



Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>

Original Article



## Optimal Landslide Susceptibility Zonation in The Sadat Hosseini Area, Khuzestan Province, Iran

Mohammadali Roshani, Mehdi Mumipour\*, Hakimeh Amanipour

Department of Marine Geology, Faculty of Marine Natural Resources, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran.

\* Corresponding author Email: [mumipur@kmsu.ac.ir](mailto:mumipur@kmsu.ac.ir)

Received: 9 January 2022

Revise Date: 8 March 2022

Accepted: 15 March 2022

DOI: 10.22113/jmst.2022.317867.2454

### ABSTRACT

Landslides, as destructive mass movements, pose significant risks to human life, infrastructure, and the environment. Accurate susceptibility zonation is crucial for land-use planning and risk mitigation. This study aims to identify the optimal model for landslide susceptibility mapping in the Sadat Hosseini area of Khuzestan Province, Iran, a region characterized by sensitive lithology, steep slopes, and increasing human activity. Three widely used models—the Anbalagan, Haeri-Samiei, and Analytical Hierarchy Process (AHP)—were implemented and compared. Key influencing factors, including lithology, slope gradient and aspect, land use/land cover, distance from rivers and roads, seismicity, and elevation, were analyzed within a Geographic Information System (GIS) framework. Thematic layers for each factor were created, weighted according to each model's methodology, and integrated to produce final susceptibility maps. The results categorized the area into five susceptibility classes: very low, low, moderate, high, and very high. The Anbalagan model allocated 35.25% and 17.90% of the area to the high and very high susceptibility classes, respectively. Validation against an inventory of existing landslides revealed that most recorded events occur in high and very high susceptibility zones, particularly within young alluvial deposits and the Aghajari Formation on south-facing slopes. Comparative analysis demonstrated that the Anbalagan model yielded the highest conformity with the actual distribution of landslides in the region. The study concludes that the Anbalagan method is the most suitable model for landslide susceptibility zonation in areas with geomorphological and climatic conditions similar to the study area. Its data requirements, typically derived from topographic and geological maps and satellite imagery, make it a practical and widely applicable tool for preliminary hazard assessment in Iran.

**Keywords:** Landslide Susceptibility Zonation; Anbalagan Model; AHP; GIS; Sadat Hosseini.

### 1. INTRODUCTION

Landslides are among the most prevalent and damaging natural hazards, often triggered by a complex interplay of geological, geomorphological, climatic, and anthropogenic factors. Iran, with its vast mountainous terrain, diverse

#### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



geology, high seismicity, and variable climate, is highly prone to slope instability. Effective risk management and sustainable development planning in susceptible regions necessitate reliable identification of areas vulnerable to landslides. The Sadat Hosseini area in northeastern Khuzestan Province has experienced numerous landslide events, threatening local communities and infrastructure. While various quantitative models exist for landslide susceptibility mapping, their performance can vary significantly depending on local environmental conditions and data availability. This study addresses the critical need to evaluate and identify the most accurate predictive model for this specific region. Previous research has applied individual models in different parts of Iran, but a comparative assessment of the Anbalagan, Haeri-Samiei, and AHP methods in the geomorphic context of the Zagros foothills remains limited. This research distinguishes itself by conducting a direct comparative analysis of these three established models to determine which one best predicts the spatial pattern of landslides in the Sadat Hosseini area, thereby providing a validated tool for local planners and disaster managers.

## **2. MATERIALS AND METHODS**

The methodology was based on a comparative analysis of three susceptibility models: the semi-quantitative Anbalagan and Haeri-Samiei methods, and the multi-criteria decision-making Analytical Hierarchy Process (AHP). The primary data sources included a 30-meter resolution Digital Elevation Model (DEM) for deriving topographic parameters (slope, aspect, elevation), a 1:100,000 scale geological map for lithological classification, Landsat 8 OLI imagery for generating land use/land cover and vegetation indices, as well as datasets for roads, rivers, and seismicity. An inventory of 42 historical and existing landslide locations was compiled through field surveys using GPS and interpretation of satellite imagery. In a GIS environment, eight causative factors were standardized into thematic raster layers: lithology, slope angle, slope aspect, land use/land cover, distance to rivers, distance to roads, earthquake intensity, and elevation. For the Anbalagan and Haeri-Samiei models, each class within a factor layer was assigned a fixed score based on its presumed influence on slope stability, as defined by the respective model's guidelines. For the AHP model, pairwise comparison matrices were constructed to derive the relative weights of each factor and their internal classes based on expert judgment, with consistency checks performed using Expert Choice software. All weighted layers were then aggregated using a weighted linear combination in GIS to generate susceptibility index maps for each model. These continuous index maps were classified into five susceptibility categories using the natural breaks (Jenks) method for consistent comparison.

## **3. RESULTS**

The susceptibility zonation maps produced by the three models revealed distinct spatial patterns and area distributions across the five susceptibility classes. The Anbalagan model resulted in the most extensive area classified as high and very high susceptibility, combining to cover approximately 53.15% of the total study area. Specifically, 35.25% was classified as high and 17.90% as very high susceptibility. In contrast, the Haeri-Samiei model was the most conservative, with only 2.58% of the area in the high susceptibility class and no area classified as very high. The AHP model produced an intermediate result, assigning 7.86% of the area to the very high susceptibility class. Spatially, all models consistently identified south and southwest-facing slopes, areas underlain by the Gachsaran Formation (marl and gypsum) and young alluvial terraces, and regions with moderate slope gradients (approximately 15-30 degrees) as being more susceptible. The validation phase, comparing the model outputs with the inventory of 42 known landslides, provided a key performance metric. A significantly higher percentage of the inventoried landslides (over 78%) fell within the high and very high susceptibility zones of the Anbalagan map. This overlap was less pronounced for the AHP model and considerably lower for the Haeri-Samiei model.

## **4. DISCUSSION AND CONCLUSION**

The comparative analysis clearly indicates that the Anbalagan model outperforms both the Haeri-Samiei and AHP models in accurately predicting landslide-prone areas in the Sadat Hosseini region. The superior performance of the Anbalagan method can be attributed to its scoring system, which is particularly sensitive to the lithological and geomorphic conditions dominant in the study area, such as erodible marls and alternating hard-soft rock sequences.

The AHP model's reliance on expert judgment, while flexible, may introduce subjectivity that may not fully capture local specificities. The Haeri-Samiei model appears overly general for the high-resolution, local-scale analysis required here. The findings confirm that lithology (especially the Gachsaran and Aghajari Formations) and slope aspect (south and southwest) are the dominant controlling factors, with moderate slopes being more critical than very steep ones, likely due to the greater accumulation of weathered materials. The uniformity of the seismic factor across the small study area minimized its differentiating role in this particular zonation. The primary conclusion is that the Anbalagan model provides the most reliable and practical tool for preliminary landslide susceptibility assessment in the Sadat Hosseini area and similar environments within the Zagros structural zone. Its input data are readily available, and its methodology is straightforward to implement in GIS. For future research, it is recommended to enhance the model by incorporating more detailed hydrological factors, such as rainfall intensity and groundwater flow, and to validate its application in other physiographic regions of Iran to further test its robustness. Furthermore, integrating the resulting susceptibility maps with data on elements at risk would constitute a vital next step towards comprehensive landslide risk assessment.



