باشد جهت جریان آب زیرزمینی نیز از شرق به سمت غرب بوده و سطح آب زیرزمینی مناطق پایین‌دست منطقه بالا می‌باشد. بنابراین احتمال وقوع روانگرایی در این قسمت‌ها بالا می‌باشد.

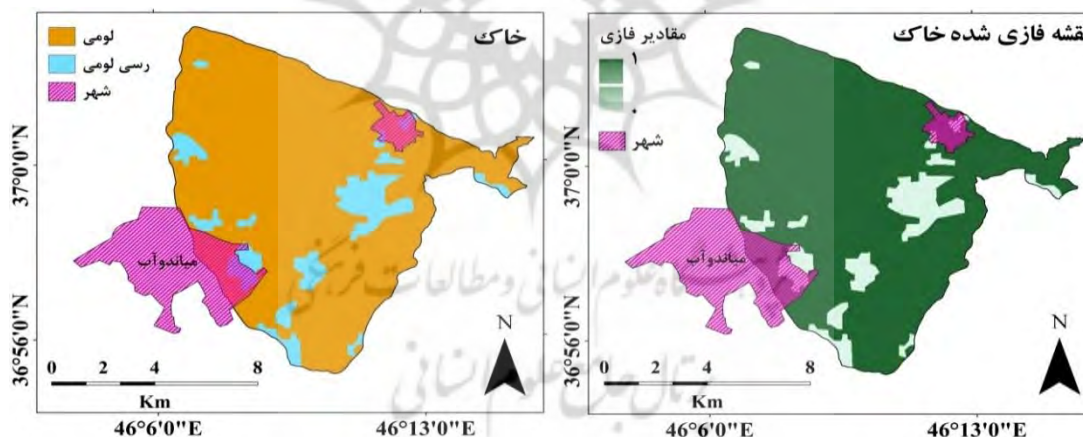
1. Seed & Idriss



شکل (۳): نقشه عمق آب زیرزمینی
Fig (3): Groundwater Depth Map

خاک

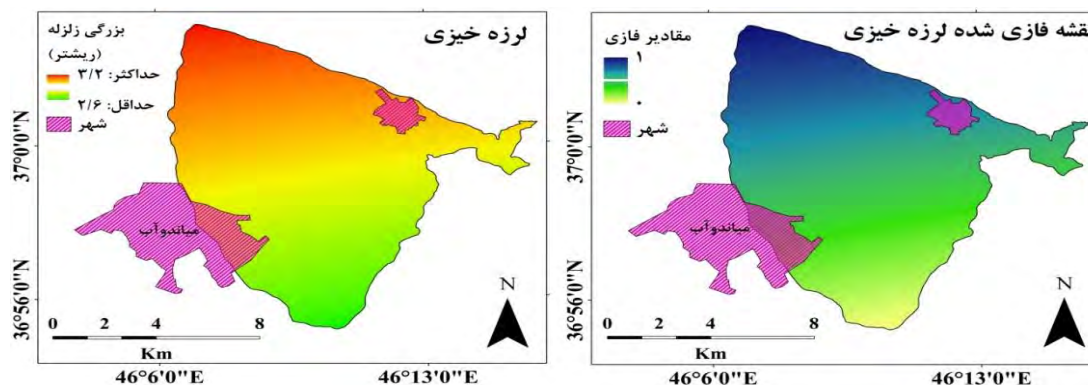
خاک‌های رسی به دلیل چسبندگی ذاتی و خاک‌های شنی به علت مستهلک کردن سریع فشار آب منفذی به هنگام زلزله از قابلیت روانگرایی بسیار کمی برخوردار هستند. خاک‌های ماسه‌ای و سیلتی در شرایط سست به دلیل نداشتن چسبندگی قابل ملاحظه، تمایل خاک به کاهش حجم بر اثر ارتعاشات ناشی از زلزله و عدم خروج سریع آب در این زمان مستعد روانگرایی می‌باشند (عسکری و کسایی، ۱۳۸۲). سید و همکاران (۱۹۸۳)، در تحقیق خود بر اساس آزمون‌های آزمایشگاهی و مطالعات میدانی به این نتیجه رسیده‌اند که اکثریت خاک‌های چسبنده در طول زلزله حالت مایع گونه پیدا نمی‌کنند. نقشه خاک منطقه نشان می‌دهد که اکثر سطوح منطقه از خاک‌های لومی پوشیده شده است و خاک‌های رسی لومی نیز به صورت محدود در بعضی قسمت‌ها به صورت پراکنده دیده می‌شوند.



