

The zonation and assessment of slope instability hazard in Masjed Soleyman city using analytical hierarchy process and frequency ratio methods

Seyyed Sajedin Mousavi^{1*}, Mehran Rahimi²

1-Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2-Institute of Geophysics, Tehran University, Tehran, Iran

Keywords: Landslide susceptibility, Masjed Soleyman, Analytic hierarchy process, Frequency ratio, GIS

1-Introduction

Landslide is one of the geohazards that occur in natural and human-made hillslopes. In addition to killing people, landslides destroy or damage residential and commercial properties and developments in urban areas, agricultural and forest lands, and impair water quality of rivers and streams (Schuster, 1995). In each region, the management and mitigating the social-economic consequences of landslides are needed to recognize landslide-prone areas and prepare the landslide susceptibility maps. Landslide susceptibility is defined as an examination carefully of slope movements and their controlling causes that lead to the quantitative or qualitative assessment of the classification, volume (or area), and spatial distribution of landslides that exist or potentially may occur on an area (Yalcin, 2008). On the other hand, a comprehensive and correct understanding of the main landslide causal factors is required to identify the landslide-prone areas. Various factors are effected on triggering landslides such as slope angle, aspect, altitude, proximity to faults and lineaments, proximity to streams, proximity to roads and railroads, land-uses, lithology, soil cover, rain, and vegetation cover (Bui et al., 2012; Wang et al., 2014; Yusef et al., 2016; Jaafari et al., 2014; Romer and Ferentinou, 2016).

Several techniques based on the geographic information system (GIS) spatial modeling have been established for landslide susceptibility mapping. The most important of these techniques is the analytic hierarchy process (AHP) and frequency ratio (FR). The analytic hierarchy process is a multiple criteria decision-making technique that helps in analyzing decisions that have been competing with objectives. This method includes creating a hierarchy of decision causes and afterward making comparisons between possible pairs in a matrix to give a weight for each factor as well as a consistency ratio (CR). Also, the frequency ratio method demonstrates the spatial relationship between a landslide occurrence location and each landslide-related factor. In this research, both approaches apply to produce landslide susceptibility maps for the Masjed Soleyman area located in southwestern Iran (Fig. 1). Due to geological and geomorphological features as well as land-uses, this area is prone to landslide disaster so that 70 landslides record in the region. For this reason, producing the landslide susceptibility map and studying landslides triggering factors are essential for mitigating damages.

3-Materials and methods

The first stage of the landslide susceptibility mapping in this study is the preparation of an inventory map of 70 landslides (Fig. 2). To carry out the landslide susceptibility mapping, moreover, landslide causal factors must be identified. For this purpose, nine layers of landslide-related factors were prepared, including altitude, slope, aspect, stratigraphy, faults and lineaments, rain, land use, proximity to roads, and drainages. These layers were achieved from topographical and geological maps, satellite images, and field surveys. Then, landslide susceptibility maps were developed by coupling the analytic hierarchy process (AHP) and the frequency ratio (FR) methods in a GIS environment. Finally, prepared maps were validated using 21% of all mapped landslides considered for testing the model.

* Corresponding author: s.mousavi@scu.ac.ir

DOI: 10.22055/aag.2020.32948.2102

Received 2020-03-15

Accepted 2020-05-27

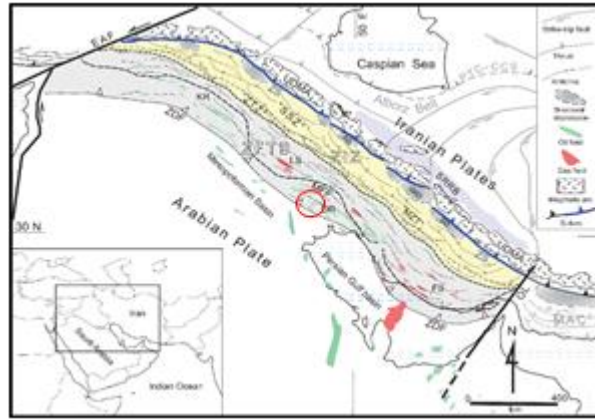


Fig. 1. Map showing the tectonic situation of Zagros and Dezful embayment sub-zone (Alavi, 2007). The location of the study area is presented by the red circle.

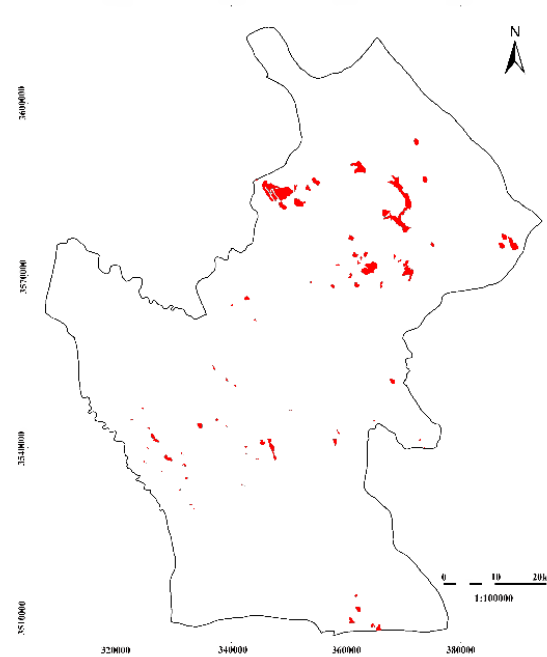


Fig. 2. Landslide inventory map of Masjed Soleyman area.

3-Results and discussion

In this study, the analytic hierarchy process (AHP) and the frequency ratio (FR) methods are employed to determine the relative weights and rate the importance of each factor influencing landslide occurrence. In both methods, final landslide susceptibility maps are drawn through calculating the landslide susceptibility index (LSI) for each pixel of the study area by the combination of the various effective factors and classes given by the equations 1 (AHP) and 2(FR):

$$LSI = 0.122 \text{ stratigraphy} + 0.173 \text{ faults and linements} + 0.182 \text{ altitude} + 0.204 \text{ slope angle} + 0.046 \text{ aspect} + 0.048 \text{ proximity to roads} + 0.053 \text{ proximity to drainage} + 0.081 \text{ land use} + 0.077 \text{ rain} \quad (\text{Eq.1})$$

$$LSI = 0.038 \text{ stratigraphy} + 0.108 \text{ faults and linements} + 0.167 \text{ altitude} + 0.118 \text{ slope angle} + 0.014 \text{ aspect} + 0.177 \text{ proximity to roads} + 0.171 \text{ proximity to drainage} + 0.083 \text{ land use} + 0.124 \text{ rain} \quad (\text{Eq.2})$$

In this research, the resulting maps are classified into low, very low, moderate, high, and very high susceptible zones (Fig 3). Results demonstrate that about 69.45% (AHP) and 56.94% (FR) of the study area belongs to the very high and high classes, respectively. Furthermore, the percentage of validating landslides locations in moderate, high, and very high classes in each map was computed. According to

the AHP susceptibility map, 66.67% of all tested landslides fall in the moderate, high, and very high susceptible zones. In the AHP susceptibility map, it can be observed that the percentage of landslide occurrences in the moderate, high, and very high susceptible zones are 73.33.

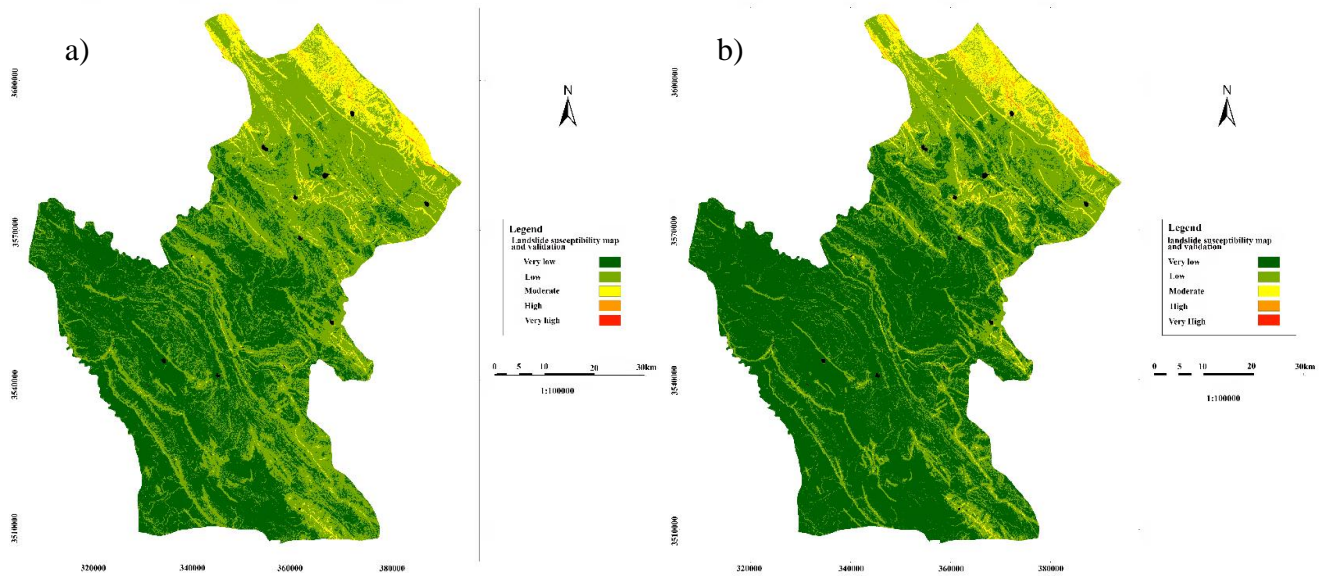


Fig. 3. Landslide susceptibility map and their validation for study area; (a) AHP method, and (b) Frequency method. The location of the landslide considered for testing is presented by black areas.

4-Conclusions

Landslide is one of the most common natural disasters in the Masjed Soleyman region. The current study uses the analytic hierarchy process (AHP) and the frequency ratio (FR) models in the study area for landslide susceptibility mapping. A series of data included nine geomorphologic, geological, climatic, and land-use parameters that affect landslide susceptibility prepared in the GIS environment. In general, the altitude, slope angle, and proximity to roads are rated as the most critical landslide-related factors in this area. Although both models produced reasonable accuracy, the FR model is more accurate than the ones. Therefore, the FR map is trustworthy for planning future developmental activities and environmental protection throughout the study area.

Acknowledgments

We are grateful to the Research Council of the Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support (SCU.EG98.28667).

References

- Alavi, A., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American journal of science* 307, 1064–1095.
- Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhaug, I., Dick, O.B., 2012. Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. *Geomorphology* 171–172, 12–29.
- Ferentinou, M., Chalkias, C., 2013. Mapping mass movement susceptibility across Greece with GIS, ANN and statistical methods. *Landslide Science and Practice* 1(1), 321–327.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., Sattarian, A., 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International journal of environmental sciences and technology* 11(4), 909–926.
- Romer, C., Ferentinou, M., 2016. Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment - a Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa. *Engineering geology* 201, 29–44.

- Schuster, R.L., 1995. Reducing landslide risk in urban areas-experience in the United State. In: Cheng FY, Sheu MS (ed) Urban disaster mitigation, Elsevier Science Ltd, p. 217-230.
- Wang, X., Zhang, L., Wang, S., Lari, S., 2014. Regional landslide susceptibility zoning with considering the aggregation of landslide points and the weights of factors. *Landslides* 11(3), 399–409.
- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena* 72(1), 1–12.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Mousavi, S.S., Rahimi, M., 2020. The zonation and assessment of slope instability hazard in Masjed Soleyman city using analytical hierarchy process and frequency ratio methods. *Adv. Appl. Geol.* 10(3), 468-487.

