Autumn 2019, Vol 9 (3): 284-299 Adv. Appl. Geol. OPEN ACCESS

Optimum route selection for Pole Zal - Khorram Abad highway using GIS and environmental consideration

Kazem Rangzan[1] *, Seyyed Sajedin Mousavi[2], Azim Saberi[1], Soheilnaz Darvishi[1]

1-Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran
2-Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Keywords: Environmental considerations, Remote sensing, Optimum route, Pole Zal-Khorram Abad, Fuzzy, AHP

1-Introdoction

Road construction leads to damage to the environment so that it is a pivotal problem for protecting fauna and flora species in each region. In spite of abundant benefits, Pole Zal - Khorram Abad highway from southwestern Iran had various geohazards and environmental impacts on this area such as landslides, land use change, and decreasing the population of fauna and flora species. For the reason, a newly optimum route selection for the highway is considered. This act is a complicated process due to the uncertainty of various factors which affect it. Analytic hierarchy process (AHP) is a multiple criteria decision-making (MCDM) technique that can integrate particular preferences in performing spatial analyses on the physical and nonphysical parameters. Since criteria considered in highway route selection are geospatially nature, a geographic information system (GIS) analysis can be helped data input analyses in solving the problem. During the last decade, a few attempts have been accomplished to automate the route-planning process using GIS technology. For instance, Subramani and Pari (2015) were aligned the highway from Erode to Karur (southern India) using geological factors, land uses, ground costs, and soil types in a GIS environment. The aim of this study was to find the optimum route based on environmental considerations. For this purpose, eight effective factors were selected. Then, the AHP and fuzzy systems were applied to standardize each effective parameters as engineering geological, environmental and economic viewpoint. The suggested route was selected by the combination of the factors based on the relative weight in GIS. The selected route has less geological hazards and negative environmental impacts.

2- Research methods

The initial stage of a sitting of route selection is the gathering of accessible information and data associated with the study area. For selecting the optimum route of Pole Zal - Khorram Abad, eight parameters considered that are the altitude, slope angle, stratigraphy, proximity to drainage network, proximity to faults, land uses, vegetation covers, as well as protected areas, were prepared. These layers were obtained from topographical maps, geological maps, satellite images, and fieldwork study. Subsequently, the layers were drowning using Arc GIS 10.3 software. The layers of slope and altitude were derived directly in the raster format from the produced digital elevation model (DEM). Also, Analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy systems were applied to standardize each effective factor. The slope, altitude, proximity to drainage network, proximity to faults, and protected area layers were reclassified using the fuzzy functions. Whereas, stratigraphy, vegetation cover, and land use maps were

* Corresponding author: kazemrangzan@scu.ac.ir
DOI: 10.22055/AAG.2019.28145.1920
Received 2019-01-08
Accepted 2019-05-09

standardize using AHP. Afterward, the relative weights of each effective factor determined using Expert Choice 11 software as engineering geological, environmental and economic viewpoint. Finally, the optimum route selection was performed using weight exertion of parameters in their layers and merging them by Arc GIS software.

3-Discussion

In order to reduce environmental impacts and to perform environmentally highway construction projects, environmental factors must be taken into account. Due to the environmental impacts of Pole Zal - Khorram Abad highway, this study focus on an optimum route selection for the highway. For the purpose, the possible/feasible route was recognized based on various economic, engineering geological and environmental parameters. Stratigraphically, the study area presents a continuous series of sedimentary strata ranging in age from upper Cretaceous to Miocene. It is characterized by the rocks of the Illam - Sarvak, Gurpi, Amiran, Tale Zang, Kashkan, Asmari, and Gachsaran Formations. In this area, the Altitude ranged from 253 to 2679 MSL. Moreover, slope angles slope varied from 0 to 81 in degrees. The results showed that among the effective factors the protected area, stratigraphy, vegetative cover, and land use were the most effective factors in recently highway route selection. The relative weights of these factors are equal to 0.166, 0.165, 0.147, and 0.123, respectively (Table 1). This is because these factors are restricting the construction of the Highway and increasing the construction costs. The Results indicate that the route which was selected using GIS technique is more environmentally effective and cheaper than the existent route (Fig. 1).

Table 1. Calculated final weights of each effective factor as engineering geological, environmental and economic viewpoint.