شکل (۴): نقشه خاک محدوده مورد مطالعه
Fig (4): Soil Map of the Study Area

لرزه‌خیزی

پتانسیل وقوع روانگرایی با افزایش خصوصیاتی از زلزله از قبیل مدت زمان لرزش، شتاب و همچنین تنش‌های برشی که باعث انقباض ذرات خاک و افزایش اضافه فشار آب منفذی می‌شوند، افزایش پیدا می‌کند (قاسمی گوربندی، ۱۳۹۰). جهت تهیه نقشه لرزه‌خیزی منطقه از اطلاعات زلزله‌های رخ داده در اطراف منطقه استفاده شده و نقشه لرزه‌خیزی با فرمت رستری تهیه شده است.



شکل (۵): نقشه لرزه خیزی منطقه
 Fig (5): Seismic Map of the Study Area

۳-۲- وزن دهی معیارها و تهیه نقشه خطر وقوع روانگرایی

پس از تهیه هر یک از لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده در این بخش از تحقیق در نرم‌افزار ArcGIS اقدام به وزن دهی پارامترها با استفاده از مدل Fuzzy VIKOR گردید. ابتدا ضریب اهمیت هر یک از پارامترهای مؤثر در وقوع روانگرایی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) تعیین شد (جدول ۲).

جدول (۲): ضریب اهمیت پارامترهای مؤثر در وقوع روانگرایی با استفاده از روش ANP

Table (2): The Coefficient of Importance of the Effective Parameters in the Occurrence of Liquefaction Using the ANP Method

پارامتر	خاک	عمق آب زیرزمینی	شیب	لرزه خیزی
ضریب اهمیت	۰/۵۴۰	۰/۱۶۰	۰/۱۵۷	۰/۱۴۱
نرخ سازگاری	۰/۰۴۶			

با تعیین ضریب اهمیت پارامترها اقدام به تهیه ماتریس وزنی تصمیم و نرمال‌سازی آن گردید. در ادامه با محاسبه میزان بهینه داده‌ها ضریب تأثیر هر یک از پارامترها در وقوع روانگرایی با استفاده از مدل ویکور تعیین شدند (جدول ۳).

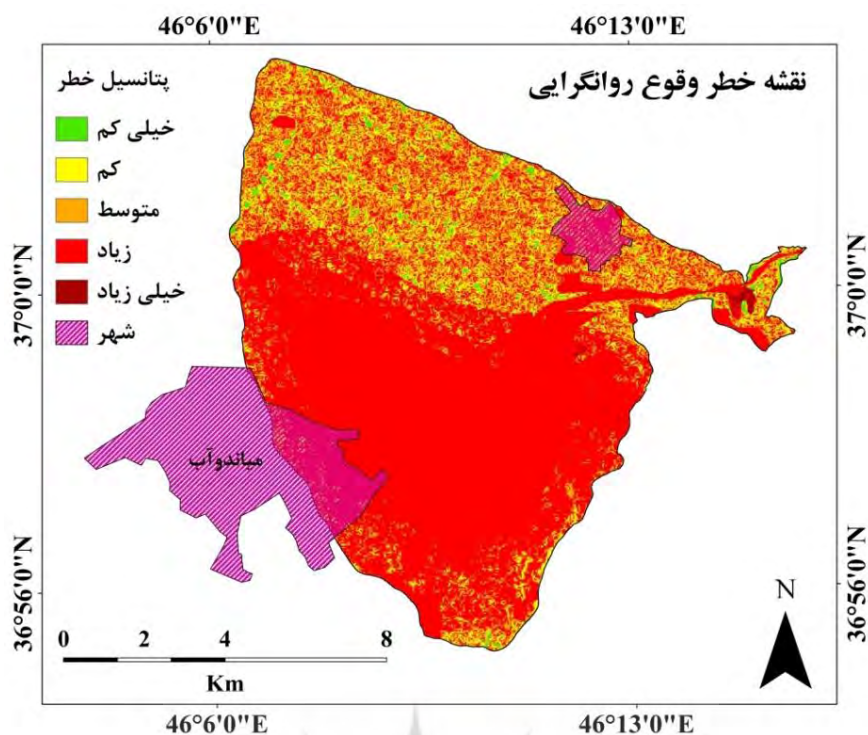
جدول (۳): وزن نهایی پارامترهای مؤثر در وقوع روانگرایی با استفاده از روش ویکور