DOI: 10.22055/AAG.2020.32948.2102

url: https://aag.scu.ac.ir/article_15867.html?lang=en

پهنه‌بندی و ارزیابی خطر ناپایداری شیب در شهرستان مسجدسلیمان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و نسبت فراوانی

سید ساجدین موسوی*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

مهران رحیمی

موسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۰۷

* s.mousavi@scu.ac.ir

چکیده

زمین‌لغزش مخاطره زمین‌شناسی مخرب در مناطق مرتفع است که خسارات جبران‌ناپذیری را به بار می‌آورد. شهرستان مسجدسلیمان به دلیل شرایط زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی خود مستعد وقوع زمین‌لغزش است بطوری که ۷۰٪ زمین‌لغزش در آن شناسایی شده است. به همین جهت مطالعه عوامل مؤثر بر وقوع زمین‌لغزش‌ها و تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش به منظور کاهش آسیب‌ها در این منطقه اجتناب‌ناپذیر است. بدین منظور ۹ عامل مؤثر شامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، چینه‌شناسی، گسل‌ها و خطواره‌ها، کاربری اراضی، بارندگی، فاصله از جاده‌ها و آبراهه‌ها شناسایی و در نظر گرفته شد. نقشه‌های پهنه‌بندی با استفاده از روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نسبت فراوانی (FR) در محیط GIS تهیه و به ۵ کلاس با خطر خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند. بر این اساس، ۶۹/۴۵٪ (AHP) و ۵۶/۹۴٪ (FR) از منطقه مطالعاتی در محدوده با خطر زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرد. هم‌چنین، برای صحت‌سنجی این نقشه‌ها از ۲۱٪ از زمین‌لغزش رخ داده در این منطقه استفاده شد و دقت این نقشه‌ها برای محدوده‌های با خطر زیاد و خیلی زیاد محاسبه گردید (AHP=۶۶/۶۷٪ و FR=۷۳/۳۳٪). اگر چه دقت هر دو نقشه مناسب بود، اما نقشه پهنه‌بندی تهیه شده به روش FR دقیق‌تر است. بنابراین، استفاده از نقشه FR به منظور توسعه عمرانی آبی و حفاظت از منابع طبیعی در این منطقه توصیه می‌شود.

کلمات کلیدی: پهنه‌بندی زمین‌لغزش، مسجدسلیمان، تحلیل سلسله مراتبی، نسبت فراوانی، GIS

مقدمه

مبتنی بر این اصل کلی هستند که زمین‌لغزش‌های آبی در اثر همان عواملی ایجاد می‌شوند که منجر به وقوع زمین‌لغزش‌های گذشته شده‌اند (Clerici et al., 2002; Fabbri et al., 2003). بنابراین، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش متکی بر درک چگونگی حرکت دامنه‌ها و شناسایی عوامل مؤثر بر این حرکت است (Yalchin, 2008). کمی کردن نقش هر یک از این عوامل به تنهایی و در ترکیب با یکدیگر، به تهیه نقشه پهنه‌بندی دقیق از منطقه کمک خواهد کرد. منطق فازی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، رگرسیون لجستیک، رگرسیون چند متغیره، شبکه عصبی و نسبت فراوانی از مهمترین رویکردهای کمی برای پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها هستند. تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که مبتنی بر قضاوت مهندسی بوده و میزان ناسازگاری و سازگاری تصمیم قابل محاسبه است. Yalchin (۲۰۰۸) نقشه خطرپذیری زمین‌لغزش منطقه آردسن (Ardesen) ترکیه را به روش‌های تحلیل سلسله مراتبی و آماری دو متغیره و با بکارگیری عوامل سنگ‌شناسی-هوازدگی، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، فاصله و تراکم آبراهه‌ها و فاصله از جاده‌ها ترسیم کرد. هم‌چنین، Mansouridaneshvar (۲۰۱۶) با استفاده از پارامترهای دما، بارندگی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، کاربری اراضی، گسل‌ها و آبراهه‌ها و

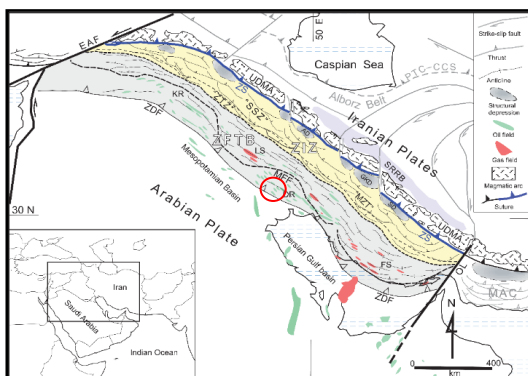
زمین‌لغزش‌ها یکی از مخاطرات زمین‌شناسی هستند که در دامنه‌های طبیعی و مصنوعی رخ می‌دهند. این پدیده می‌تواند پیامدهای اقتصادی و اجتماعی مخربی برای مردم محلی به‌همراه داشته باشد. زمین‌لغزش‌ها علاوه بر تلفات جانی، به مناطق مسکونی و شریان‌های حیاتی و نیز اراضی کشاورزی و جنگلی آسیب وارد نموده و با افزایش آورد رسوب عمر مفید سدها و کیفیت آب رودخانه‌ها را کاهش می‌دهند (Schuster, 1995). به همین دلیل، مطالعه زمین‌لغزش‌ها و آگاهی از پتانسیل وقوع آنها با هدف کاهش اثرات مخربشان ضروری است. شناسایی مناطق در معرض خطر زمین‌لغزش نقش مهمی را در این مطالعات بازی می‌کنند که در قالب نقشه‌های پهنه‌بندی و خطرپذیری مطرح می‌شوند. از سوی دیگر، وقوع این پدیده نتیجه حضور و تاثیر متقابل عوامل مختلف روی سطوح شیب‌دار است. پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در هر منطقه تحت تاثیر عواملی نظیر زاویه شیب، جهت شیب، ارتفاع، فاصله از گسل‌ها و عناصر ساختاری، فاصله از رودخانه‌ها و شبکه‌های زهکشی، فاصله از جاده‌ها و راه‌آهن، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و پوشش خاک، بارندگی و پوشش گیاهی می‌باشد (Bui et al., 2012; Wang et al., 2014; Yusef et al., 2016; Jaafari et al., 2014; Romer and Ferentinou, 2016). نقشه‌های پهنه‌بندی زمین‌لغزش‌ها

زمین شناسی و موقعیت میدان نفتی مورد مطالعه

شهرستان مسجدسلیمان با وسعت ۴۵۳۹/۶ کیلومترمربع در شمال استان خوزستان و در پهنه زاگرس چین خورده واقع شده است (شکل ۱). این منطقه با برخورداری از ریخت شناسی کوهستانی یکی از مناطق پرخطر از نظر وقوع زمین لغزش در استان خوزستان است بگونه‌ای که زمین لغزش‌های بزرگ و متعددی مانند زمین لغزش کی‌نو را می‌توان در این ناحیه مشاهده کرد. همچنین، ناپایداری‌های شیب متعددی به شکل لغزش سنگ و سقوط سنگ در محلات مختلف شهر مسجدسلیمان به وقوع پیوسته است که زمین لغزش نفتک در سال ۱۳۹۶ جدیدترین آنهاست. این موضوع متاثر از شرایط چینه‌شناسی، زمین ریخت شناسی، تکتونیکی، اقلیمی و لرزه‌زمین‌ساختی این منطقه است که زمینه را برای وقوع این پدیده زمین شناسی فراهم آورده است (شکل ۲). از سوی دیگر، دست‌خوردگی دامنه‌ها در اثر حضور تاسیسات نفتی و پروژه‌های عمرانی نظیر جاده‌ها و سدهای شهید عباسپور و گذارلندر و نیز توسعه مناطق مسکونی به سمت دامنه‌ها بر شدت وقوع این پدیده افزوده است که می‌تواند خسارات جانی و مالی بسیاری با توجه به تراکم جمعیت در این منطقه به همراه داشته باشد (شکل ۳).

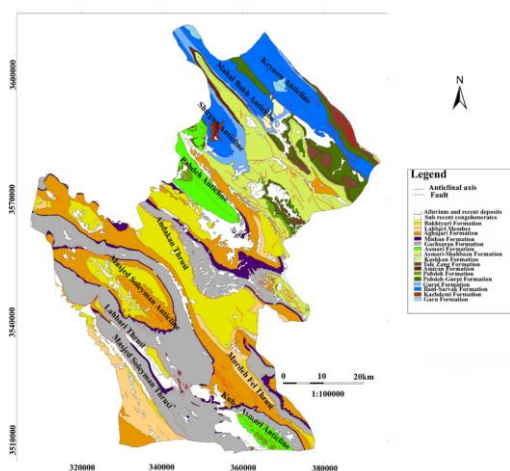
استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در منطقه بروجرد را تهیه کرد. Mousavi و Rahimi (۲۰۱۷) با بکارگیری ۷ عامل ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از آبراهه‌ها، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل‌ها و خطواره‌ها و فاصله از جاده‌ها نقشه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه بالارود (اندیمشک) را به کمک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ارائه کردند. روش نسبت فراوانی نیز توسط محققین مختلفی در سراسر دنیا مورد توجه قرار گرفته است (Lee and Sambath, 2006; Lee and) از محققین این دو روش را با یکدیگر یا همراه با چند روش دیگر بکار برده‌اند (Pradhan, 2007; Yilmaz, 2009; Akgun 2012). هم‌چنین، برخی از محققین این دو روش را با یکدیگر یا همراه با چند روش دیگر بکار برده‌اند (2009; Mironidis et al., 2016; Romer and Yilmaz,) (Ali et al., 2019 Ferentinou, 2016).

به همین دلیل این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از معیارهای زمین شناسی، زمین ریخت شناسی، تکتونیکی، بارندگی و کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه را با بکارگیری روش‌های تحلیل سلسله مراتبی (Analytical Hierarchy Process (AHP)) و نسبت فراوانی (Frequency ratio (FR)) در محیط GIS از نظر خطر وقوع زمین لغزش پهنه‌بندی کرده و مناطق پر خطر را شناسایی کند.