Sub-criteria	Criteria			Final weight
	Engineering geology	Economic	Environment	
Slope angle	0.062	0.041	0.019	0.122
Stratigraphy	0.088	0.065	0.012	0.165
Proximity to faults	0.063	0.046	0.012	0.121
Proximity to drainage network	0.051	0.027	0.034	0.112
Protected areas	0.011	0.012	0.143	0.166
Vegetation covers	0.019	0.016	0.112	0.147
Land uses	0.031	0.026	0.066	0.123
Altitude	0.023	0.009	0.012	0.044

4-Conclusion

The final result of the study is a feasibility map which shows the environmentally optimum route. This study demonstrates the combination of GIS, AHP, and fuzzy logic as decision-making techniques in distinguishing environmentally optimum route between Pole Zal – Khorram Abad. The study reveals that the proposed route is 15 km shorter than the existent highway. Also, the recent route has less geological hazards and negative environmental impacts. Therefore, it is recommended that this method, for decreasing environmental impacts, apply to constructed and constructing highways.

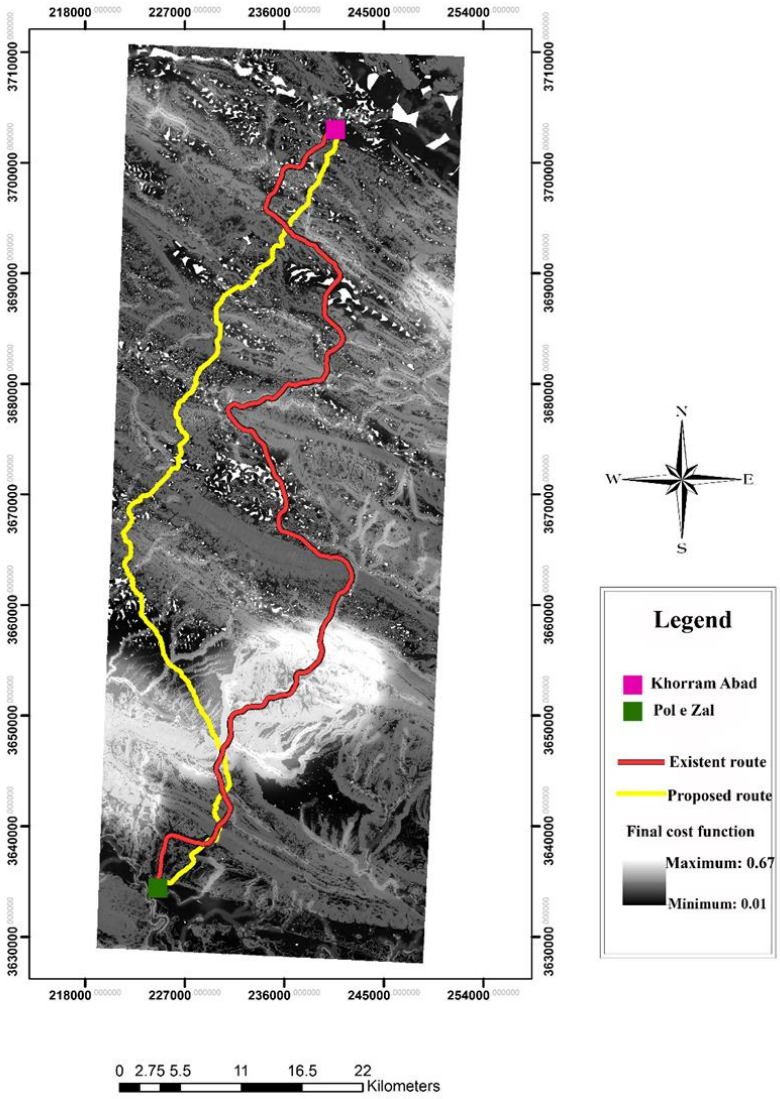


Figure 1. Final cost function map, existent and proposed routes.

References

Akay, A.E., Yilmaz, B., 2017. Using GIS and AHP for Planning Primer Transportation of Forest Products. ISPRS Annals of the Photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-4/W4, Karabuk, Turkey.

Darvishsefat, A.A., Ahmadi, H., Makhdom, M.F., Abolghasemi, S., 2007. Routing using GIS with consideration of environmental principles (Case study: Parchin Road). Journal of Iranian Natural Resources 60 (1), 203-2011.