مقاله پژوهشی

Available Online: <http://jmst.kmsu.ac.ir>



## روش بهینه پهنه‌بندی خطر زمین لغزش منطقه سادات حسینی استان خوزستان

محمدعلی روشنی، مهدی مومی پور\*، حکیمه امانی پور

گروه زمین شناسی دریا، دانشکده منابع طبیعی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

نویسنده مسئول، پست الکترونیک: [mumipur@kmsu.ac.ir](mailto:mumipur@kmsu.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۹

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22113/jmst.2022.317867.2454

### چکیده

زمین لغزش‌ها نوعی حرکت دامنه‌ای هستند که موجب خسارات جانی، مالی و زیست‌محیطی قابل توجهی شده‌اند. با توجه به اثرات مخرب این پدیده بر سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی و طبیعی، شناخت نواحی مستعد حرکت توده‌ای و زمین لغزش در سطح کشور برای استفاده در برنامه ریزی آمایش سرزمین بسیار ضروری است. منطقه سادات حسینی به دلیل شرایط لیتولوژیکی، اقلیمی و کاربری اراضی، ناهمواری و دامنه‌های پر شیب نسبت به زمین لغزش حساسیت دارد. از طرفی، امروزه فعالیت‌های انسانی در این منطقه افزایش یافته است. لذا مطالعات بیشتر در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. سه مدل برای پهنه بندی حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه شامل روش‌های آنبالاگان، حائری-سمیعی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. در این پژوهش از معیارهای لیتولوژی، شیب، نوع کاربری اراضی و پوشش گیاهی، جهت شیب، طول روخانه و راه، زمین لرزه و طبقات ارتفاع برای شناسایی حساسیت زمین لغزش استفاده شده است. نقشه‌های فاکتور موثر در محیط GIS آماده شده و با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های آماری، نقشه پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه بدست آمد. نتایج حاصل از خروجی مدل‌ها نشان داد که در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش با استفاده از مدل آنبالاگان به ترتیب ۰/۰۱، ۲۶/۳۳، ۲۰/۴۸، ۳۵/۲۵، ۱۷/۹۰ درصد از مساحت منطقه در طبقات حساسیت خیلی کم، کم، متوسط، زیاد، خیلی زیاد قرار گرفتند. انطباق نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه بر اساس سه مدل و همچنین بررسی وضعیت موجود زمین لغزش‌ها نشان می‌دهد که بیشتر لغزش‌ها منطقه سادات حسینی آبرفتی و سازند آغاچاری و در دامنه‌های رو به جنوب منطقه دیده می‌شود. همچنین نتایج حاصل از مدل آنبالاگان در منطقه انطباق بیشتری با واقعیت موجود دارد.

واژگان کلیدی: زمین لغزش، سادات حسینی، آنبالاگان، حائری - سمیعی، AHP

### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted Journal of Marine Science and Technology. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



۱. مقدمه

به دیگر الگوهای استفاده شده کارآمدتر معرفی کردند (Wang et al., 2016). Liu et al. (2018) با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مصنوعی و ماشین بردار پشتیبان عوامل موثر بر زمین‌لغزش در کشور چین را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که حساس‌ترین مناطق به زمین‌لغزش، مناطق معدنی و نزدیک به آن است. He et al. (2019) زمین‌لغزش در مناطقی از کشور ژاپن را مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که شیب زمین و عوامل فعالیت‌های انسانی و زمین‌شناسی در سرعت زمین‌لغزش در نواحی کوهستانی ژاپن نقش تعیین‌کننده دارد. و با توجه به عوامل یاد شده و نتایج به دست آمده، مدل MASW کارایی مناسب، در بهینه‌بندی خطر زمین‌لغزش در این نواحی را دارد.

در منطقه سادات حسینی شهرستان دهم در شمال شرقی استان خوزستان موارد زیادی از وقوع زمین‌لغزش گزارش شده است. با توجه به مسکونی بودن منطقه و پویایی پدیده زمین‌لغزش ضرورت مطالعه این پدیده در منطقه نمایان است. هدف مطالعه حاضر کاربرد مدل‌های آنالیز، حائری-سمعی و تکنیک AHP برای بهینه‌بندی مناطق مستعد زمین‌لغزش در منطقه سادات حسینی و تعیین روش بهینه است. علت انتخاب این روش‌ها در دسترس بودن داده‌های لازم است که بتوان پس از تعیین روش بهینه از کاربردی بودن آن اطمینان حاصل نمود.

## ۲. مواد و روش‌ها

منطقه سادات حسینی شهرستان دهم در استان خوزستان در جنوب غربی ایران و بین طول شرقی  $30^{\circ} 10'$  تا  $30^{\circ} 22'$  و عرض شمالی  $31^{\circ} 31'$  تا  $31^{\circ} 40'$  قرار دارد. این محدوده در یک منطقه کوهستانی از رشته کوه زاگرس واقع شده است از شمال شرقی به استان چهارمحال بختیاری، از جنوب شرقی به استان کهگیلویه و بویر احمد، از غرب و شمال غربی به شهرستان ایذه و از جنوب به شهرستان باغملک محدود می‌شود (شکل ۱). حداکثر ارتفاع منطقه  $2033$  متر و حداقل آن  $922$  متر است.

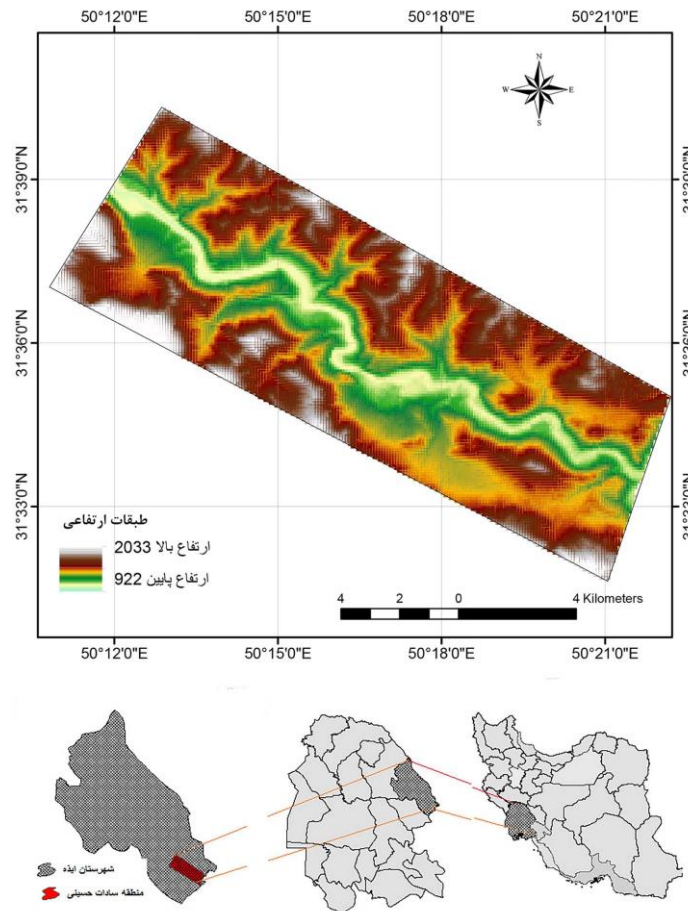
داده‌های مورد استفاده در این مطالعه شامل مدل رقومی زمین با دقت مکانی  $30$  متر، نقشه زمین‌شناسی  $1:100000$  منطقه، داده‌های اقلیمی تهیه شده از ایستگاه هواشناسی، داده‌های هیدرولوژیک، نقشه راه‌های منطقه و تصویر ماهواره‌ای OLI لندست ۸ است. از تصویر ماهواره‌ای برای تهیه نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی استفاده شده است. مشاهدات میدانی برای ثبت موقعیت زمین‌لغزش‌های موجود با استفاده از GPS دستی انجام شده است.