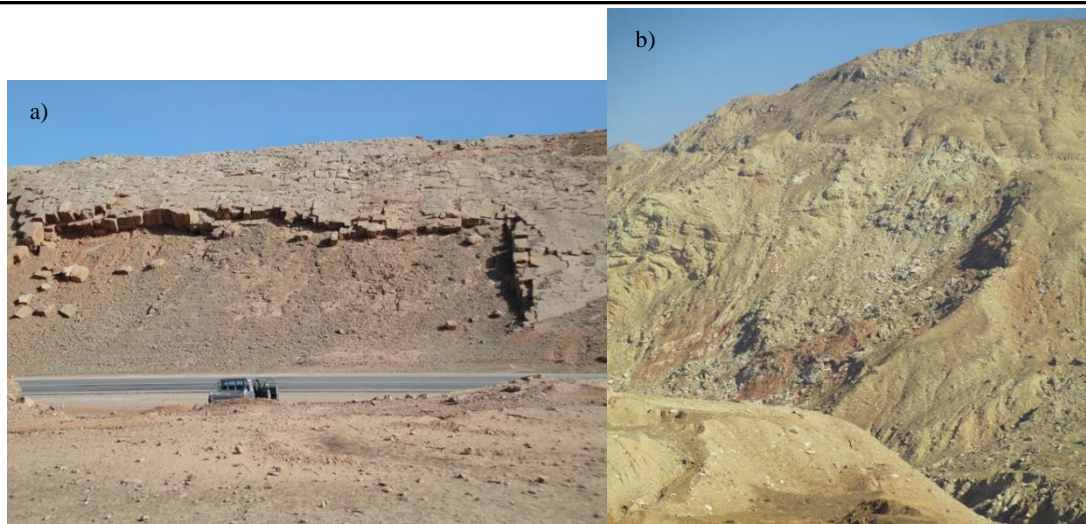
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در پهنه زمین ساختی زاگرس (Alavi, 2007). موقعیت محدوده مورد مطالعه با علامت دایره مشخص شده است.

Fig. 1. The location of the study area in Zagros tectonic zone (Alavi, 2007). The location of the study area is presented by the circle.



شکل ۲- نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه (با اقتباس از نقشه‌های زمین شناسی مسجدسلیمان، لالی، کوه آسماری و کوه کی نو با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰).

Fig. 2. Geological map of the study area (extracted from geological maps at 1:100000 scale of Masjed Soleyman, Lali, Kuh-e Asmari and Kuh-e- Keynow).

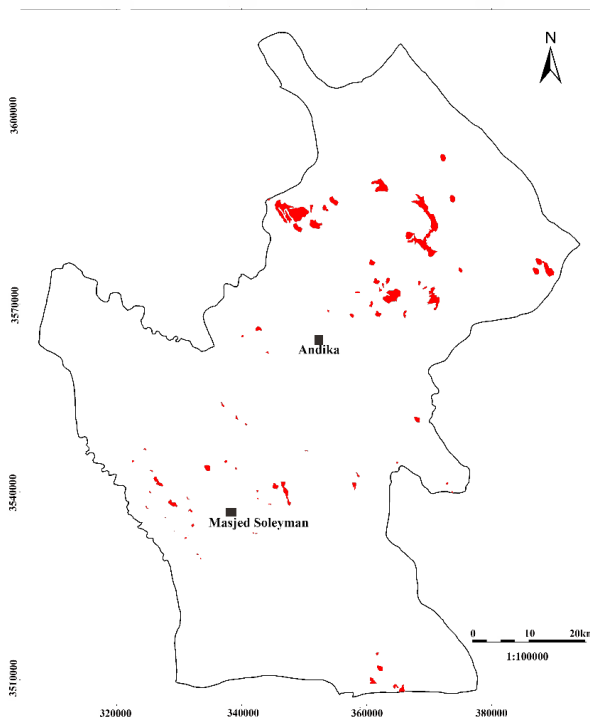


شکل ۳- زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی، (a) لغزش سنگ در مسیر جاده مسجدسلیمان- گدارلندر و (b) لغزش چرخشی در لایه‌های گچ و مارن هوازده سازند گچساران در مسیر جاده مسجدسلیمان - اهواز.

Fig. 3. Occurrence of landslides in the study area; (a) Rock slide in the Aghajari in Masjed Soleyman – Godarlandar road, and (b) Circular landslide in the Gachsaran Formation in Masjed Soleyman – Ahvaz road.

شده‌اند. منطقه مطالعاتی از نظر اقلیم در منطقه گرم و نیمه خشک همراه با بارندگی‌های رگباری و سیل آسا قرار گرفته است به طوری که بارندگی سالیانه آن از ۳۰۰ تا ۱۲۰۰ میلیمتر متغیر است (www.chaharmahalmet.ir). در این پژوهش بر اساس مطالعه گزارشات موجود، عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره- ای و بازدیدهای میدانی ۷۰ مورد زمین لغزش در محدوده شهرستان مسجدسلیمان شناسایی شده است (شکل ۴).

مورفولوژی کوهستانی و شیب زیاد دامنه‌ها در منطقه مطالعاتی متأثر از مجموعه‌ای از تاقدیس‌های کشیده و نامتقارن با راستای شمال غرب - جنوب- شرق است که محور آنها مارپیچی است. تاقدیس‌های مسجدسلیمان، نفت سفید، آسماری، کی نو و پایده مهمترین ساختارهای چین خورده در محدوده مورد مطالعه هستند. همچنین، راندگی‌های لهری، مسجدسلیمان، رامهرمز، اندیکا و لالی و نیز گسل‌های کوچک متعددی منطقه را تحت تاثیر قرار داده- اند که منجر به خردشدگی توده‌سنگ‌های منطقه و افزایش لرزه‌خیزی منطقه



شکل ۴- نقشه زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه.

Fig. 4. Landslide inventory map of Masjed Soleyman area.

مواد و روش‌ها

مورد بررسی قرار گرفتند. این عوامل بگونه‌ای انتخاب شدند که ضمن موثر بودن در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی، قابل سنجش و دارای تغییرات فضایی باشند.

چینه‌شناسی

جنس لایه‌های تشکیل‌دهنده دامنه‌ها در هر منطقه‌ای نقش مهمی در ایجاد ناپایداری شیب دارد، به طوری که دامنه‌های متشکل از لایه‌های متناوب سنگ سخت و نرم و نیز نهشته‌های کوتاه‌تر بیشتر در معرض خطر هستند. حضور سنگ‌های گلی در دامنه‌ها به دلیل قابلیت هوازگی و تورم‌پذیری و نیز دوام کم در رخنمون‌های سنگی ناپایداری شیب را به همراه دارد. هم-چنین، انحلال سنگ‌های قابل حل ضمن گسترش مجاری و حفرات کارستی منجر به تخریب یکپارچگی ساختمان و چسبندگی آنها می‌شود (Mousavi, 2016). در چنین وضعیتی در دامنه‌های پر شیب، قطعات و بلوک‌های ماسه‌سنگی و آهکی حاصل از تقاطع سطوح لایه‌بندی و سیستم‌های درزه دچار واژگونی، سقوط سنگ یا لغزش سنگ خواهند شد (شکل ۲). با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و بازدیدهای صحرائی، در منطقه مورد مطالعه نهشته‌های به سن کوتاه تا کوتاه‌تر رخنمون دارند که عمدتاً متشکل از سنگ‌های آهک، دولومیت، کنگلومرا، ماسه‌سنگ، مارن، شیل، گچ و انیدریت و نیز لای سنگ هستند. به دلیل وسعت زیاد منطقه مطالعاتی و عدم امکان نمایش سازندهای با وسعت کم روی نقشه و نیز به منظور تسهیل فرآیند پهنه‌بندی، سازندهای دارای ترکیب سنگ‌شناسی و رفتار زمین‌شناسی مهندسی نسبتاً مشابه در یک کلاس قرار داده شده‌اند (جدول ۱).

ارزایی و پهنه‌بندی خطر زمین لغزش مستلزم شناسایی عوامل و متغیرهای موثر در وقوع آن است. در این تحقیق معیارهای ارتفاع، شیب، فاصله از آبراه‌ها و رودخانه‌ها، چینه‌شناسی، فاصله از گسل‌ها و خطواره‌ها، زاویه و جهت شیب، میزان بارندگی سالیانه، کاربری اراضی و فاصله از جاده در تهیه نقشه‌پهنه‌بندی زمین‌لغزش در منطقه مورد استفاده قرار گرفت و نقشه رقومی هر یک از آنها تهیه گردید. لایه و نقشه هر یک از معیارهای یاد شده با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و نیز عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای در محیط Arc GIS 10.4 تهیه شده‌اند. در ادامه، هر لایه نقشه رقومی ایجاد شده براساس قضاوت مهندسی و بازدیدهای صحرائی به تعدادی زیر لایه (کلاس) تقسیم شدند. سپس با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و نسبت فراوانی، وزن هر لایه و زیر لایه محاسبه و با تلفیق آنها میزان خطر برای هر پیکسل از منطقه تعیین گردید و سرانجام نقشه نهایی تهیه شد. در این تحقیق به منظور صحت‌سنجی نقشه‌های ترسیم شده، زمین‌لغزش‌های رخ داده در منطقه مطالعاتی روی آنها تصویر شدند و دقت و صحت این نقشه‌ها با یکدیگر مقایسه گردید.

عوامل مسبب زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه

درک رابطه بین زمین‌لغزش‌ها و عوامل ایجاد کننده آنها گام اولیه در تهیه نقشه خطر وقوع زمین‌لغزش‌های احتمالی در آینده است. در این مطالعه بر اساس تحقیقات انجام شده جهت تهیه نقشه خطر وقوع زمین‌لغزش در مناطق مختلف دنیا و با در نظر گرفتن معیارهای زمین‌شناسی، زمین‌ریخت-شناسی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه، ۹ عامل موثر در این منطقه انتخاب و

جدول ۱- کلاس‌بندی چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

Table 1. Stratigraphic subclasses of the study area.

Subclass	Symbols
Quaternary deposits	Q
Lahbari member, Gachsaran, Kazhdomi, Garu, Tale Zang and Padeh-Gurpi Formations	Lbm, Gs, Kz, Ga, Tz, PD-Gu
Aghajari and Mishan Formations and recent conglomerate	Aj, Mn, Rc
Amiran, Kashkan and Bakhteyari Formations	Am, Kn, Bk
Asmari, Asmari-Shahbazan and Ilam-Sarvak Formations	As, As-Sh, Il-Sr

بارندگی

معمولاً بعد از یک بارندگی سنگین و سیل‌آسا زمین‌لغزش‌های متعددی به وقوع می‌پیوندد. نفوذ آب به درون دامنه‌های متشکل از خاک و سنگ ضمن افزایش وزن توده، افزایش فشار آب‌منفذی و کاهش مقاومت برشی این مصالح را به همراه خواهد داشت که حرکت مصالح روی سطح دامنه به سمت پایین را تسهیل می‌کند. بر اساس آمارهای سازمان هواشناسی کشور میزان بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه به ۵ کلاس ۳۰۰ تا ۴۸۰ میلی‌متر، ۴۸۰/۰۱ تا ۶۶۰ میلی‌متر، ۶۶۰/۰۱ تا ۸۴۰ میلی‌متر، ۸۴۰/۰۱ تا ۱۰۲۰ و ۱۰۲۰/۰۱ تا ۱۲۰۰ میلی‌متر رده‌بندی شده است.

شیب

زاویه شیب یکی از عوامل مهم در تحلیل پایداری شیب‌های سنگی و خاکی است. زیرا با افزایش شیب نیروهای محرک ناشی از وزن توده افزایش می‌یابد که به حرکت خاک و سنگ به سمت پایین دامنه کمک می‌کند.