Table (3): The Final Weight of Effective Parameters in the Occurrence of Liquefaction Using Vikor Method

پارامتر	خاک	عمق آب زیرزمینی	شیب	لرزه خیزی
ضریب تأثیر	۰/۴۴۲	۰/۲۳۶	۰/۱۷۳	۰/۱۴۸

۳-۳- تهیه نقشه پتانسیل خطر وقوع روانگرایی

نتایج وزن دهی پارامترها با استفاده مدل‌های فرآیند تحلیل شبکه‌ای و ویکور نشان داد که پارامترهای نوع خاک و عمق آب زیرزمینی بیشترین ضریب اهمیت را کسب کرده‌اند که نشان‌دهنده اهمیت این پارامترها در خطر وقوع روانگرایی در سطح منطقه می‌باشد. پس از تعیین وزن‌های نهایی جهت تهیه نقشه نهایی اقدام به هم‌پوشانی لایه‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS گردیده و نقشه پتانسیل خطر وقوع روانگرایی در ۵ طبقه تهیه شد (شکل ۵-۲۷). طبق نتایج به دست آمده ۰/۲۸ درصد از مساحت منطقه در طبقه خیلی زیاد و ۷۰ درصد نیز در طبقه زیاد از نظر خطر وقوع روانگرایی قرار دارد (جدول ۴). به‌طور عمده مناطق با پتانسیل خطر بالا در قسمت‌های پایین‌دست منطقه قرار دارند. این مناطق از نظر عمق آب زیرزمینی، بافت خاک، شیب و لیتولوژی مستعد وقوع روانگرایی می‌باشند.



شکل ۶: نقشه پتانسیل خطر وقوع روانگرایی در سطح مخروط افکنه لیلان

Fig6: Potential Risk Map of Liquefaction on the Surface of Leilan Alluvial Fan

جدول ۴: مساحت و درصد مساحت طبقات خطر وقوع روانگرایی

Table 4: Area and Percentage of Liquefaction Risk Classes

درصد مساحت	مساحت (کیلومتر مربع)	طبقه خطر
۰/۹۳	۲/۰۲	خیلی کم
۸/۳۵	۹	کم
۲۰/۴۰	۲۲	متوسط
۷۰	۷۴/۵	زیاد
۰/۲۸	۰/۳	خیلی زیاد

۴- نتیجه گیری

مخروط افکنه ها از دیرباز به دلیل داشتن شرایط مناسب جهت توسعه، مورد توجه انسانها بوده‌اند. اما استفاده بیش از حد از ظرفیت این مناطق با مشکلات طبیعی و انسانی متعددی همراه بوده است. مخاطرات ژئومورفیک از قبیل روانگرایی از جمله مخاطراتی هست که مخروط افکنه های فعال با آن درگیر می‌باشند. در تحقیق حاضر نقشه پتانسیل خطر وقوع این مخاطره در سطح مخروط افکنه لیلان تهیه گردید. به همین منظور از ۴ معیار مؤثر در وقوع این مخاطره شامل شیب، خاک، عمق آب زیرزمینی و لرزه‌خیزی جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی استفاده گردید. در ادامه از روش تصمیم‌گیری چند معیاره ویکور و مدل فازی جهت تعیین وزن و اهمیت معیارها در وقوع روانگرایی استفاده گردید. نتایج وزن دهی معیارها با روش ویکور نشان داد که دو معیار خاک و عمق آب زیرزمینی به ترتیب با وزن