برای بهینه‌بندی حساسیت لغزش، مدل‌های مختلفی توسط محققین ارائه شده است که هر کدام با توجه به شرایط طبیعی برای هر منطقه مورد

یکی از حوادث طبیعی، زمین‌لغزش است که در مناطق کوهستانی و کوهپایه‌ای ایجاد می‌شود. بررسی حرکات توده‌ای به عنوان یکی از مشکلات جهانی که هر ساله باعث تلفات جانی و اقتصادی می‌شود، از اهمیت خاصی برخوردار است (Montazer Al-Qaim, 2003). متغیرهای متعددی بر وقوع زمین‌لغزش اثر دارند مانند آب و هوا، شیب، پوشش گیاهی، ارتفاع، لیتولوژی، حساسیت سنگ به فرسایش، فاصله از گسل، هم‌جهت بودن شیب ساختمانی با شیب لایه رویی، رطوبت خاک، عوامل انسانی همچون تغییرات کاربری اراضی، بهره‌برداری‌های بی‌رویه از جنگل‌ها، عدم رعایت اصول فنی احداث و نگهداری جاده‌های جنگلی و روستایی، عدم اعمال مدیریت صحیح و بهره‌برداری غیر اصولی از منابع موجود. ایران با داشتن مناطق کوهستانی وسیع که بیش از نیمی از وسعت کشور را تشکیل می‌دهد و با توجه به خصوصیات زمین‌شناسی، لرزه‌خیزی، بارندگی و شرایط آب و هوایی و توپوگرافی متنوع، از جمله کشورهای است که وقوع زمین‌لغزش‌های متعدد را تجربه کرده است. از جمله می‌توان به رانش‌های در اثر زلزله  $1369$  رودبار - منجیل، زمین‌لغزش آبیکار (چهارمحال بختیاری)، زمین‌لغزش عبدالله (یزد) و زمین‌لغزش شش دانگ (گلستان) اشاره نمود (Ajzal-Louian et al., 2014). از جمله مطالعات داخلی و خارجی انجام شده در زمینه زمین‌لغزش می‌توان به این موارد اشاره نمود. Roustaei et al. (2015) در مطالعه‌ای که خطر زمین‌لغزش در حوضه صوفی‌چای را با استفاده از روش آنالیز آنالیز بهینه‌بندی نمودند. نتایج نشان داد که عمده‌ترین زمین‌لغزش‌ها در آبرفت کواترنری و رسوبات تخریبی به وقوع می‌پیوندند. ضمناً  $19$  درصد اراضی در محدوده یاد شده در بهینه‌بندی بدون خطر قرار دارد. Pourghasemi et al. (2012) با استفاده از نظریه بی‌زین بهینه‌بندی زمین‌لغزش در بخشی از استان گلستان را انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد بهتر است عامل جهت شیب در تحلیل دخالت داده نشود. Seif and Rahdan-Monfared (2013) با ترکیب نتایج حاصله از مدل‌های TOPSIS و AHP در استان چهارمحال و بختیاری به این نتایج رسیدند که بیشترین پتانسیل لغزش در شهرستان‌های اردل، کوهرنگ و فارسان و کمترین پتانسیل در شهرستان بروجن است. Roustaei et al. (2015) در بررسی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در حوضه آبخیز رودخانه میمه در استان ایلام به روش تحلیل شبکه (ANP) و تجزیه و تحلیل داده‌ها در محیط نرم‌افزار Super Decision و سپس همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزار ArcGIS به این نتایج رسیدند که فرایند تحلیل شبکه با نقشه پراکنش زمین‌لغزش‌ها  $81/69$  درصد تناسب دارد. همچنین تفسیر ضرایب نشان داد که از میان هشت فاکتور موثر بر وقوع زمین‌لغزش‌های منطقه، دو عامل بارندگی و لیتولوژی بیشترین تأثیر را داشته‌اند. Wang et al. (2016) با استفاده از روش‌های رگرسیون لجستیک، تحلیل آماری دو متغیره و رگرسیون زبانه‌دار تطبیقی چند متغیره بهینه‌بندی پتانسیل وقوع زمین‌لغزش در شهر میزونامی ژاپن را بررسی کرده و الگوی MARSpline را نسبت

پهنه‌بندی حساسیت زمین‌لغزش در منطقه مورد مطالعه انجام شده است. در ادامه شرح مختصری از این سه مدل آمده است.

مطالعه ارائه شده است. در این پژوهش گردآوری اطلاعات به روش کتابخانه‌ای و میدانی صورت گرفته و با استفاده از سه مدل (آنبالاگان، حائری سمیعی و AHP) و نرم‌افزارهای ArcGIS و Expert Choice



شکل ۱ - نقشه موقعیت جغرافیای منطقه مورد مطالعه

Fig. 1- Location of the study are

و ضریبی بین ۰/۵ تا ۲ خواهد داشت. عامل ساختار سنگ‌شناسی براساس اینکه سنگ لایه‌ای یا توده‌ای است یا درزه و شکاف دارد یا خیر و شیب ساختمانی آن چقدر است ضریبی بین ۰/۳ تا ۲ دریافت خواهد نمود. عامل شیب ضریبی بین صفر تا ۲ دارد و هر چه درجه شیب بالاتر باشد ضریب بیشتری دارد. در خصوص کاربری اراضی نیز کمترین ضریب مربوط به اراضی کشاورزی با ضریب ۰/۵ است و بیشترین ضریب به اراضی فاقد پوشش با ضریب ۲ تعلق می‌گیرد (Anbalagan and Singh, 1996).

در مدل آنبالاگان، براساس پنج عامل فرسایش پذیری، نفوذپذیری، ساختار سنگ‌شناسی، درجه شیب، کاربری اراضی و پوشش گیاهی به بررسی و پهنه‌بندی حساسیت پرداخته شده است (Anbalagan et al., 1994). در جدول (۱) بیشینه وزن‌های اختصاص یافته به هر یک از عوامل براساس روش آنبالاگان آمده است. در این مدل فرسایش‌پذیری براساس جنس لیتولوژی از مستحکم تا سست به ترتیب ضریبی بین ۰/۴ تا ۲ خواهد داشت. نفوذپذیری نیز براساس جنس و ساختار سنگ تعیین می‌شود

جدول ۱- بیشینه وزن های هر یک از عوامل موثر بر وقوع زمین لغزش در مدل آنبالاگان (Anbalagan et al., 1996)

Table 1- Maximum weights of parameters in Anbalaghan model (Anbalagan et al., 1996)

وزن بیشینه	عامل موثر	ردیف
۲	فرسایش پذیری	۱
۲	نفوذ پذیری	۲
۲	ساختار سنگ شناسی	۳
۲	شیب	۴
۲	کاربری اراضی	۵

میزان خطر ناپایداری دامنه، PL: لیتولوژی، PI: زاویه شیب، PF: طول گسل، PR: عامل راه و رودخانه، PH: عامل بارندگی، TP: شدت بارندگی، TE: عامل زمین لرزه است. ضریب C بیانگر اهمیت هر یک از عوامل در مجموعه عوامل موثر بر ناپایداری دامنه است (Hayeri and Samiei, 1997).