فاصله از گسل‌ها و خطواره‌ها

گسل‌ها و خطواره‌ها سطوح ضعیفی هستند که با تخریب یکپارچگی و چسبندگی توده سنگ، شرایط را برای تراوش و نفوذ آب به درون دامنه‌ها تسهیل می‌کنند. این امر منجر به افزایش فشار آب‌منفذی و کاهش مقاومت برشی مصالح تشکیل دهنده شیب‌ها می‌شود که به بروز ناپایداری می‌انجامد. از سوی دیگر، حرکت گسل‌های فعال و وقوع زلزله نیز در ایجاد ناپایداری شیب نقش اساسی دارند. بررسی‌های صحرائی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که عمده زمین‌لغزش‌ها در مجاورت گسل‌ها و تا فاصله ۴۰۰ متر از خط اثر گسل‌ها رخ داده‌اند به طوری که، فاصله عمده آنها کمتر از ۱۰۰ متر است. به منظور کلاس‌بندی لایه گسل، فاصله از گسل به رده‌های کمتر از ۱۰۰ متر، ۱۰۰ تا ۲۰۰ متر، ۲۰۰ تا ۴۰۰ متر، ۴۰۰ تا ۸۰۰ متر، ۸۰۰ تا ۱۶۰۰ متر و بیشتر از ۱۶۰۰ متر تقسیم‌بندی شده است.

ارتفاع

اهمیت ارتفاع در ایجاد دامنه‌ها و سطوح پر شیب است که با افزایش شیب احتمال وقوع زمین‌لغزش افزایش می‌یابد. به منظور محاسبه ارتفاع منطقه مورد مطالعه نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) آن تهیه شده است. بر اساس این نقشه پست‌ترین و مرتفع‌ترین نقاط منطقه بترتیب ۷۰ و ۳۷۴۱ متر از سطح دریا ارتفاع دارند. منطقه مطالعاتی بر اساس نقشه مدل ارتفاعی به ۵ رده با ارتفاع ۷۰ تا ۴۰۰/۰۱ متر، ۴۰۰ تا ۸۰۰/۰۱ متر، ۸۰۰ تا ۱۳۰۰/۰۱ متر، ۱۳۰۰/۰۱ تا ۱۸۰۰/۰۱ متر و ۱۸۰۰/۰۱ تا ۳۷۴۱ متر کلاس‌بندی شده است.

کاربری اراضی

کاربری اراضی معرف نوع و شدت دست‌خوردگی و دست‌اندازی انسان در محیط طبیعی یک منطقه است. فعالیت‌های انسانی با تغییر در شیب دامنه‌ها و کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و نیز تخریب پنجه دامنه‌ها به وقوع زمین‌لغزش‌های ایجاد شده در منطقه مطالعاتی کمک کرده‌اند. لایه کاربری اراضی به منظور پهنه‌بندی زمین‌لغزش این منطقه به ۵ کلاس تقسیم شده است (جدول ۲).

جدول ۲- کلاس‌بندی کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه.

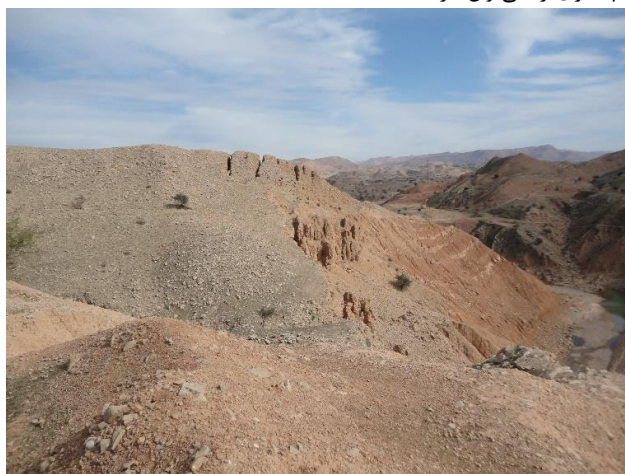
Table 2. Land use subclasses of the study area.

Subclass	Symbols
Water surfaces	WS
Semi and dispersed pastures, Dry farming, Barren lands	SDP-DF-BL
Sparse forests and Dense pastures	SF-DP
Residential areas, Shrubbery, Semi-dense forests and Dense forests	RA-S-SDF-DF
River bed, Irrigated farming, Gardens, Lagoon and Artificial forests	RB-IF-G-L-AF

مطالعاتی مشاهده کرد (شکل ۵). بر اساس بازدیدهای صحرایی و بررسی مقالات مختلف، ۵ کلاس برای حریم رودخانه‌ها و آبراهه‌ها با فاصله ۵۰ متر در نظر گرفته شده است (Myronidis et al., 2016; Yalchin, 2008). این رده‌ها بترتیب از صفر تا ۵۰ متر، ۵۰/۰۱ تا ۱۰۰ متر، ۱۰۰/۰۱ تا ۱۵۰ متر، ۱۵۰/۰۱ تا ۲۰۰ متر و بیش از ۲۰۰ متر هستند.

فاصله از آبراهه‌ها

درجه اشباع مصالح تشکیل‌دهنده شیب عامل مهمی است که پایداری یک دامنه را کنترل می‌کند. نزدیکی به رودخانه‌ها و آبراهه‌ها نه تنها موجب افزایش درجه اشباع مصالح پنجه دامنه خواهد شد، بلکه فرسایش این بخش در اثر پدیده زیرشویی (Undercutting) را در پی دارد. این امر در نهایت منجر به ناپایداری شیب می‌شود که این نوع ناپایداری را می‌توان در منطقه



شکل ۵- وقوع زمین‌لغزش در مجاورت یک آبراهه در اثر زیرشویی در مسیر جاده مسجدسلیمان - اهواز.

Fig. 5. Occurrence of landslides close to a stream caused by undercutting in Masjed Soleyman– Ahvaz road.

فاصله از جاده‌ها

در مناطقی که جاده از مناطق کوهستانی و صعب العبور می‌گذرد، ترانشه‌زنی و کوهبری موجب برداشته شدن بخشی از تکیه‌گاه توده خاک و سنگ دامنه می‌شود. این کار تغییر در شیب دامنه و افزایش دست‌خوردگی مصالح تشکیل‌دهنده و هوازگی آنها را در پی دارد. این وضعیت می‌تواند منجر به وقوع زمین لغزش‌های متعدد در مسیر جاده شود که نمونه‌هایی از آن در منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است (شکل ۸۲). بر اساس بازدیدهای صحرایی از منطقه و تحقیقات انجام شده توسط Rozos و همکاران (۲۰۱۱) و نیز Myronidis و همکاران (۲۰۱۶) فاصله از جاده‌ها ۵۰ متر در نظر گرفته شد. بر این اساس رده‌بندی لایه حریم جاده با تفکیک آن به ۵ کلاس صفر تا ۵۰ متر، ۵۰/۰۱ تا ۱۰۰ متر، ۱۰۰/۰۱ تا ۱۵۰ متر، ۱۵۰/۰۱ تا ۲۰۰ متر و بیش از ۲۰۰ متر صورت گرفته است.

روش‌های پهنه‌بندی و تهیه نقشه خطر وقوع زمین لغزش

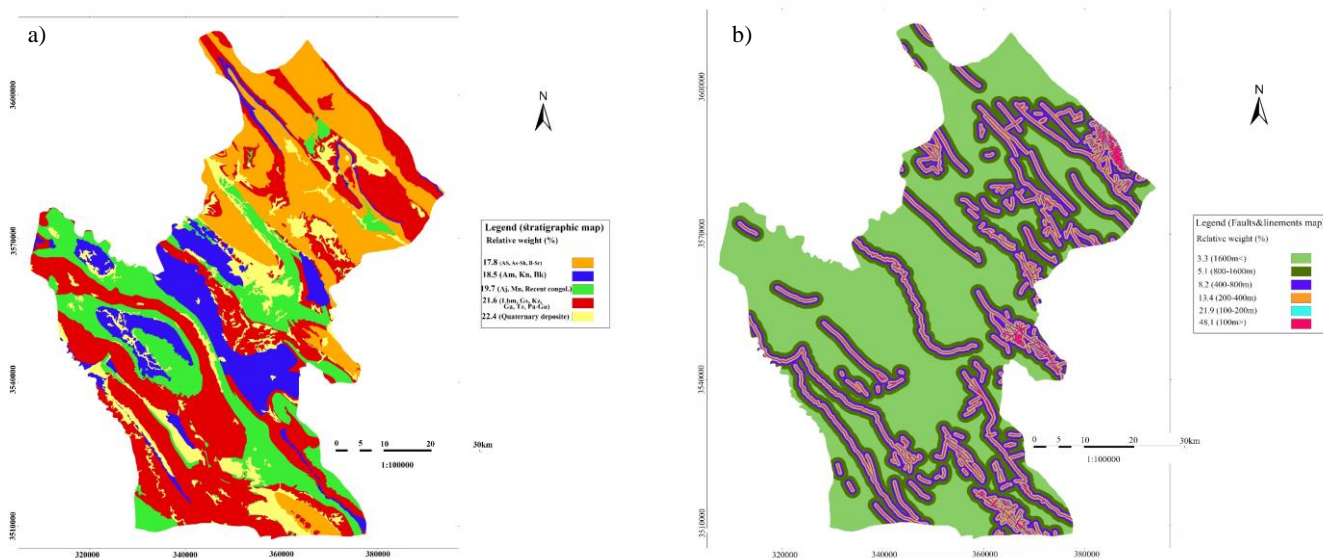
در این تحقیق به منظور تحلیل خطر زمین لغزش در منطقه مطالعاتی دو روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و نسبت فراوانی (FR) مورد استفاده قرار گرفت. اساس این روش‌ها به ترتیب مبتنی بر قضاوت کارشناس خبره و آمار و اطلاعات زمین لغزش‌های رخ داده است.

روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

این روش قابلیت و توانایی بکارگیری همزمان داده‌ها و معیارهای کمی و کیفی را در تصمیم‌گیری دارد. اساس این روش مبتنی بر مقایسه زوجی بین