Effat, H.A., Hassan, O.A., 2013. Designing and Evaluation of Three Alternatives Highway Routes Using the Analytic Hierarchy Process and the Least-Cost Path Analysis, Application in the Sinai Peninsula, Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences16, 141-151.

Gilbrook, M., 1998. Finding the Appalachian Scenic Corridor. Eighteenth Proceedings of Annual Environmental Systems Research Institute (ESRI) User Conference. http://www.esri.com/library/user- conf/archive.html.

Monavari, M., 2002. Guideline to environmental impacts of highways. Ketab e Farzaneh press, Tehran, Iran (in Persian).

Negahdari, J., 2012. Pathway routing based on environmental geology using remote sensing and GIS (a case study for Hamedan - Saveh). MSc Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz (in Persian).

Panchal, S., Debbarma, A., 2017. Rail-Route Planning Using a Geographical Information System (GIS). Engineering, Technology & Applied Science Research 7 (5), 2010-2013.

Pritchard, S.R., 1996. Using ARC/INFO for High-Speed Ground Transportation Siting. Sixteenth Proceedings of Annual Environmental Systems Research Institute (ESRI) User Conference. http://www.esri.com/library/userconf/archive.html.

Sadekl, S., Isam Kaysil, I., Mounia Bedran, M., 2000. Geotechnical and Environmental Considerations in Highway Layouts: An Integrated GIS Assessment Approach 2 , 190-197.

Subramani, T., Pari, D., 2015. Highway Alignment Using Geographical Information System. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) 05 (05), 32-42.

مسیریابی بهینه آزادراه پل زال- خرم آباد با استفاده ازسنجش از دور و GIS و ملاحظات زیست محیطی

کاظم رنگزن*
گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
سید ساجدین موسوی
گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
عظیم صابری
گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران
سهیلناز درویشی
گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۱۸ *تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۱۹*

**Kazemrangzan@scu.ac.ir*

چکیده

آزادراه‌ها یکی از مهم‌ترین شریان‌های حیاتی جامعه بوده که نقش مهمی را در تخریب محیط‌زیست داشته و از معضلات اساسی در حفظ و تنوع زیستی هستند. آزادراه پل زال-خرم آباد در جنوب غربی کشور علیرغم داشتن مزایای اقتصادی فراوان، مخطرات زمین‌شناسی و مشکلات عدیده‌ای را برای محیط‌زیست بصورت زمین-لغزش‌ها، تغییر کاربری اراضی و کاهش جمعیت گونه‌های جانوری و گیاهی داشته است. به همین دلیل در این پژوهش، تعیین مسیر بهینه بر مبنای ملاحظات زیست‌محیطی مدنظر قرار گرفته است. بدین منظور هشت عامل شیب، چینه‌شناسی، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه، پوشش گیاهی، ارتفاع، کاربری اراضی و مناطق حفاظت شده از منظر زمین‌شناسی مهندسی، زیست‌محیطی و اقتصادی به روش فازی و AHP استانداردسازی شده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌هد که عوامل مناطق حفاظت شده، چینه‌شناسی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی با وزن ۰/۱۶۶، ۰/۱۶۵، ۰/۱۴۷و ۰/۱۲۳ بیشترین تاثیر را در انتخاب مسیر جدید دارند. در نهایت، این عوامل براساس وزن نسبی در محیط GIS با یکدیگر ترکیب شده و مسیر پیشنهادی انتخاب گردید. این مسیر نسبت به مسیر فعلی ۱۵ کیلومتر کوتاهتر و مخاطرات زمین‌شناسی و اثرات زیست‌محیطی کمتری دارد. بنابراین، توصیه می‌شود که این فرآیند برای سایر آزادراه‌های احداث شده و یا در حال احداث به منظور کاهش پیامدهای زیست محیطی پروژه بکار گرفته شود.