۰/۴۴۲ و ۰/۲۳۶ نقش مهمی در وقوع این مخاطره در منطقه مورد مطالعه دارند. نقشه پهنه‌بندی پتانسیل خطر وقوع روانگرایی با استفاده از مدل FUZZY-VIKOR برای مخروط افکنه لیلان نشان داد که مناطق پایین دست مخروط افکنه مستعد وقوع این مخاطره می‌باشد. بررسی مساحت طبقات خطر نیز نشان داد که حدود ۷۵ کیلومترمربع (۷۰ درصد مساحت) از مخروط افکنه لیلان در طبقه خطر زیاد و خیلی زیاد از نظر وقوع روانگرایی قرار دارد.

۵-منابع

- Amini Faskhudi, Abbas. (2005). Application of fuzzy logic inference in regional planning and development studies, *Knowledge and development magazine*, 17, 61- 39.
- Askari, F., & Kasaei, M. (2003). Evaluating the potential of Liquefaction in the part of the southeastern areas of Tehran, *Journal of the College of Engineering*, vol 37, issue2.
- Askari, F., Gerivani, H., & Haghshenas, E. (2009). Liquefaction hazard zonation in Qeshm island and microzonation in Qeshm and Dargahan towns, *Journal of Iranian Association of Engineering Geology*, 2, 3& 4, 53-68.
- Beroya, M.A.A., & Aydin, A. (2010). A new approach to liquefaction hazard zonation: Application to Laoag City Northern Philippines, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30, 1338–1351.
- El-Santawy, MF. (2012). A VIKOR Method for Solving Personnel Training Selection Problem, *International Journal of Computing Science*, 1,2, 9-12.
- Entezari, M., Khosravi, S., & Ahmadabadi, A. (2016). Zoning Evaluation of Liquefaction Potential Using VIKOR Model (Case Study: South West of Tehran), *Geographical Researches*, 31, 1, 157-169.
- Ghaedrahmati, S., Bastanifar, I., & Soltani, L. (2011). A Survey of Density Effect on the Vulnerability of Earthquake in Isfahan City (Fuzzy Approach), *Geography and Environmental planning*, 22, 1, 107-122.
- Ghasemi Ghorbandi, M. (2011). *Microzonation of liquefaction risk in Bandar Abbas beaches*, Master's thesis, Shahrood University of Technology, Faculty of Earth Sciences, Department of Hydrology and Environmental Geology.
- Hajjani Boushehrian, A., & Zare, M. (2018). Boushehr Liquefaction Hazard Zonation Based on SPT and Result Presentation by Using GIS Plat Form, *Journal of Civil and Environmental Engineering*, 48,3, 109-119.
- Holzer, T.L., Noce, T.E., & Bennett, M.J. (2010). Liquefaction probability curves for surficialgeologic deposits, *Environmental & Engineering Geoscience*, XVII (1), 1–21.
- Ilanloo, M. (2011). A comparative study of fuzzy logic approach for landslide susceptibility mapping using GIS: Anexperience of Karaj dam basin in Iran.Procedia, *Social and Behavioral Sciences*, 19, 668-676.
- Iwasaki, T., Tokida, K., Tatsuoka, F., Watanabe, S., Yasuda, S., & Sato, H. (1982). Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, *Proc. 3 rd Int. Conf. On Microzonation, Seattle*, 3, 1319-1330.
- Karami , A., & Abdshahi , A. (2011). Ranking of Townships in Kohgiloyeh and Boyerahmad Province in terms of Development using Fuzzy Approach, *Journal of Agricultural Economics Research*, Volume 3, Issue 11 - Serial ,Pages 117-136.
- Matkan, A, A., Shakiba, A., Seyyed Hoseinpour,A., & Nazmfar, H. (2009). Locating appropriate areas for burying waste using GIS (study area: Tabriz city), *Environmental sciences*, 6, 2, 121-132.
- Mir Hosseini, S, M., & Kari, M. (2001). *Preliminary micro-zoning of areas prone to liquefaction in Tehran*, The National Research Program, International Institute of Seismology and Earthquake Engineering.
- Mohammad Hosseini, S.M., & Mosalmanzadeh,A. (2004). Interaction of Sheet Pile Quay walls and the Liquefied Backfill Soils Electronic, *Journal of Geotechnical Engineering*, 9, (EJGE).
- Momeni, M. (2007). *New topics of research in operations*, Tehran, Faculty of Management, University of Tehran, second edition.