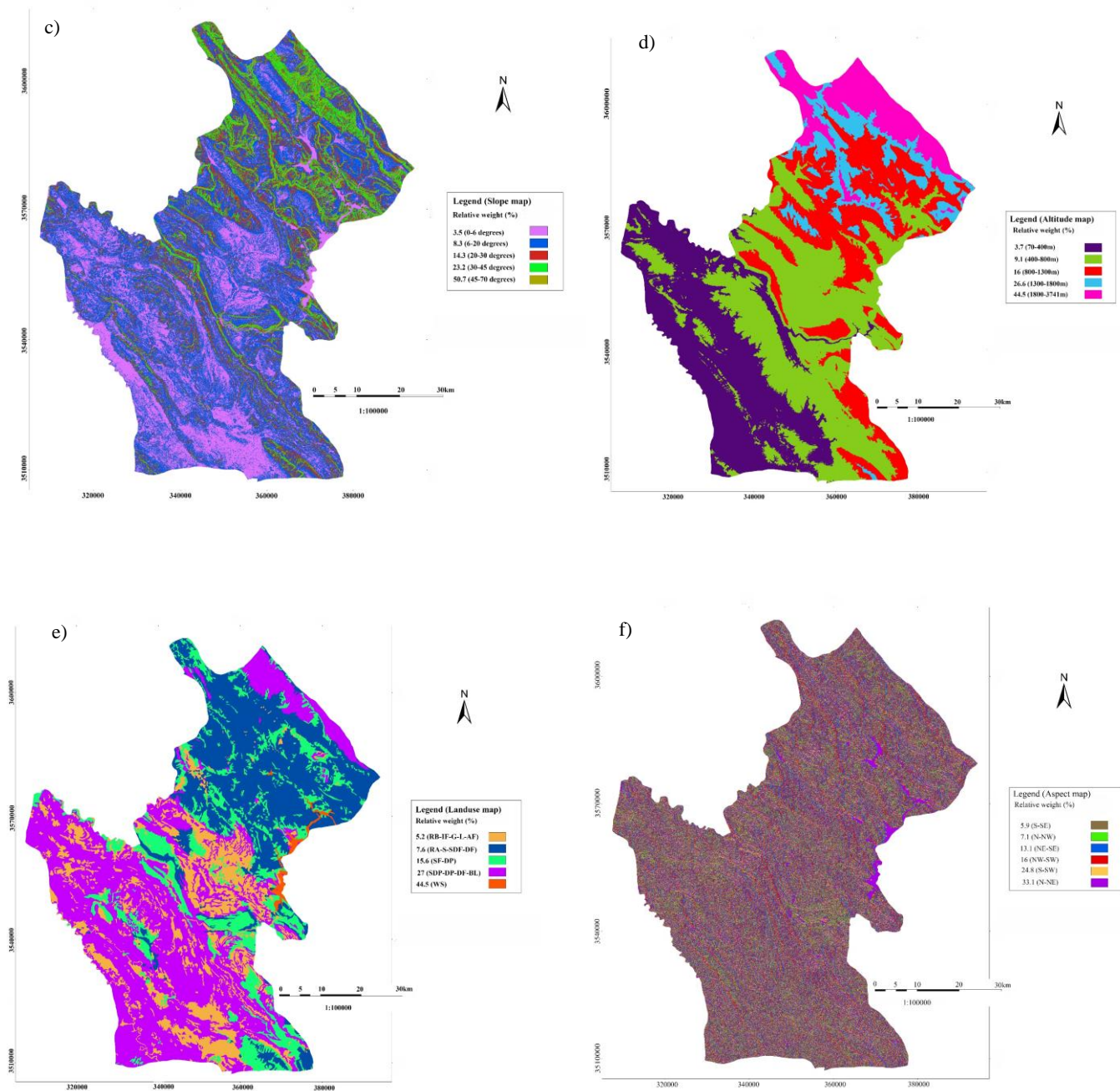
معیارها و زیرمعیارهای مختلف است. از آنجا که اهمیت هر کدام از ۹ عامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مورد مطالعه متفاوت است، ضرورت دارد تا وزن نسبی هر یک از عوامل در وقوع زمین لغزش‌های منطقه کمی شود. به همین دلیل، مقایسه زوجی بین هر دو عامل موثر در وقوع زمین لغزش و کلاس‌های مختلف هر عامل با استفاده از روش AHP انجام شده است. حاصل این فرآیند ایجاد یک ماتریس مقایسه زوجی بین تمام این عوامل موثر است. در این روش، وزن نسبی هر عامل نسبت به عامل دیگر بر اساس یک مقیاس عددی از یک تا ۹ به ترتیب اهمیت و بر اساس قضاوت مهندسی صورت گرفته است. به طوری که عاملی که بیشترین اثر در وقوع زمین لغزش را داشته امتیاز ۹ و عامل با کمترین تاثیر امتیاز یک را بخود اختصاص می‌دهد.

همچنین، در این پژوهش میزان خطا و ناسازگاری مدل با محاسبه ضریب سازگاری ((Consistency ratio (CR)) تعیین گردید. در صورتی که مدلی دارای مقدار عددی ضریب سازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، آن مدل کنار گذاشته شده و با وزن‌دهی مجدد سعی می‌شود تا مقدار این ضریب به کمتر از این مقدار کاهش یابد. به منظور تعیین وزن نسبی هر عامل و کلاس‌های مختلف آن در ماتریس، نرم افزار Expert choice 11 مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس، در ابتدا وزن نسبی کلاس‌های (زیر معیارها) مختلف هر عامل بدست آمد و مجدداً نقشه آن عامل با توجه به این وزن رده‌بندی شده است (شکل ۶). در نهایت، با حل ماتریس مقایسه زوجی بین عامل‌ها (معیارها)، وزن نسبی هر عامل مشخص می‌گردد.

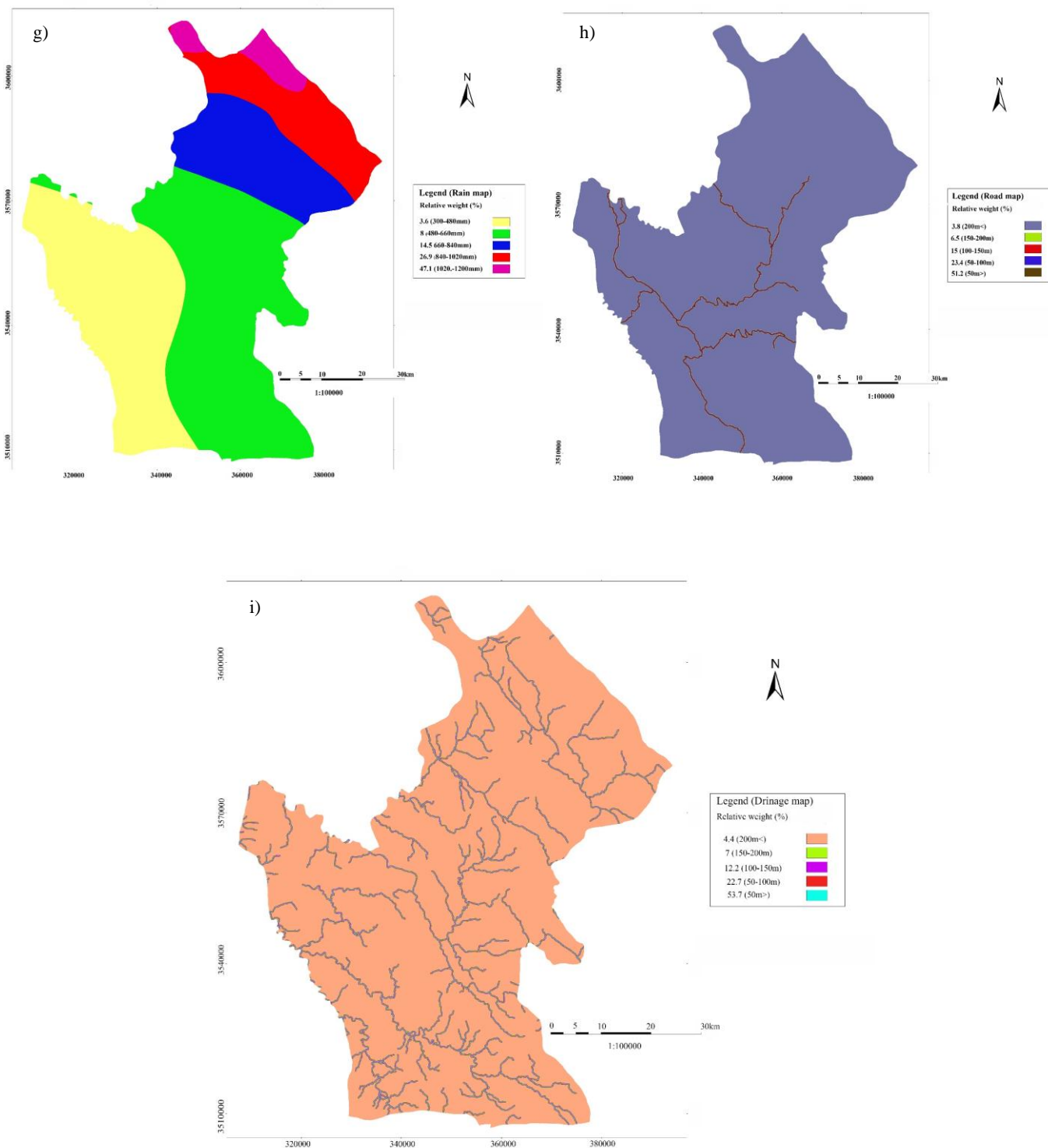


شکل ۶- نقشه کلاس‌بندی عوامل موثر بر زمین لغزش‌های منطقه مطالعاتی بر اساس وزدهی AHP، (a) چینه‌شناسی، (b) گسل‌ها و خطواره‌ها، (c) شیب، (d) ارتفاع، (e) کاربری اراضی، (f) جهت شیب، (g) بارندگی، (h) فاصله از جاده‌ها و (i) فاصله از آبراهه‌ها.

Fig. 6. Classified maps of landslide causal factors using AHP for the study area. A) Stratigraphy, Classified maps of landslide causal factors using AHP for the study area; (a) Stratigraphy; (b) Faults and lineaments, (c) Slope, (d) Altitude, (e) Land use, (f) Aspect, (g) Rain, (h) Proximity to roads, and (i) Proximity to drainages.



شکل ۶- ادامه.
Fig. 6. Continued.



شکل ۶- ادامه.
Fig. 6. Continued.

روش نسبت فراوانی

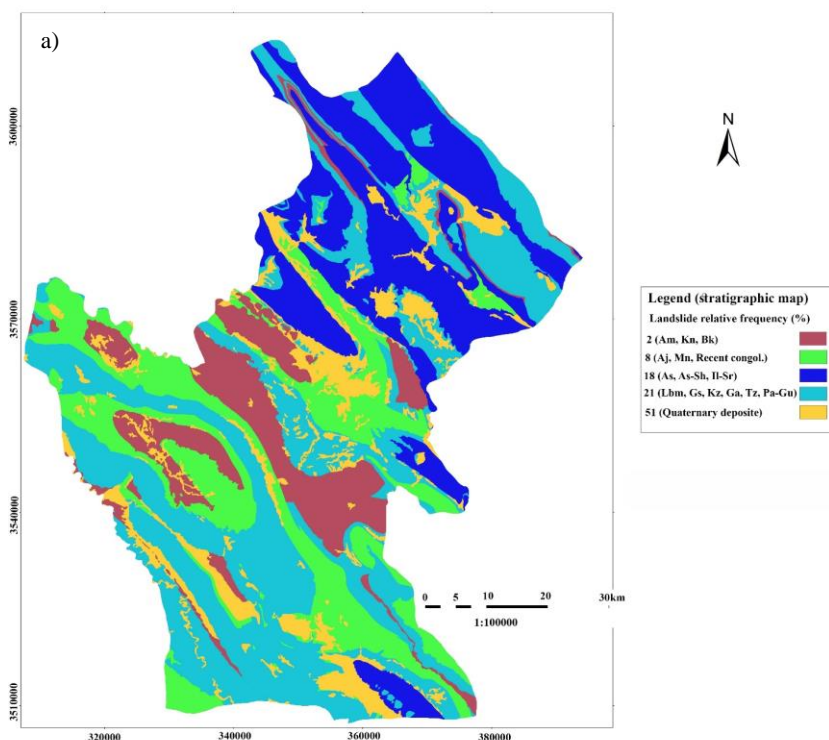
روش آماری نسبت فراوانی به منظور استنباط میزان ارتباط بین پراکندگی زمین لغزش‌های رخ داده و عوامل موثر در وقوع آنها مورد استفاده قرار می‌گیرد (Ferentinou and Chalkias, 2013). بدین منظور، تعداد و مساحت زمین لغزش‌های رخ داده جهت وزن دهی به عوامل ایجاد کننده و کلاس‌های هر عامل به خدمت گرفته شد تا وزن و نقش آنها در وقوع زمین لغزش‌های در محدوده مطالعاتی بدست آید. روش‌های نسبت فراوانی مختلفی برای پهنه بندی زمین لغزش بکار گرفته شده است که یکی از جدیدترین آنها روش پیشنهاد شده توسط Sabatakakis و همکاران (۲۰۱۳) می‌باشد که در این تحقیق از آن استفاده شده است. مطابق این روش نسبت فراوانی وقوع زمین لغزش (Landslide Relative Frequency (LRF)) در هر کلاس از یک عامل محرک لغزش از رابطه (۱) قابل محاسبه است.