در مدل حائری- سمیعی با امتیازدهی به هفت پارمتر (لیتولوژی، زاویه شیب، طول گسل، عامل راه و رودخانه، عامل بارندگی، شدت بارندگی و عامل زمین لرزه) منطقه به هفت طبقه خطر تقسیم می شود (Hayeri and Samiei, 1997). رابطه (۱)، رابطه ای است که در این مدل به کار می رود (Moradi et al., 2012)؛ که در آن، HLS: عدد

$$HSL = (CLPL)(CIP1)(CFPF)(CRPR)(CPTP + CETE)$$

رابطه (۱)

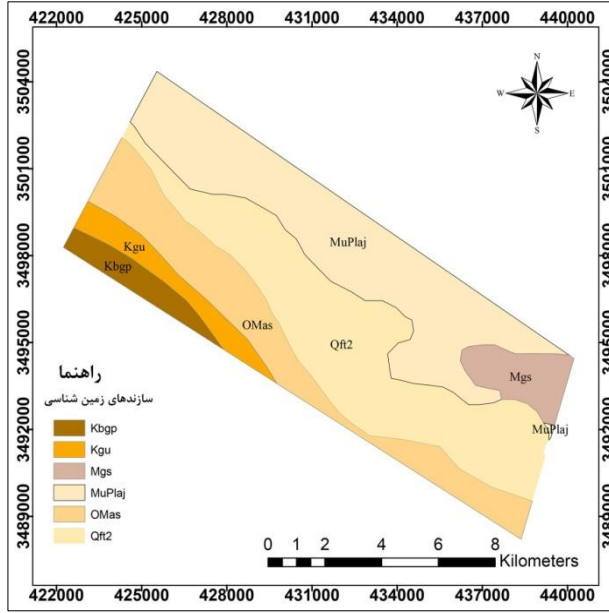
در بازدیدهای میدانی مشاهده شده است وزن دهی انجام می شود. سپس با توجه به نظر کارشناس، عوامل به صورت دو به دو با هم مقایسه می شود. سپس برای اطمینان از اینکه وزن ها با دقت و با توجه به شرایط منطقه داده شده اند، ضریب ناسازگاری محاسبه می شود که اگر کمتر از ۰/۱ باشد بیانگر دقت وزن دهی است. برای تلفیق وزن های داده شده از سوی کارشناسان از وزن ها مد (Mod) گرفته می شود و وزن نهایی به دست می آید. سپس این ماتریس به نرم افزار Expert choice وارد شده و وزن نهایی برای هر عامل محاسبه می شود (Ghodspour, 2005).

در خصوص عامل لیتولوژی، براساس مقاومت سنگ در برابر لغزش به ۱۰ رده تقسیم می شود که مقاوم ترین سنگ در رده یک و ضعیف ترین در رده ۱۰ قرار می گیرند. در خصوص زاویه شیب نیز هر زاویه ضریبی از صفر تا ۵ دریافت می کند. به طور کلی با افزایش شیب این ضریب افزایش می یابد. برای عوامل طول گسل و طول راه و رودخانه شبکه ای با ابعاد سلول ۲/۵ کیلومتر ترسیم شده و براساس اینکه چه طولی از راه یا رودخانه یا گسل در این سلول قرار گرفته است ضریب امتیاز از ۱ تا ۵ دریافت می کند (Moradi et al., 2012).

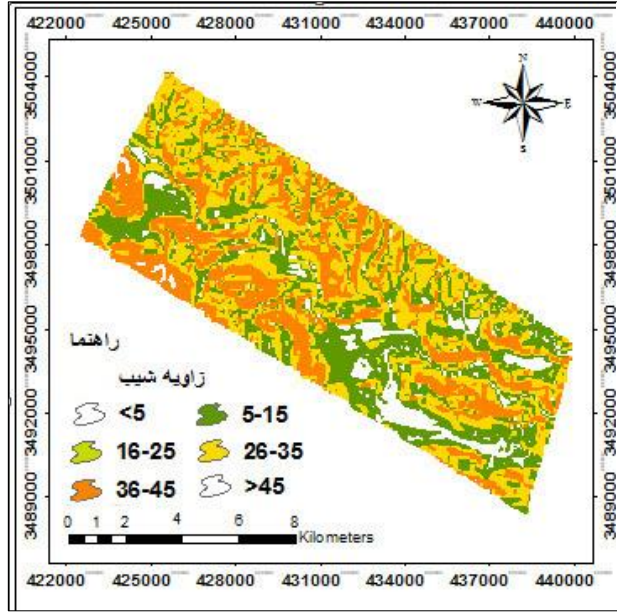
روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، یک ماتریس وزن دهی بر مبنای مقایسه های زوجی بین عوامل مختلف بوده و میزان مشارکت هر یک از عوامل در وقوع زمین لغزش مشخص می شود (Ayalew et al., 2005). عواملی که در این مطالعه وزن دهی شدند شامل زمین شناسی، توپوگرافی، منابع آب، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، اقلیم و لرزه خیزی است (شکل ۱۲). این مدل بر مبنای نظریات کارشناسی بنا نهاده شده است. به عبارتی اهمیت هر عامل و وزن آن براساس نظر کارشناس تعیین می شود. اولین کار در اولویت بندی عوامل موثر در ایجاد زمین لغزش با استفاده از مدل AHP انجام مقایسه های زوجی بین عوامل است (Abdollahzadeh et al., 2014). برای انجام کار با استفاده از جدول توصیفی زمین لغزش ها و با توجه به مشخصات منطقه و خصوصیتی که

### ۳. نتایج

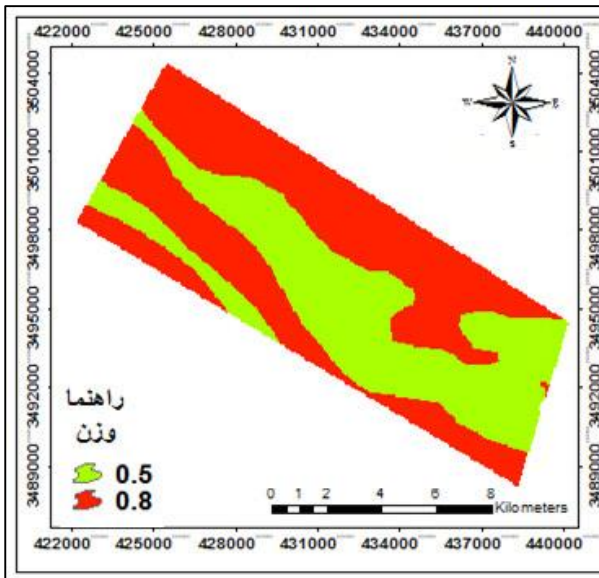
در همه روش های مورد مطالعه در محیط ArcGIS با استفاده از نقشه های عامل (فرسایش پذیری، نفوذ پذیری، ساختار سنگ شناسی، شیب و کاربری اراضی و پوشش گیاهی) و امتیازدهی، وزن عوامل موثر حساسیت به زمین لغزش به آنها داده شد. بعد از دادن وزن و امتیاز لازم به نقشه ها در محیط نرم افزار ArcGIS، به رستر تبدیل شدند. سپس با استفاده از دستور Raster Calculator همه نقشه های عامل با هم جمع شده و نقشه پهنه بندی منطقه مورد مطالعه بدست آمد. نتایج در شکل های ۲ تا ۱۳ و جدول های ۲ تا ۴ نمایش داده شده است.