کلمات کلیدی: *ملاحظات زیست‌محیطی، سنجش از دور، مسیر بهینه، آزادراه پل زال-خرم آباد، فازی، AHP*

مقدمه

آزادراه‌ها یکی از مهمترین شریان‌های حیاتی است که در افزایش ظرفیت حمل و نقل و ایجاد توسعه پایدار در جامعه نقش مهمی را ایفا می‌کنند. چنین سازه‌هایی ضمن کاهش فاصله بین مبدا و مقصد و نیز صرفه‌جویی در مصرف سوخت، مسیری ایمن برای جابجایی بار و مسافر را فراهم می‌آورند. از سوی دیگر، احداث آزادراه‌ها یکی از عوامل مخرب محیط زیست و منابع طبیعی به‌شمار می‌آیند. به‌طوری‌که گاهی این پیامدهای منفی زیست‌محیطی با مزایای احداث یک آزادراه برابری می‌کند.

در انتخاب مسیر مناسب برای احداث یک آزادراه شرایط زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، پایداری دامنه‌ها و شیروانی‌ها و اقتصاد پروژه از جایگاه ویژه‌ای برخوردارند. همچنین، درنظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی در انتخاب مسیر منجر به ساخت پروژه‌ای سازگار با شرایط طبیعی منطقه و کاهش مخاطرات زمین‌شناسی خواهد شد. با این وجود، برقراری تعادل بین عوامل زمین‌شناسی مهندسی و ملاحظات زیست‌محیطی کاری سخت و بغرنج است. این موضوع به‌ویژه در مناطق کوهستانی که عوامل موثر در فرآیند انتخاب مسیر از عدم قطعیت‌هایی برخوردار هستند، پیچیدگی بیشتری دارد.

از آنجا که مولفه‌های موثر در انتخاب مسیر آزادراه‌ها ماهیت فضایی و مکانی دارند، این مشکل را می‌توان با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و به کمک سیستم اطلاعات جغرافیا (GIS) مرتفع نمود. این موضوع توسط محققین بسیاری در سراسر دنیا مورد توجه قرار گرفته است. Pritchard در سال ۱۹۹۶ بانک داده‌ای مبتنی بر GIS فراهم آورد که بر اساس آن مسیر آزادراه‌ها با درنظر گرفتن تأثیر آنها بر کاربری اراضی و نزدیکی به مناطق شهری تعیین می‌شد. Gilbrook در سال ۱۹۹۸ ترکیبی از ابزارهای GIS را برای تعیین مسیر کریدور جاده‌ای احتمالی از میان کوه‌های آپالاش جنوبی به‌کار گرفت. در این تحقیق سیستم اطلاعات جغرافیایی برای کمی کردن اثرات زیست‌محیطی و مهندسی پروژه یاد شده مورد استفاده قرار گرفت. Sadek و همکاران (۲۰۰۰) برای تعیین مسیر آزادراه رشته کوه جنوبی در بیروت ملاحظات زیست‌محیطی و ژئوتکنیکی را در محیط GIS مورد توجه قرار دادند. Effat (۲۰۱۳) و همکاران با استفاده از AHP و تحلیل کم هزینه‌ترین مسیر، سه گزینه آزادراهی در شبه جزیره سینا در مصر را با لحاظ نمودن عوامل فاصله از گسل، شیب، سنگ شناسی، فاصله از آثار تاریخی، مناطق حفاظت شده و کاربری اراضی مورد بررسی قرار دادند. Subramani and Pari در سال ۲۰۱۵ با بکارگیری عوامل زمین‌شناسی، کاربری اراضی، ارزش زمین و نوع خاک

مسیر بهینه آزادراه اروده به کارور (Erode to Karur) در جنوب هندوستان را با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مشخص ساختند. همچنین، Akay and Yilmaz در سال ۲۰۱۷ به منظور طراحی مسیر جاده حمل تنه درختان جنگلی در ترکیه از GIS و تحلیل سلسله مراتبی (Analytic Hierarchy Process(AHP) استفاده کرده‌اند. در این پژوهش از لایه‌های کاربری اراضی، نوع خاک و شیب استفاده شده است. Panchal and Debbarma (۲۰۱۷) با استفاده از AHP در محیط GIS مسیر مناسب برای راه‌آهن سریع السیر در ایالت شیوالیکس (Shiwaliks) هندوستان با بکارگیری لایه‌های شیب، نزدیکی به مناطق مهم، فاصله از شبکه آبراهه‌ها، سنگ شناسی و خصوصیات خاک‌ها را پیشنهاد نمودند.