$$LRF = \frac{\left(\frac{LF}{CA}\right)}{\sum \left(\frac{LF}{CA}\right)} \quad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه LF نسبت درصد تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در هر کلاس به کل تعداد زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه مورد مطالعه و CA

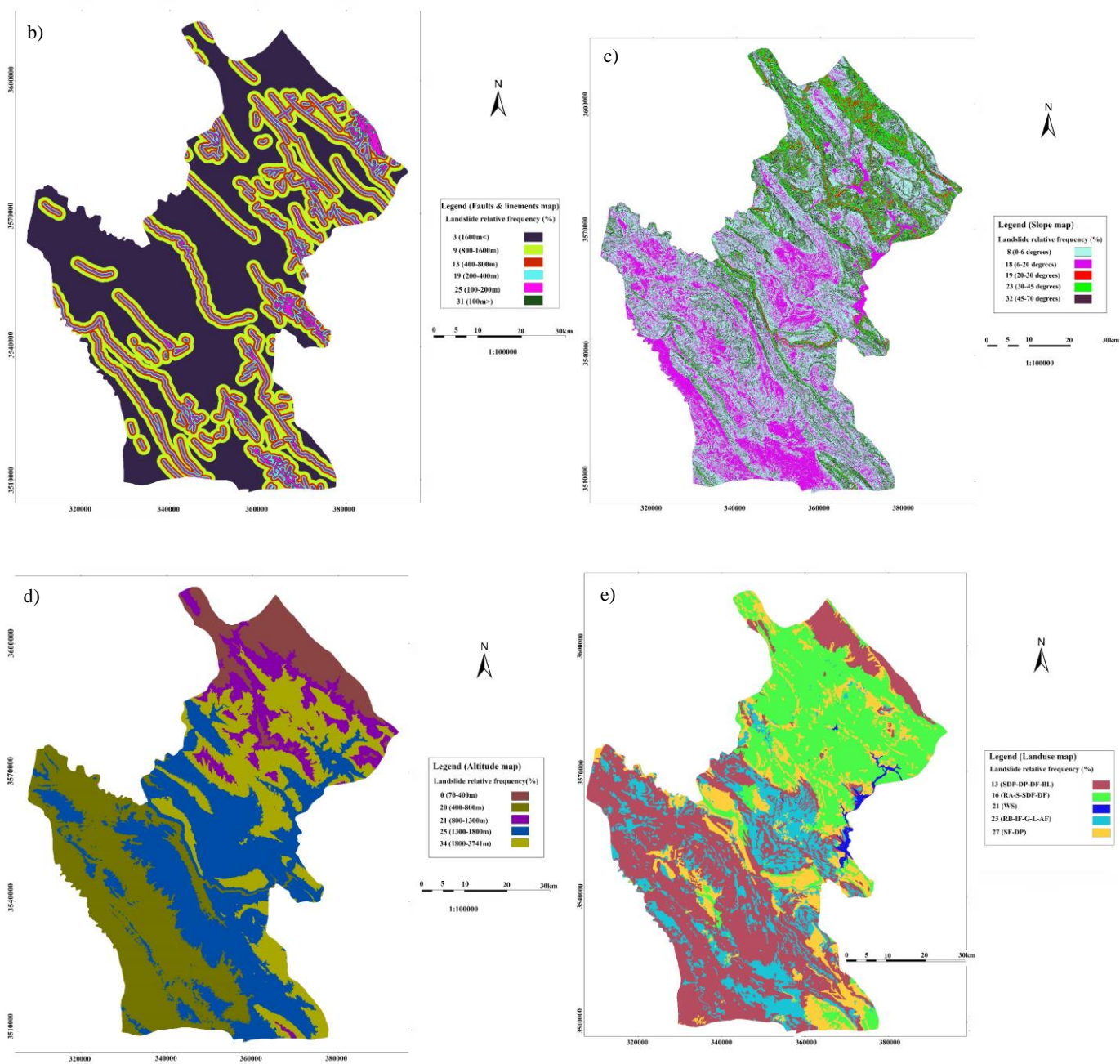
نسبت درصد مساحت هر کلاس به مساحت کل منطقه مطالعاتی می‌باشد. با محاسبه مقادیر LRF بدست آمده برای هر کلاس از عوامل موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه، لایه نقشه آن عامل بر اساس آن مقادیر رده بندی شد (شکل ۷).

به منظور تعیین ارتباط بین ۹ عامل محرک زمین لغزش‌های منطقه و نیز مشخص نمودن وزن هر عامل، تحلیل عاملی (Factor analysis) بکار گرفته شد. تحلیل عاملی به روش R و با بکارگیری نرم افزار SPSS 25 صورت گرفته است. در این تحقیق، معیار انتخاب عوامل مهم و موثر در وقوع زمین لغزش‌های منطقه مطالعاتی، مقدار ویژه (Eigen value) و نمودار سنگریزه‌ای کتل (Cattell scree-plot) است. بر این اساس، برای انتخاب عامل‌های اصلی از مقادیر ویژه بزرگتر از یک و نیز خط $y=1$ نمودار سنگریزه‌ای کتل استفاده شده است. شکل (۸) عوامل اصلی با مقادیر ویژه بزرگتر از یک را نشان می‌دهد که مبین آن است که ۹۴/۶۷ درصد از واریانس کل داده‌ها مربوط به تنها سه عامل است که قابلیت تبیین واریانس متغیرها (عوامل) را دارند. بار یا مقادیر ویژه ۹ عامل پس از چرخش واریانس و جمع کردن با عدد یک (به منظور مثبت سازی اعداد) برای این عامل اصلی محاسبه گردید. در ادامه با محاسبه مجموع بارها، وزن هر عامل با تقسیم کردن بار هر عامل بر مقدار بار کل محاسبه و نقشه پهنه بندی خطر زمین لغزش ترسیم گردید (جدول ۳).



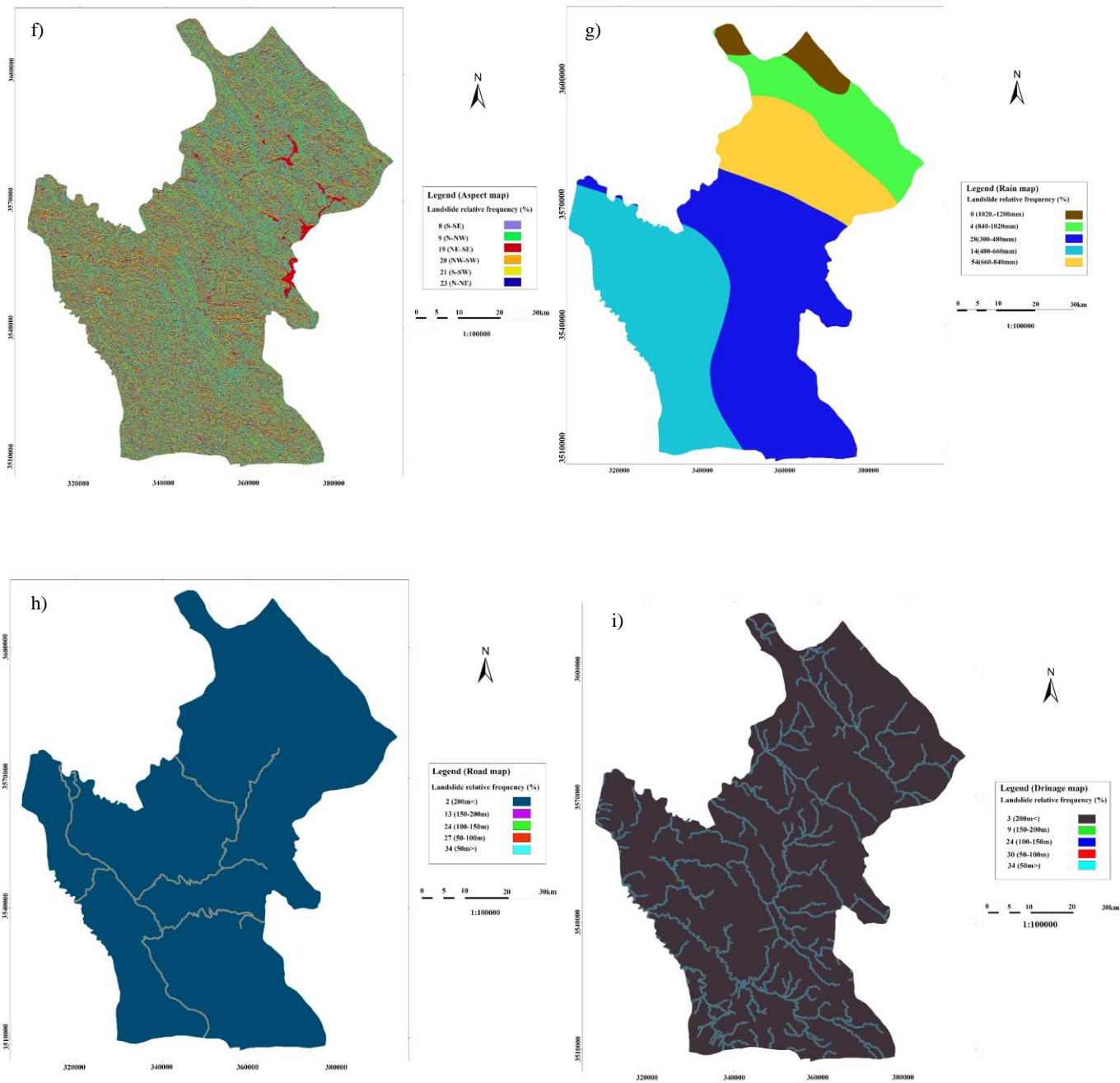
شکل ۷- نقشه کلاس بندی عوامل موثر بر زمین لغزش‌های منطقه مطالعاتی بر اساس نسبت فراوانی، (a) چینه شناسی، (b) گسل‌ها و خطواره‌ها، (c) شیب، (d) ارتفاع، (e) کاربری اراضی، (f) جهت شیب، (g) بارندگی، (h) فاصله از جاده‌ها و (i) فاصله از آبراهه‌ها.

Fig. 7. Classified maps of landslide causal factors using frequency ratio for the study area; (a) Stratigraphy, (b) Faults and lineaments, (c) Slope, (d) Altitude, (e) Land use, (f) Aspect, (g) Rain, (h) Proximity to road, and (i) Proximity to drainages.

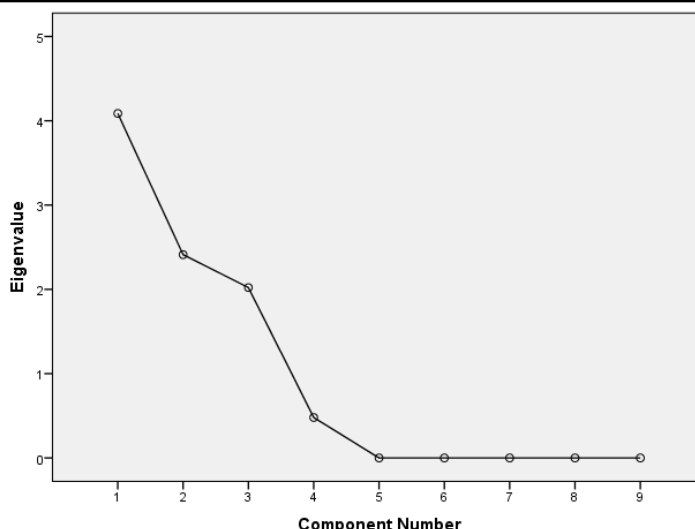


شکل ۷ - ادامه.