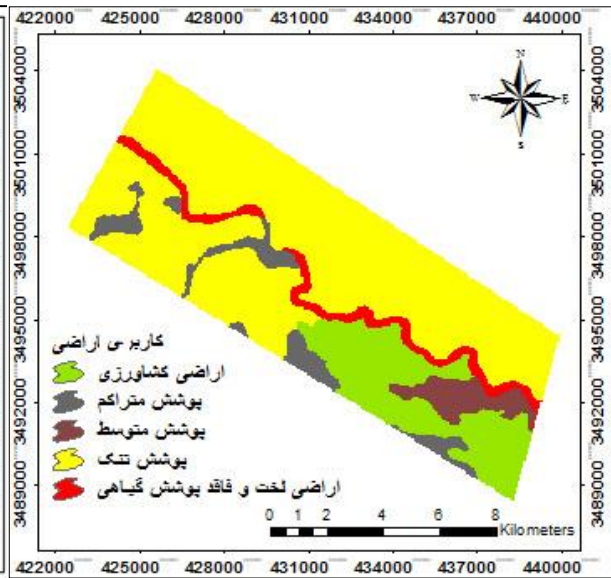
شکل ۳- نقشه لیتولوژی  
Fig. 3- Lithology map



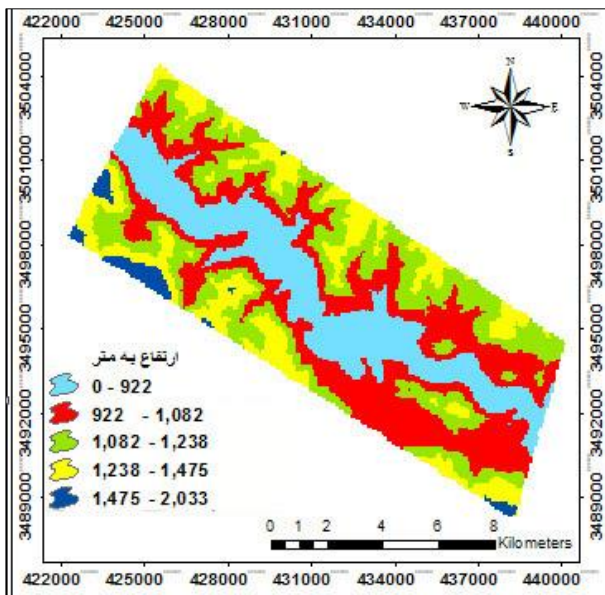
شکل ۲- نقشه شیب  
Fig. 2- Slope map



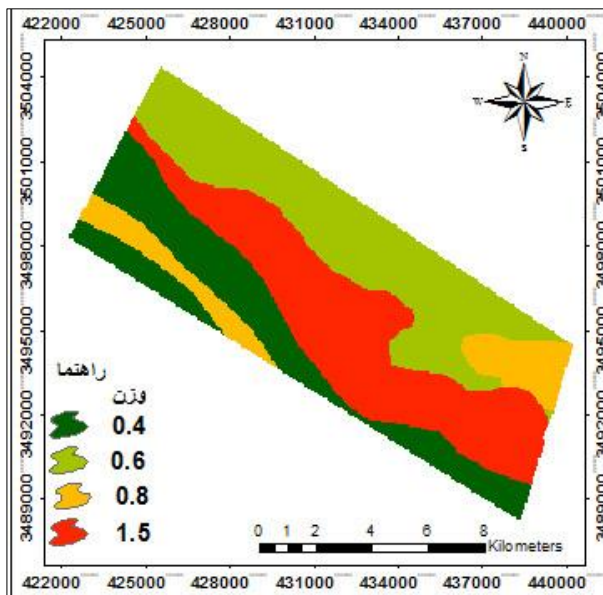
شکل ۵- نقشه نفوذپذیری خاک منطقه  
Fig. 5- Soil permeability map



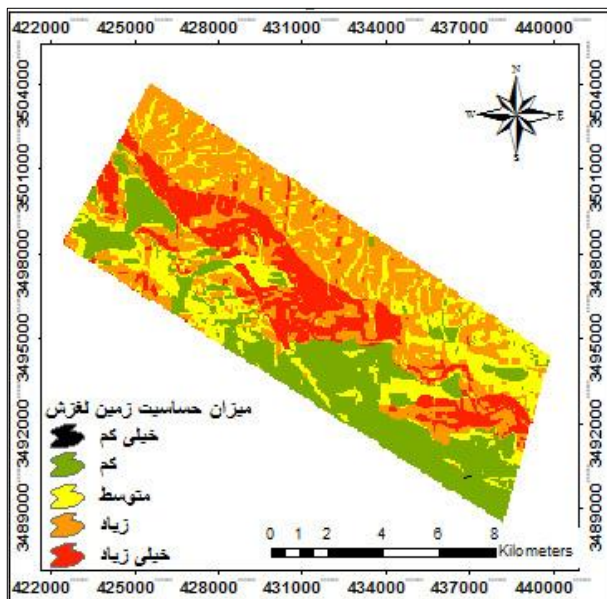
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی  
Fig. 4- Landuse map



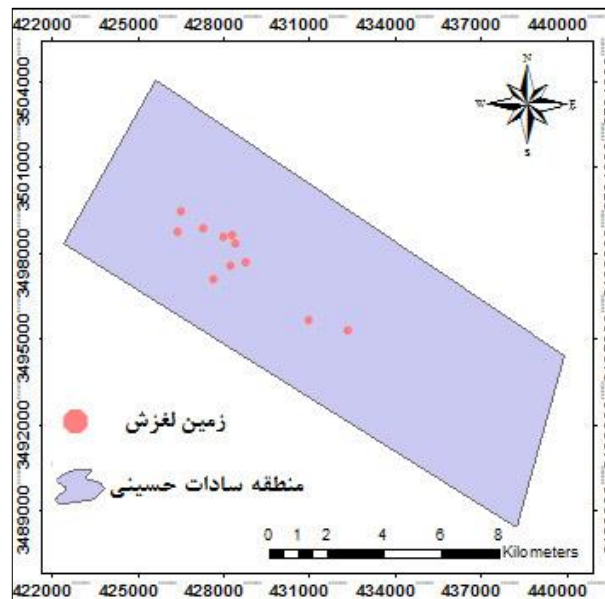
شکل ۷- نقشه طبقات ارتفاعی منطقه مورد مطالعه  
Fig. 7- Elevation classes' map



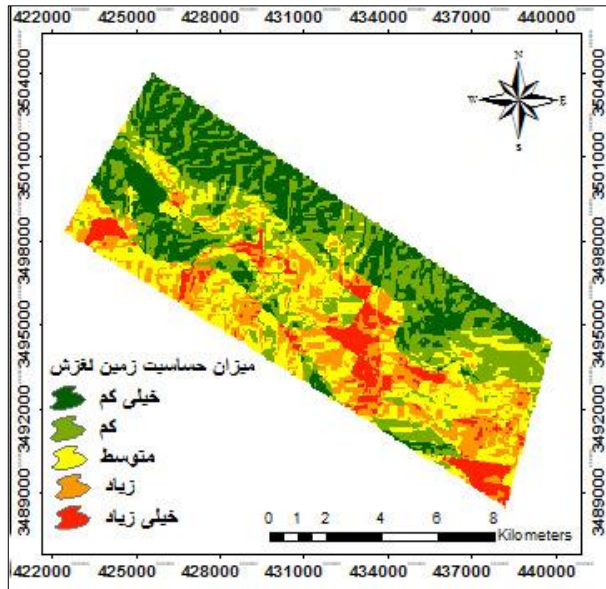
شکل ۶- نقشه فرسایش پذیری منطقه مورد مطالعه  
Fig. 6- Soil erodibility map