در سال ۱۳۸۱ نیز دستورالعمل جامعی توسط منوری به منظور ارزیابی اثرات زیست‌محیطی بزرگراه‌ها در ایران ارائه شد. در سال ۱۳۸۶ درویش صفت و همکاران با استفاده از لایه‌های سنگ‌شناسی، گسل، خاک، شیب، ارتفاع و آبراهه‌ها و با بکارگیری از تحلیل سلسله مراتبی در محیط Arc View 3.2 اقدام به تعیین مسیر جاده پارچین در شرق تهران نمودند. نگاهداری (۱۳۹۱) با درنظر گرفتن پارامترهای فاصله از گسل‌ها، سنگ شناسی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها و مناطق حفظت شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و سنجش از دور مسیری بهینه و سازگارتر با محیط زیست برای آزادراه همدان-ساوه ارائه کرد.

آزادراه پل زال- خرم آباد در استان لرستان به طول ۱۰۲ کیلومتر یکی از مهمترین و بزرگترین پروژه های عمرانی اجرا شده در جنوب غرب کشور است. کاهش آمار تصادفات و زمان سفر از طریق کوتاه نمودن ۶۰ کیلومتری طول مسیر نسبت به جاده قدیم خرم آباد–پلدختر-اندیمشک، صرفه جویی در مصرف سوخت، کاهش بار ترافیکی و افزایش سرعت مطمئن از جمله اهداف ساخت این آزادراه بوده است. با این وجود به‌نظر می‌رسد ملاحظات زیست‌محیطی و حتی زمین‌شناسی مهندسی در احداث این پروژه کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، این تحقیق به دنبال شناسایی پیامدهای زمین‌شناسی زیست‌محیطی این پروژه و ارائه مسیری بهینه با به‌کارگیری تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم‌های فازی-AHP است.

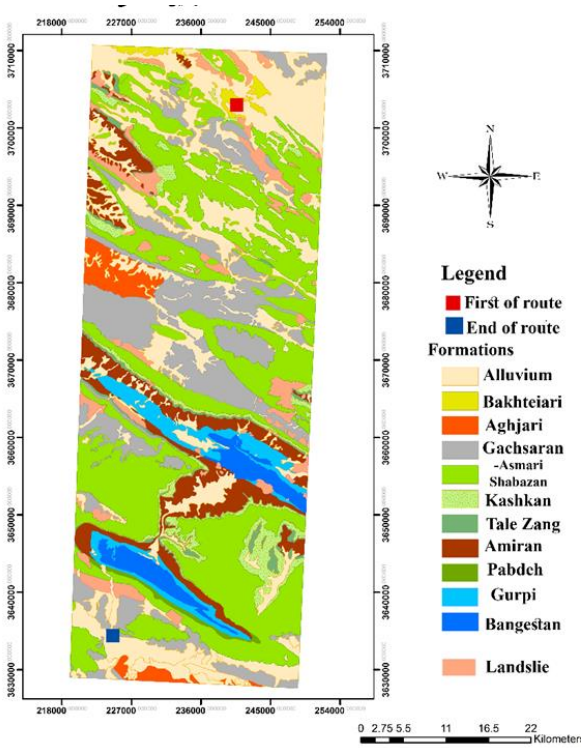
زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه

آزادراه پل زال - خرم آباد به عنوان بخشی از محور سراسری تهران- بندر امام در زون ساختاری زاگرس چین خورده قرار گرفته است. این آزادراه در مسیر خود از تاقدیس‌های به هم فشرده پشت جنگل، امیران، چهار قلعه، سلطان، سرکان و چناره با روند شمال غرب - جنوب شرق عبور می‌کند. در این منطقه معمولاً سازند ایلام-سروک هسته و سازندهای جوانتر مانند گورپی، امیران، تله زنگ، کشکان، آسماری و گچساران پوسته این تاقدیس‌ها را شکل داده‌اند (شکل ۱). گسل‌های متعددی با ساز و کار راندگی و نرمال و روند شمال‌غرب – جنوب‌شرق توسط آزادراه قطع شده‌اند. همچنین، الگوی تکتونیکی حاکم بر منطقه و حضور توده‌سنگ‌های شکننده منجر به شکل‌گیری سیستم‌های درزه کششی مرتبط با جین‌خوردگی شده‌اند. مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه در طول مسیر به‌ترتیب ۲۶۷۹ و ۲۵۳ متر ارتفاع دارند. شیب توپوگرافی در این منطقه از صفر تا ۸۱ درجه متغیر است.