Fig. 7. Continued.



شکل ۷- ادامه.
Fig. 7. Continued.



شکل ۸- نمودار سنگریزه‌های تحلیل عاملی عوامل موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه مطالعاتی.
Fig. 8. Scree plot of factor analysis of landslide causal factors for the study area.

جدول ۳- عوامل موثر و وزن نهایی نرمال شده پس از چرخش واریماکس.

Table 3. Causal factors and normalized final weighting after Varimax rotation.

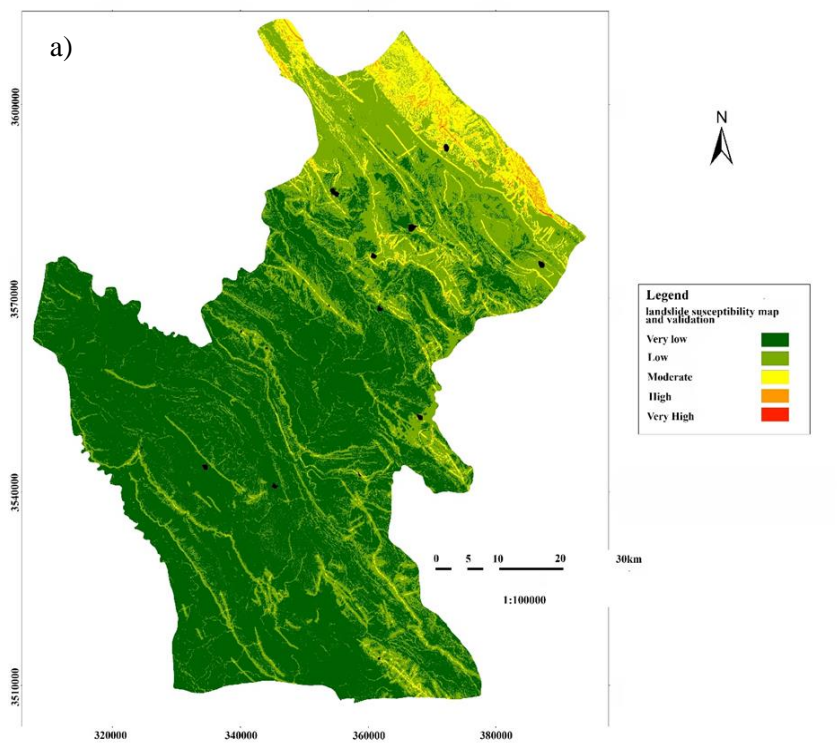
Factors	Factor loading	Conversion to positive coefficient (addition + 1)	Normalized final weighting
Stratigraphy	-0.569	0.431	0.038
Faults and lineaments	0.214	1.214	0.108
Slope	0.336	1.336	0.118
Altitude	0.888	1.888	0.167
Land use	-0.06	0.940	0.081
Aspect	-0.839	0.161	0.014
Rain	0.395	1.395	0.124
Proximity to roads	0.994	1.994	0.0177
Proximity to drainages	0.934	1.934	0.171

نتایج و بحث

شکل ۹ نقشه‌های پهنه‌بندی نهایی ترسیم شده به روش‌های AHP و نسبت فراوانی با استفاده از ۹ معیار و عامل موثر در وقوع زمین‌لغزش در شهرستان مسجدسلیمان را نشان می‌دهند. برای تهیه نقشه پهنه‌بندی نهایی شاخص خطر وقوع زمین‌لغزش (Landslide susceptibility index (LSI)) برای هر پیکسل با ترکیب عوامل موثر و کلاس‌های مختلف آنها تعیین گردید. رابطه زیر نحوه محاسبه مقادیر عددی این شاخص برای هر پیکسل را به روش AHP نشان می‌دهد.

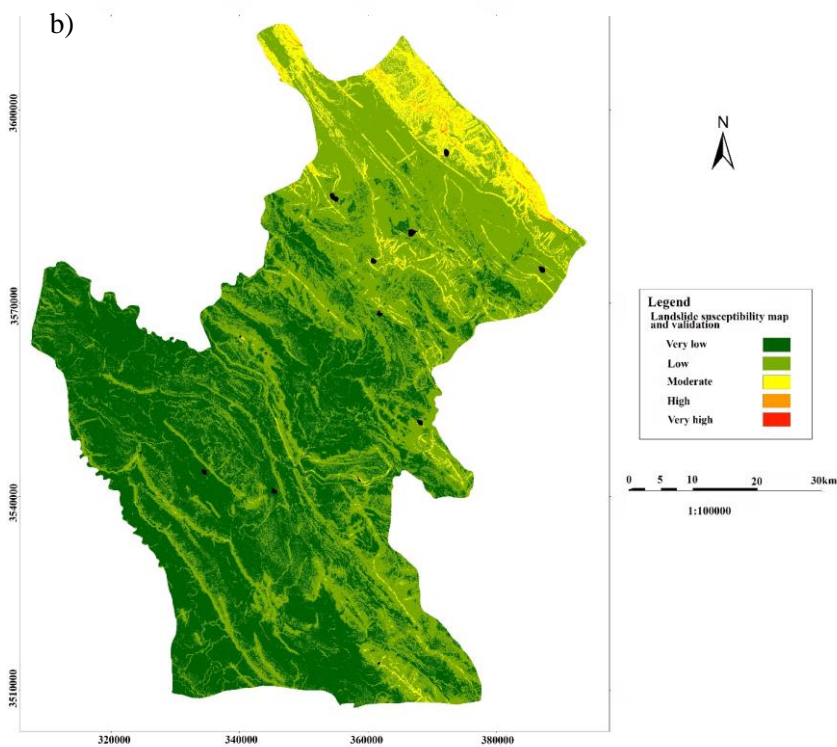
(شیب) $0.204 +$ (ارتفاع) $0.182 +$ (فاصله از گسل‌ها و خطواره‌ها) $0.173 +$ (کاربری اراضی) $LSI = 0.081$

(چینه‌شناسی) $0.122 +$ (بارندگی) $0.077 +$ (جهت شیب) $0.061 +$ (فاصله از آبراهه‌ها) $0.053 +$ (فاصله از جاده‌ها) $0.048 +$ همانطور که در این رابطه مشخص است، عوامل شیب، ارتفاع و فاصله از گسل‌ها و خطواره‌ها بترتیب با وزن 0.204 ، 0.182 و 0.173 بیشترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش در منطقه مطالعاتی دارند. نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش از طریق محاسبه شاخص خطر احتمالی وقوع زمین‌لغزش برای هر پیکسل از منطقه مورد مطالعه ترسیم گردید. مطابق شکل ۸ا نقشه پهنه‌بندی بر حسب شاخص خطر وقوع زمین‌لغزش به پنج کلاس با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی شد. بر اساس این نقشه ۶۹/۴۵ درصد از منطقه مطالعاتی در محدوده با خطر بسیار زیاد و زیاد قرار می‌گیرد (شکل ۱۰a).



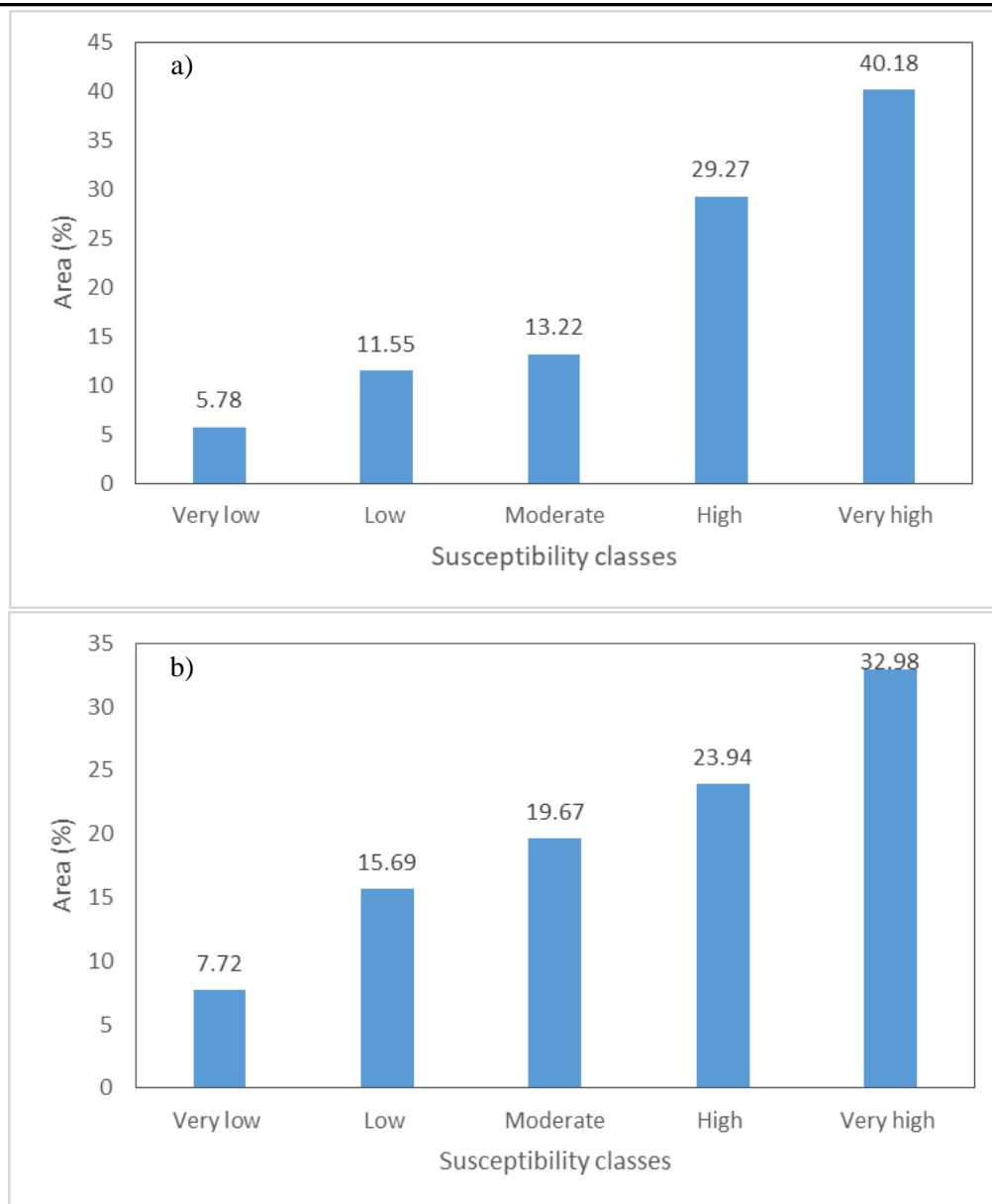
شکل ۹- (a) نقشه‌های پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش برای منطقه مطالعاتی و صحت‌سنجی آنها با روش AHP و (b) روش نسبت فراوانی. محدوده‌های سیاه معرف زمین‌لغزش هستند.

Fig. 9. Landslide susceptibility map and their validation for study area; (a) AHP method, and (b) Frequency method. The location of the landslide considered for testing is presented by black areas.