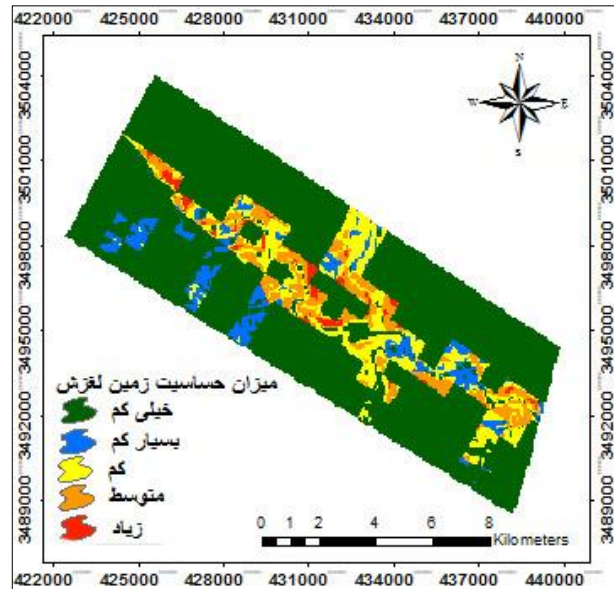
شکل ۹- نقشه پهنه بندی زمین لغزش- مدل آنبالاگان  
Fig. 9- Anbalaghan landslide zonation map



شکل ۸- نقشه زمین لغزش های رخ داده در منطقه  
Fig.8- Landslides happened in the area map



شکل ۱۱- نقشه بهینه بندی زمین لغزش مدل AHP  
11- AHP landslide zonation map.Fig



شکل ۱۰- نقشه بهینه بندی زمین لغزش مدل حائری- سمیعی  
Fig. 10- Hayeri-Samiei landslide zonation map

ماتریس مقایسه زوجی، با استفاده از نرم افزار Expert choice وزن نسبی و نهایی پارامترها محاسبه شد.

پس از تشخیص عوامل مؤثر حساسیت زمین لغزش در منطقه و وزن دهی به فاکتورها، ماتریس های مقایسه زوجی برای معیارها و زیر معیارها برای اولویت بندی عوامل نسبت به همدیگر تشکیل شد. پس از تشکیل

جدول ۲- بهینه بندی حساسیت زمین لغزش و درصد حساسیت خطر با استفاده از روش آنبالاگان  
Table 2- Landslide sensitivity zonation and percentage in Anbalaghan

رده بندی خطر	مجموع وزن ها	کلاس های خطر
۱	$3/5 <$	خیلی کم
۲	$5-3/5$	کم
۳	$6-5/1$	متوسط
۴	$7/5-6/1$	زیاد
۵	$7/5 >$	خیلی زیاد

جدول ۳- طبقه بندی حساسیت زمین لغزش و درصد حساسیت خطر بر اساس معادله کلی مدل حائری و سمیعی  
Table 3- Landslide sensitivity zonation and percentage in Hayeri- Samiei

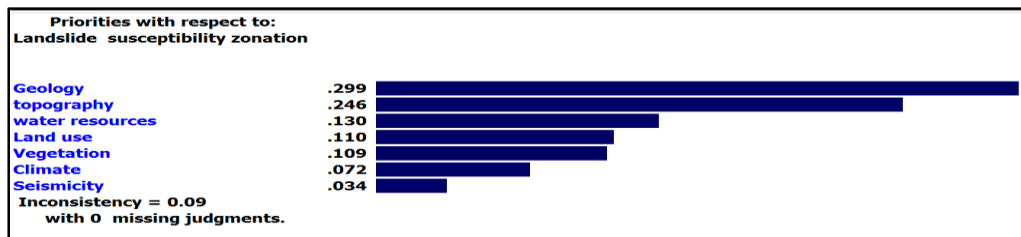
اعداد به دست آمده از معادله	۰	۳۰-۱	۱۲۰-۳۱	۴۸۰-۱۲۱	۱۷۵۰-۴۸۱	۷۵۰۰-۱۷۵۱	$>7500$
طبقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
میزان خطر	بدون خطر	بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	فوق العاده زیاد
درصد حساسیت خطر	۶۹/۴۹	۴/۰۸	۷/۲۱	۱۶/۶۲	۲/۵۸	۰	۰

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی و بردار وزن معیارها  
Table 4- Matrix of pair comparison of parameters

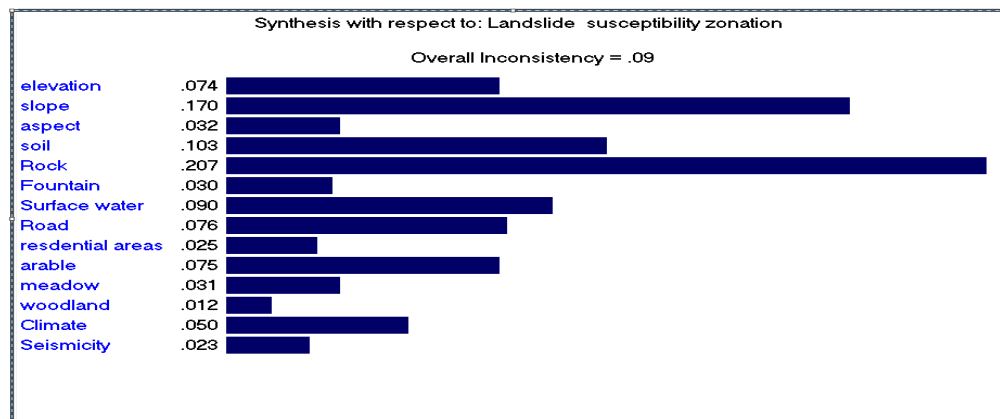
لرزه خیزی	شرایط اقلیمی	پوشش گیاهی	کاربری اراضی	منابع آب	زمین شناسی	توپوگرافی
۶	۲	۳	۴	۳	۲	۱
۵	۳	۴	۴	۲	۱	۰/۵
۴	۱	۲	۲	۱	۰/۵	۰/۳۳
۳	۳	۲	۱	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵
۵	۴	۱	۰/۵	۰/۵	۰/۲۵	۰/۳۳
۲	۱	۰/۲۵	۰/۳۳	۱	۰/۳۳	۰/۵
۱	۰/۵	۰/۲	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۲	۰/۱۶

جدول ۵- طبقه بندی حساسیت زمین لغزش و درصد مساحت منطقه خطر بر اساس AHP  
Table 5- landslide sensitivity zonation and area percentage based on AHP

طبقه	۱	۲	۳	۴	۵
میزان حساسیت	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
درصد مساحت	۲۲/۵۹	۲۷/۶۷	۲۵/۱۳	۱۶/۷۲	۷/۸۶



شکل ۱۲- وزن نسبی معیارها در نرم افزار expert choice  
Fig. 12- relative weight of parameters in expert choice



شکل ۱۳- وزن نهایی عوامل موثر در زمین لغزش بر اساس مدل AHP  
Fig. 13- final weights of parameters in AHP model

نظرات (2005) Ahmadi et al.، (2005) Fatemi-Aghda et al. و (2009) Pourghasemi et al. مطابقت دارد.