پیامدهای زمین‌شناسی زیست‌محیطی مسیر موجود

از زمان بهره‌برداری آزادراه پل زال-خرم‌آباد به دلیل شرایط زمین‌شناسی و زمین‌ریخت‌شناسی، آسیب‌های زیادی به محیط زیست منطقه وارد شده و پدیده‌های مخرب زمین‌شناسی متعددی در طول مسیر به‌وقوع پیوسته است. خردشدگی توده سنگ‌های مسیر در اثرحضور ناپیوستگی‌های مختلف ضمن از بین بردن یکپارچگی توده سنگ، شرایط را برای نفوذ آب‌های جوی به درون توده‌سنگ و افزایش فشار آب‌منفذی مهیا کرده است. این امر در نهایت منجر به کاهش مقاومت برشی توده‌های سنگ شده است که همه ساله پس از بارندگی‌های سنگین و نیمه‌سنگین موجب ایجاد ناپایداری‌های متعدد در مسیر و مسدود شده آن می‌شود. این ناپایداری‌ها عمدتاً بصورت لغزش سنگ و خاک و سنگ افت (Rock fall) می‌باشند (شکل ۲). یکی از پیامدهای زیست‌محیطی جاده‌سازی تغییر کاربری اراضی و تاثیر بر اکوسیستم منطقه است. به منظور ارزیابی اثرات زیست محیطی مسیر موجود از تصاویر ماهوار های لندست ۸ در سال ۲۰۱۳ و لندست ۷ در سال۲۰۰۲ استفاده شده است. پس از تصحیحات اتمسفری روی دو تصویر، شاخص NDVI برای هر دو تصویر محاسبه و با استفاده روش ماشین های بردار پشتیبان طبقه‌بندی شدند. به‌منظور ارزیابی طبقه‌بندی از داده‌های واقعیت زمینی و ماتریس خطا استفاده شده است. بدین ترتیب، معیارهای دقت کلی و ضریب کاپا برای برآورد روش طبقه‌بندی SVM محاسبه گردیدند (جدول ۱). تصاویر ماهواره‌ای به ۸ کلاس مناطق مسکونی، زراعت آبی، زراعت دیم، اراضی مرتع، جنگل، زمین‌های بایر، جاده و سطوح آبی طبقه‌بندی شدند. داده‌های آموزشی با تفسیر بصری تصاویر و بهره گیری از نقشه‌های پوشش اراضی منطقه برداشت شدند. به منظور ارزیابی تغییرات به وقوع پیوسته در پوشش زمین، در طی فاصله زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ از روش آشکار سازی تغییرات نرم افزار Envi 4.7 استفاده شده است. شکل (۳) تغییرات ایجاد شده در این ۸ کلاس را در بازه زمانی مورد بررسی نشان می‌دهد. تغییرات ایجاد شده در محدوده مسیر نشان می دهد که حدود ۵۷۹ کیلومتر مربع از پوشش جنگل‌های منطقه کاهش یافته است. زمین‌های بایر، مناطق مسکونی و مراتع به‌ترتیب به میزان ، ۱۴ و ۲۰۸ کیلومترمربع افزایش پیدا کرده است. اراضی زراعت آبی ۱۳/۹ کیلو متر مربع کاهش و اراضی زراعت دیم ۳۱۷ کیلومترمربع و جاده‌ها به میزان ۱۰ کیلومتر افزایش یافته‌اند.

هم‌چنین، این آزادراه با عبور از میان منطقه حفاظت شده سمندر لرستان، مسیر حرکت و مهاجرت روزانه این گونهٔ نادر را تقطیع کرده است و آنرا با خطر انقراض مواجه کرده است. به همین دلیل انتخاب مسیر جایگزین یا تغییر بخشی از مسیر به منظور کاهش یا از بین بردن این اثرات اجتناب ناپذیر است.