شکل ۹- ادامه.

Fig. 9. Continued.



شکل ۱۰- نمودارهای درصد مساحت پنج کلاس خطر زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه، (a) روش AHP و (b) روش نسبت فراوانی.

Fig. 10. Plots of area percentages of five landslide susceptibility zones for the study area; (a) AHP method, and (b) Frequency method.

(چینه‌شناسی) $+0/038$ (بارندگی) $+0/124$ (جهت شیب) $+0/014$
 (فاصله از آبراهه‌ها) $+0/171$ (فاصله از جاده‌ها) $+0/177$

با مشخص شدن شاخص خطر وقوع زمین لغزش برای پیکسل‌های مختلف منطقه مطالعاتی، نقشه پهنه‌بندی خطر وقوع زمین لغزش ترسیم گردید (شکل ۸B). به منظور مقایسه این روش با روش AHP، نقشه نهایی به پنج کلاس با خطر بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم و بسیار کم تقسیم‌بندی شد. نتایج این روش موید آن است که ۵۶/۹۲ درصد از منطقه مطالعاتی در محدوده با خطر خیلی زیاد و زیاد قرار می‌گیرد. همچنین، ۱۹/۶۷، ۱۵/۶۹ و ۷/۷۲ درصد از کل منطقه به ترتیب در رده متوسط، کم و بسیار کم‌واقع شده‌اند (شکل ۱۰b).

به منظور صحت‌سنجی نقشه‌های ترسیم شده، از نقشه زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه استفاده شده است (شکل ۳). برای این منظور ۲۱ درصد از

نتایج رابطه بین عوامل محرک زمین لغزش و زمین لغزش‌های رخ داده در مدل نسبت فراوانی در جدول (۳) آورده شده است. بر این اساس، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراهه‌ها، ارتفاع و بارندگی به ترتیب با وزن $0/177$ ، $0/171$ ، $0/167$ و $0/124$ بیشترین اهمیت را دارند. در حالیکه، جهت شیب و چینه‌شناسی با وزن نسبی $0/014$ و $0/038$ کمترین نقش را در وقوع زمین لغزش در این منطقه دارند. در این روش نیز به منظور ترسیم نقشه نهایی خطر وقوع زمین لغزش نیز شاخص خطر وقوع زمین لغزش برای هر پیکسل از طریق وزن‌های محاسبه شده با استفاده از روش‌های آماری (رابطه ۳) تعیین شد.

(شیب) $+0/118$ (ارتفاع) $+0/167$ (فاصله از گسل‌ها و خطواره‌ها) $+0/108$
 (کاربری اراضی) $LSI=0/083$

و خطواره‌ها، بارندگی، ارتفاع، شیب، جهت شیب، چینه شناسی، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراهه‌ها و کاربری اراضی مهمترین عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه بودند که جهت تهیه نقشه پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان مسجدسلیمان بکار گرفته شدند. نتایج حاصل از روش AHP نشان داد که از میان این عوامل، شیب، ارتفاع و فاصله از گسل‌ها و خطواره‌ها بترتیب بیشترین نقش را در وقوع زمین‌لغزش‌های این منطقه را دارند. در حالیکه در روش نسبت فراوانی، فاصله از جاده‌ها، فاصله از آبراهه‌ها، ارتفاع و بارندگی بترتیب با وزن ۰/۱۷۷، ۰/۱۷۱، ۰/۱۶۷ و ۰/۱۲۴/مهمترین عوامل کنترل کننده وقوع زمین‌لغزش در شهرستان مسجدسلیمان هستند. نقشه‌های پهنه‌بندی ترسیم شده با استفاده از هر دو مدل به پنج رده با خطر خیلی زیاد، زیاد، متوسط، کم و خیلی کم تقسیم‌بندی شدند. بر اساس نقشه‌های پهنه‌بندی حاصل از روش AHP و نسبت فراوانی، به ترتیب ۶۹/۴۵ و ۵۶/۹۶ درصد از منطقه مطالعاتی در محدوده با خطر خیلی زیاد و زیاد قرار می‌گیرند. نتایج صحت‌سنجی این نقشه‌ها نشان داد که دقت روش نسبت فراوانی بیشتر از روش AHP است. بنابراین به منظور ایمنی سازه‌ها و کاهش خسارات جانی و مالی احتمالی، بکارگیری نقشه پهنه‌بندی اخیر در مکان‌یابی سازه‌های جدید و توسعه مناطق شهری در این منطقه توصیه می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه (SCU.EG98.28667) در انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می‌گردد.

کل زمین‌لغزش‌های منطقه که به‌طور تصادفی انتخاب شده و در تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی بکار گرفته نشده بودند، مورد استفاده قرار گرفتند. شکل (۸) موقعیت مکانی این زمین‌لغزش‌ها روی نقشه‌های پهنه‌بندی تهیه شده را نشان می‌دهند. همانطور که در این شکل مشخص است، در نقشه تحلیل سلسه مراتبی ۶۶/۶۷ درصد از این زمین‌لغزش‌ها بترتیب در محدوده با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار می‌گیرند. در حالیکه در نقشه تهیه شده به روش نسبت فراوانی ۷۳/۳۳ درصد از این زمین‌لغزش‌ها بترتیب در محدوده با خطر متوسط، زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که نشان‌دهنده دقت بیشتر این روش است. این موضوع نشان می‌دهد که روش نسبت فراوانی ارتباط نزدیکی با شرایط زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، اقلیمی و کاربری اراضی منطقه دارد. زیرا که در این روش از داده‌های زمین‌لغزش‌های رخ داده استفاده شده است که به شرایط طبیعی منطقه نزدیک‌تر است.

نتیجه‌گیری

پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش نشان‌دهنده احتمال وقوع زمین‌لغزش در یک منطقه است که خود تابعی از موقعیت و پیشینه وقوع زمین‌لغزش‌ها در آن منطقه است. همچنین، تعیین دقیق میزان نقش و اهمیت عوامل محرک زمین‌لغزش در آن منطقه در ارائه مدل بهینه جهت ترسیم نقشه پهنه‌بندی بسیار کمک کننده است. به منظور پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش مدل‌ها و روش‌های مختلفی جهت آگاهی از میزان اهمیت عوامل مختلف مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها ارائه شده است. در این تحقیق از دو روش AHP و نسبت فراوانی برای این منظور استفاده شده است. معیارهای فاصله از گسل‌ها

منابع

- Akgun, A., 2012. A comparison of landslide susceptibility maps produced by logistic regression, multi-criteria decision, and likelihood ratio methods: a case study at Izmir, Turkey. *Landslides* 9(1), 93–106.
- Alavi, A., 2007. Structures of the Zagros fold-thrust belt in Iran. *American journal of science* 307, 1064–1095.
- Ali, S., Biermanns, P., Haider, R., Reicherter, K., 2019. Landslide susceptibility mapping by using a geographic information system (GIS) along the China–Pakistan economic corridor (Karakoram Highway), Pakistan. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 19, 999–1022.
- Bui, D.T., Pradhan, B., Lofman, O., Revhau, I., Dick, O.B., 2012. Landslide susceptibility assessment in the Hoa Binh province of Vietnam: a comparison of the Levenberg-Marquardt and Bayesian regularized neural networks. *Geomorphology* 171–172, 12–29.
- Clerici, A., Perego, S., Tellini, C., Vescovi, P., 2002. A procedure for landslide susceptibility zonation by the conditional analysis method. *Geomorphology* 48(4), 349–364.
- Dai, F.C., Lee, C.F., Li, J., Xu, Z.W., 2001. Assessment of landslide susceptibility on the natural terrain of Lantau Island, Hong Kong. *Environmental Geology* 40, 381–391.
- Fabbri, A., Chung, G.J., Cendrero, A., Remondo, J., 2003. Is prediction of future landslides possible with a GIS? *Natural Hazards* 30, 487–499.
- Ferentinou, M., Chalkias, C., 2013. Mapping mass movement susceptibility across Greece with GIS, ANN and statistical methods. *Landslide Science and Practice* 1(1), 321–327.
- Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., Sattarian, A., 2014. GIS-based frequency ratio and index of entropy models for landslide susceptibility assessment in the Caspian forest, northern Iran. *International Journal of Environmental Sciences and Technology* 11(4), 909–926.
- Lee, S., Pradhan, B., 2007. Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia using Frequency Ratio and Logistic Regression models. *Landslides* 4(1), 33–41.
- Lee, S., Sambath, T., 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environmental Geology* 50(6), 847–855.
- Mansouri Daneshvar, M.R., 2014. Landslide susceptibility zonation using analytical hierarchy process and GIS for the Bojnurd region, northeast of Iran. *Landslides* 11(6), 1079–1091.
- Marko, M., 2006. Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1: 250,000. *Geologija* 49(2), 295–309.
- Mousavi, S.S., 2016. Evaluation of geological engineering hazards and characteristics of karst in Ahvaz. 9th Iranian Conference of Engineering Geological and the Environment, Tehran.

- Mousavi, S.S., Rahimi, M., 2017. Landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and GIS in Balarud region, northern Khuzestan province. 4th YES Congress, Geological Survey of Iran, Tehran.
- Myronidis, D., Papageorgiou, C., Theophanous, S., 2016. Landslide susceptibility mapping based on landslide history and analytic hierarchy process (AHP). *Natural Hazards* 81, 245–263.
- Romer, C., Ferentinou, M., 2016. Shallow landslide susceptibility assessment in a semiarid environment - a Quaternary catchment of KwaZulu-Natal, South Africa. *Engineering Geology* 201, 29-44.
- Rozos, D., Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., 2011. Comparison of the implementation of rock engineering system and analytic hierarchy process methods, upon landslide susceptibility mapping, using GIS: a case study from the Eastern Achaia County of Peloponnesus, Greece. *Environmental Earth Sciences* 63, 49–63.
- Sabatakakis, N., Koukis, G., Vassiliades, E., Lainas, S., 2013. Landslide susceptibility zonation in Greece. *Natural hazards* 65(1), 523–543.
- Schuster, R.L., 1995. Reducing landslide risk in urban areas-experience in the United State. In: Cheng FY, Sheu MS (ed) *Urban disaster mitigation*, Elsevier Science Ltd, p. 217-230.
- Suzen, M.L., Doyuran, V., 2004. Data driven bivariate landslide susceptibility assessment using geographical information systems: a method and application to Asarsuyucatchment, Turkey. *Engineering Geology* 71, 303-321.
- Wang, X., Zhang, L., Wang, S., Lari, S., 2014. Regional landslide susceptibility zoning with considering the aggregation of landslide points and the weights of factors. *Landslides* 11(3), 399–409.
- Yalcin, A., 2008. GIS-based landslide susceptibility mapping using analytical hierarchy process and bivariate statistics in Ardesen (Turkey): comparisons of results and confirmations. *Catena* 72(1), 1–12.
- Yilmaz, I., 2009. Landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, artificial neural networks and their comparison: a case study from Kat landslides (Tokat-Turkey). *Computers and Geosciences* 35(6), 1125–1138.
- Youssef, A.M., Pourghasemi, H.R., El-Haddad, B.A., Dhahry, B.K., 2016. Landslide susceptibility maps using different probabilistic and bivariate statistical models and comparison of their performance at Wadi Itwad Basin, Asir Region, Saudi Arabia. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 75(1), 63–87.