در مدل حائری-سمیعی با توجه به شکل ۱۲ مشخص شده است که بیشتر حساسیت منطقه مورد مطالعه به لغزش در فواصل ۴۰۰ متر به بالا و در کلاس متوسط با وزن ۳ و با ۳۲ سلول بوده است که این فواصل بیشترین تأثیر را در ایجاد حساسیت به زمین لغزش داشته است. این نتایج با نتایج (2010) Ilanloo et al. مطابقت دارد. در مدل AHP در خصوص عامل طول روخانه و راه، بیشترین حساسیت منطقه مربوط به فواصل ۹۰۰ متر به بالا است که در کلاس خیلی زیاد (با وزن ۰/۴۱۷) و با ۲۹ سلول) بیشترین حساسیت به لغزش را داشته است.

نتایج حاصله از نقشه جهت شیب (شکل ۱۰) در مدل AHP نشان می‌دهد که بیشترین حساسیت لغزش در جنوب‌غربی، غرب و جنوب اتفاق افتاده است. این نتایج تا حدود زیادی قابل انتظار است، زیرا موقعیت جغرافیایی جنوب ایران اغلب شیب‌های جنوب و جنوب‌غربی نسبت به شیب‌های شمال و شرقی از تابش بیشتری برخوردارند. در نتیجه ذوب برف سریع‌تر بوده و فرسایش عمدتاً به صورت شیاری و خندقی صورت می‌گیرد.

منطقه مورد مطالعه از لحاظ لرزه‌خیزی با توجه به نقشه کشور ایران که به شش پهنه تقسیم شده است در پهنه با خطر نسبی بالا قرار گرفته است. اما در منطقه مورد مطالعه به دلیل وسعت کم و دور بودن گسل‌های فرعی و اصلی شرایط یکسانی برقرار است. به عبارتی همه بخش‌های منطقه شرایط همگونی دارند. لذا اثر عامل زمین لرزه در منطقه مورد مطالعه در همه نقاط یکسان در نظر گرفته شده است.

طبق اقلیم‌نمای دمارتن، اقلیم منطقه مورد مطالعه نیمه مرطوب مدیترانه‌ای است، ولی بعلت وسعت کم منطقه و نبود ایستگاه سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه نمی‌توان اطلاعات دقیقی از لحاظ دمایی و میزان بارش، بدست آورد. لذا کل منطقه همگون در نظر گرفته می‌شود.

## ۵. نتیجه گیری

در این پژوهش متغیرهای موثر بر حساسیت زمین لغزش به همراه وزن و اهمیت نسبی آنها در منطقه سادات حسینی مورد بررسی قرار گرفت. این متغیرها شامل لیتولوژی (از لحاظ فرسایش‌پذیری، نفوذپذیری، ساختار سنگ‌شناسی)، شیب، جهت شیب، طول رودخانه و راه، کاربری اراضی و پوشش گیاهی، شرایط اقلیمی، لرزه‌خیزی است. بعضی متغیرها در هر سه مدل مشترک و بعضی دیگر خاص یک مدل بوده است. درصد میزان حساسیت زمین لغزش در هر سه مدل متفاوت است. در مدل آنبالاگان درصد حساسیت لغزش در پهنه خطر بالا ۳۵/۲۵ درصد، و در مدل حائری-

به منظور ارزیابی درستی قضاوت‌ها، میزان نرخ سازگاری مدل در مورد معیارها بررسی گردید. اگر نرخ سازگاری کوچکتر از یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند (Ghodsipour, 2005). در پژوهش حاضر بر اساس نرم‌افزار Expert choice نرخ ناسازگاری همه ماتریس‌های عوامل موثر در پهنه‌بندی حساسیت زمین لغزش منطقه سادات حسینی کوچکتر از ۰/۱ است که درستی قضاوت‌های این پژوهش را تأیید می‌کند.

## ۴. بحث

وجود سازندهای مستعد به لغزش در منطقه مورد مطالعه به ویژه سازندهای گچساران (خیلی حساس) که دارای مارن و ژیبس است، آغاچاری و گورپی (حساس) که دارای تناوب ماسه سنگ و مارن هستند، از عوامل ایجاد حساسیت زمین لغزش است. همچنین آب‌رفت‌های جوان به دلیل اینکه از لحاظ سنگ‌شناسی در هر سه مدل بیشترین وزن را گرفته‌اند. دارای حساسیت زیادی هستند. سازندهای آسماری، ایلام و سروک (مقاوم) که از جنس آهک هستند، در مدل آنبالاگان و حائری - سمیعی کمترین وزن به خود اختصاص داده‌اند.

نتایج بررسی شیب منطقه مورد مطالعه با توجه به شکل ۲ نشان می‌دهد که در شیب‌های ۱۵ - ۰ درصد حساسیت به لغزش محدود است. چون در شیب‌های کم به علت اینکه نیروی مقاوم مانند اصطکاک خاک و سایر مواد دامنه‌ای بیشتر از نیروی محرک است به همین علت حساسیت به لغزش و حرکات توده‌ای نیز کمتر است. هر چقدر درجه شیب افزایش یابد (البته تا مقداری معین)، تأثیر درجه شیب در ایجاد حساسیت خطر لغزش مثبت است. در شیب‌های زیاد به دلیل کاهش حجم توده‌های خاک بر روی دامنه (و فراهم نشدن نیروی وزنی مناسب جهت لغزش) اثر شیب در ایجاد لغزش کاهش می‌یابد. در نتیجه در شیب‌های متوسط بیشترین میزان زمین لغزش مشاهده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه در شیب‌های ۳۵-۲۶ درصد بیشترین حساسیت به زمین لغزش مشاهده شده است. این نتایج با مطالعات Pradhan (2011) و Regmi et al. (2010) مطابقت دارد.

با توجه به مدل آنبالاگان بیشترین حساسیت لغزش‌ها در کاربری با پوشش کم، فقیر و فاقد پوشش گیاهی اتفاق افتاده است این مورد با نظرات (2013) Madadi et al. مطابقت دارد. اما در روش AHP بیشترین حساسیت لغزش‌ها در کاربری زراعی مشاهده شده است. دلیل آن می‌تواند تأثیر نقش انسان در اکوسیستم طبیعی و تخریب‌های آن بخاطر چرای دام و استفاده بیش از حد از پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه باشد که با

شیب رو به آفتاب استعداد بیشتری برای زمین لغزش دارند. انطباق نقشه زمین لغزش های موجود و نقشه حاصل از سه مدل نشان می دهد مدل آنبالاگان بهترین انطباق را با وضعیت موجود منطقه دارد. پیشنهاد می شود برای مناطق با شرایط محیطی ژئومورفولوژیکی و اقلیمی مشابه منطقه سادات حسینی از مدل آنبالاگان استفاده شود. داده های مورد نیاز برای اجرای این مدل از نقشه های توپوگرافی، زمین شناسی و تصاویر ماهواره ای استخراج می شود و همه مناطق کشور قابل اجراست. با این حال برای مناطقی که شرایط طبیعی متفاوتی دارند بهتر است صحت مدل سنجیده شود.