- Mostafazadeh, R., Ong, M., & Mustafa, M. (2006). Using SWM model and GIS tools to assess liquefaction risk in cities located in the southern plains of Gorgan River, Golestan Province, National Earthquake and Building Retrofit Conference, Behbahan, Behbahan Islamic Azad University.
- Pourghasemi, H R., Moradi, H R., & Fatemi Aghda S M. (2009). Landslide Hazard Assessment Using Fuzzy Multi Criteria Decision- Making Method, 3 ,8, 51-62.
- president deputy strategic planning and control. (2013). *Soil liquefaction potential evaluation guide, consequences and ways of reducing their hazards*, Publication No. 525.
- Rashidian, V., & Gillins, D T. (2017). Modification of the liquefaction potential index to consider the topography in Christchurch, *New Zealand, Engineering Geology*.
- Rezaei Moghaddam, M H., Mokhtari, D.,& Shafieimehr, M. (2021). Zoning flood risk in the Shahr Chai Watershed in Miyaneh using Vikor model, *Hydrogeomorphology*, 8, 28, 19-37.
- Safari, A., Sasanpour, F., & Musa Vand, Jafar. (2011). assessment of Vulnerability in urban areas against flood Hazard using geographic information system and fuzzy logic, *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 20, 129- 150.
- Salari, M., Moazed, H., &Radmanesh, F. (2011). Locating urban waste landfill using AHP-FUZZY model in GIS environment (case study: Shiraz city), *The Journal of Toloo –e- behdasht*, 1.
- Seed, H. B., & Idriss, I. M. (1982). Ground motions and soil liquefaction during earthquakes, *Earthquake Engineering Research Institute Monograph Oakland, Calif*.
- Seed, H. B., Idriss, I. M., & Arango, I. (1983). Evaluation of Liquefaction Potential Using Field Performance Data, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 109 (3), 458-482.
- Seed, H.B., & Idriss, I.M. (1971). Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *J. Geotech. Eng. ASCE* 97, 1249–1273.
- Sekvand, H., Shayan, S., & Sharifi Kia, M. (2011). Silakhor Plain Liquefaction Hazard Zonation, *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 21.
- Sharifi-Mooda, M., Daniel T., Gillinsb, Kevin W., Frankec, Jasmyn N., Harperd,Steven J., Bartlette., & Michael J. Olsen. (2018). Probabilistic liquefaction-induced lateral spread hazard mapping and its application to Utah County, Utah, *Engineering Geology*, 237,76-91.
- Subedi, M., & Indra Prasad, A. (2022). Liquefaction hazard assessment and ground failure probability analysis in the Kathmandu Valley of Nepal, *Geoenvironmental Disasters*, <https://doi.org/10.1186/s40677-021-00203-0>.
- UNISDR. (2009). *Terminology on disaster risk reduction*. United Nation, WHO.
- Youd, T.L., & Hoose, S.N. (1977). Proceedings of the Sixth World Conference on Earthquake Engineering, *Indian Society of Earthquake Technology*, 2189–2194 .

پروژه‌های علمی و پژوهشی
پرتال جامع علوم انسانی