## References:

- Abdollahzadeh, A., Onagh, M., Saaduddin, A. and Mostafa-Zadeh, R., 2014. Development and presentation of landslide management program in two normal and critical scenarios in Ziarat watershed of Golestan province. *Watershed Management Research*, 27(3), pp.75-84. 10.22092/wmej.2014.106895. (In Persian).
- Ahmadi, H., Mohammadkhan, Sh., Feyznia, S. and Ghoddousi, J., 2005. A modeling of mass movement hazard, case study: Taleghan drainage catchment. *Iranian Journal of Natural Resources*, 58(1), pp.3-14. Available at: [https://journals.ut.ac.ir/article\\_25488.html](https://journals.ut.ac.ir/article_25488.html). (In Persian).
- Ajal-Louian, R., Mirsanei, R. and Fatehi, L., 2014. *Applied Landslide Recognition and Analysis (along with Atlas of Iran Landslides)*. 2nd ed. Isfahan: Isfahan University Jihad Publications. 361 p. <https://ketab.ir/book/d9cfdc1d-2475-4032-a946-960edab40d4b>. (In Persian).
- Anbalagan, R. and Singh, B., 1996. Landslide hazard and risk assessment mapping of mountainous terrains- a case study from Kumaun Himalaya, India. *Engineering Geology*, 43(4), pp.237-246. [https://doi.org/10.1016/S00137952\(96\)00033-6](https://doi.org/10.1016/S00137952(96)00033-6)
- Anbalagan, R., Sharma, L. and Tyagi, S., 1994. Landslide hazard zonation (LHZ) mapping of a part of Doon Valley, Garhwal Himalaya, India. In: *Proceedings of the International Conference on Environmental Management: Geowater and Engineering Aspects*. Wollongong, Australia, pp.253-260.
- Ayalew, L., Yamagishi, H., Marui, H. and Kanno, T., 2005. Landslides in Sado Island of Japan: Part II. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and

سمیعی درصد حساسیت لغزش در پهنه حساسیت زیاد ۲/۵۸ درصد و در مدل سلسه مراتبی AHP درصد حساسیت به لغزش در پهنه خیلی زیاد ۷/۸۶ درصد است.

با بررسی لیتولوژی مناطق حساس تر مشخص شده که بیشترین حساسیت به لغزش در آبرفت ها و سازندهای دارای لایه بندی سنگ های سست و سخت متناوب (مانند گچساران) و آغاچاری وجود دارد. از نظر شیب زمین، شیب متوسط بیشترین حساسیت به زمین لغزش را دارد. در شیب های کم و زیاد حساسیت به لغزش کمتر است. همچنین جهت های

verifications. *Engineering Geology*, 81(4), pp.432-445. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2005.08.004>

Fatemi-Aghda, M., Ghayoumian, J., Atai, U.B., Davoodi, M.H. and Norouzi, A.A., 2005. Determining the most appropriate method of landslide control using decision support system (DSS), Case study of Barikan landslide, Talaghan. *Quarterly Journal of Earth Sciences*, 14(56), pp.84-93. [https://www.gsjournal.ir/article\\_218894.html](https://www.gsjournal.ir/article_218894.html). (In Persian).

Ghodsipour, H., 2005. *Discussions in multi-criteria decision making of hierarchical analysis process*. 4th ed. Tehran: Amir Kabir University of Technology Publications. <https://ketab.ir/book/2fe3ae63-d33c-48e9-b266-50268843439f> (In Persian).

Hayeri, M. and Samiei, A.H., 1997. A New Method of Zoning Sloping Areas Against Landslide Risk Based on Zoning Studies of Mazandaran Province. *Quarterly Journal of Earth Sciences*, 6(24), pp.1-23. [https://www.gsjournal.ir/article\\_236041.html](https://www.gsjournal.ir/article_236041.html) (In Persian).

He, Q., Shahabi, H., Shirzadi, A., Li, S., Chen, W., Wang, N., Chai, H., Bian, H., Ma, J., Chen, Y. and Wang, X., 2019. Landslide spatial modelling using novel bivariate statistical based Naïve Bayes, RBF Classifier, and RBF Network machine learning algorithms. *Science of the total environment*, 663, pp.1-15. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.329>.

Ilanloo, M., Moghimi, E., Servati, M.R. and Ghahroudi-Tali, M., 2010. Risk Zoning of Mass Movements Using Fuzzy Logic Method (Case Study of Sierra Basin). *Human settlement planning studies*, 5(11), pp.12-26. <https://www.sid.ir/paper/175819/fa>. (In Persian).

- Korkinejad, M., 2002. *Comparison of the efficiency of two landslide risk zoning models (Hayeri and Mora) using GIS in Siah Rudbar-Gorgan watershed*. Master Thesis. Gorgan: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. (In Persian).
- Liu, W., Yan, S. and He, S., 2018. Landslide damage incurred to buildings: A case study of Shenzhen landslide. *Engineering Geology*, 247, pp.197-207. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.10.021>
- Madadi, A., Nabi, B. and Ismaili, A., 2013. Landslide risk assessment and its zoning from LIM model and application of GIS technique in Givi Chay watershed, Ardabil. *Journal of Geography and Planning (Faculty of Geography)*, 17(43), pp.307-326. [https://journals.tabrizu.ac.ir/article\\_14.html](https://journals.tabrizu.ac.ir/article_14.html). (In Persian).
- Montazer Al-Qaim, S., 2003. Landslide Hazard Zoning in Iran, Landslides and an Overview of Iran Landslides (Vol. I). Tehran: International Institute of Seismology and Earthquake Engineering. 65 p. (In Persian).
- Moradi, H., Mohammadi, M. and Pourghasemi, H., 2012. *Slope movements (mass movements) with emphasis on quantitative methods of landslide occurrence analysis*. Tehran: Samt Publications. 209 p. (In Persian).
- Pourghasemi, H., Moradi, H., Mohammadi, M. and MahdaviFar, M., 2009. Landslide Hazard Susceptibility Mapping and its Evaluation Using the Fuzzy Operators. *Journal of Water and Soil Science*, 12(46), pp.375-390. Available at: <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1130-fa.html>. (In Persian).
- Pourghasemi, H.R., Moradi, H.R., Mohammadi, M., Mostafa-Zadeh, R. and Goli-Jirandeh, A., 2012. Landslide Hazard Zoning Using Bayesian Theory. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources*, 16(62), pp.109-121. 20.1001.1.24763594.1391.16.62.10.9. (In Persian).
- Pradhan, B., 2011. Use of GIS-based fuzzy logic relations and its cross application to produce landslide susceptibility maps in three test areas in Malaysia. *Environmental Earth Sciences*, 63(2), pp.329-349. <https://doi.org/10.1007/s12665-010-0705-1>
- Regmi, N.R., Giardino, J.R. and Vitek, J.D., 2010. Modeling susceptibility to landslides using the weight of evidence approach: Western Colorado, USA. *Geomorphology*, 115(1-2), pp.172-187. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2009.10.002>
- Roustaei, Sh., Mokhtari, D., Hosseini, Z. and Atmani Haghviran, M., 2015. Investigation of landslide potential in Meimeh river basin in Ilam province by network analysis (ANP). *Journal of Hydrogeomorphology*, 2(4), pp.101-123. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23833254.1394.2.4.6.9>. (In Persian).
- Seif, A. and Rahdan Monfared, M., 2013. Investigation of landslide potential using multi-criteria decision models (AHP, Topsis) in Chaharmahal Bakhtiari province. *Journal of Geography and Environmental Planning*, 24(2), pp.31-48. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.20085362.1394.2.6.2.3.4> (In Persian).
- Wang, L.J., Guo, M., Sawada, K., Lin, J. and Zhang, J., 2016. A comparative study of landslide susceptibility maps using logistic regression, frequency ratio, decision tree, weights of evidence and artificial neural network. *Geosciences Journal*, 20, pp.117-136. <https://doi.org/10.1007/s12303-015-0026-1>