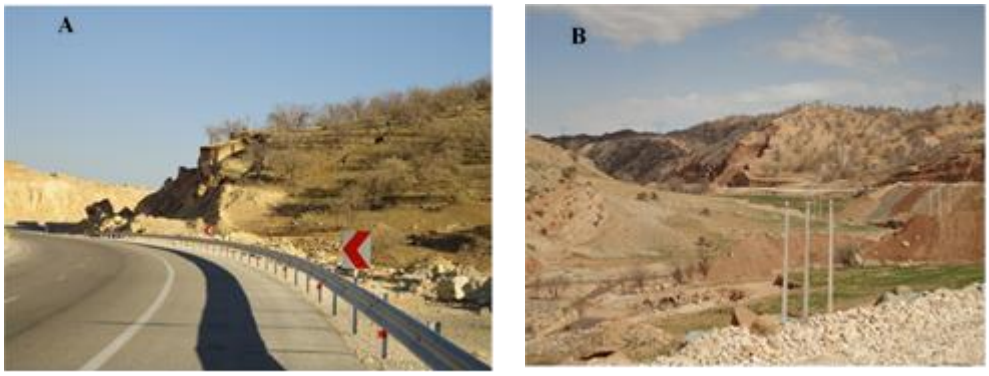
شکل ۱- نقشه چینه‌شناسی محدوده آزادراه پل زال-خرم آباد.

Fig. 1. Stratigraphic map of Pol e Zal – Khorram Abad freeway.

جدول ۱- ارزیابی طبقه‌بندی ماشین‌های بردار پشتیبان.

Table 1. Evaluation of support vector machine classification.

Year	Kappa coefficient	Total accuracy (%)
2002	0.7325	80.0604
2013	0.7865	83.8489



شکل ۲- زمین‌لغزش‌های رخداده در طول مسیر. الف)لغزش صفحه‌ای و ب)لغزش چرخشی.

Fig. 2. Occurred landslides along the freeway. A) Planar landslide, B) circular landslide.

انتخاب مسیر بهینه

داده‌ها و معیارهای مورد استفاده

گام اول در تعیین مسیر بهینه یک آزادراه جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات موجود در منطقه است. عوامل متعددی در انتخاب مسیر بهینه یک آزادراه موثر است که مهمترین آنها معیارهای زیست‌محیطی، زمین‌شناسی مهندسی و اقتصادی هستند. در این تحقیق معیارهای وضعیت پوشش گیاهی، چینه‌شناسی، فاصله از گسل‌ها، کاربری اراضی، مناطق حفاظت شده، فاصله از آبراهه‌ها، زاویه شیب زمین و ارتفاع در منطقه به‌کار گرفته شده است. این عوامل با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی با

مقیاس ۱:۲۵۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و بازدیدهای صحرایی در قالب لایه‌های مکانی در محیط Arc GIS تهیه شده‌اند. لایه‌های شیب و جهت شیب از نقشه DEM منطقه استخراج شدند. همچنین، لایه پوشش گیاهی منطقه بر اساس شاخص NDVI تهیه شده است.

وزن‌دهی عوامل موثر در انتخاب مسیر بهینه

تاثیر و محدودیت هر یک از معیارها و زیرمعیارهای موثر در انتخاب مسیر یک آزادراه یکسان نیست و باید اهمیت نسبی هر یک از عوامل موثر مشخص تا تابع هزینه هر لایه زیرمعیار تعیین شود. تابع هزینه نهایی لایه‌های عوامل موثر به صورت داده‌های شبکه‌ای رستر تبدیل و ذخیره شد. در این پژوهش استاندارد سازی هر یک از لایه‌ها به دو روش فازی و سلسله مراتبی انجام شد. با استفاده از توابع عضویت فازی کلاس‌های مختلف لایه‌های شیب، لایه ارتفاع، فاصله از گسل‌ها، فاصله از آبراهه‌ها و مناطق حفاظت شده استانداردسازی شدند، اما لایه‌های کاربری اراضی، پوشش گیاهی و چینه‌شناسی با بکارگیری روش مقایسه‌ی زوجی یا فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استانداردسازی شده‌اند و نقشه‌های تابع هزینه تهیه گردید (شکل‌های ۴ تا ۱۲). برای استانداردسازی لایه‌های شیب، فاصله از گسل، آبراهه، مناطق حفاظت شده، پوشش گیاهی و ارتفاع از تابع Large استفاده شده است. زیرا نقاط نزدیک به این عارضه‌ها از اهمیت کمتری برخوردار هستند. به منظور تعیین وزن نسبی به روش AHP از نرم افزار Expert choice11 استفاده شده است.

نتایج و بحث

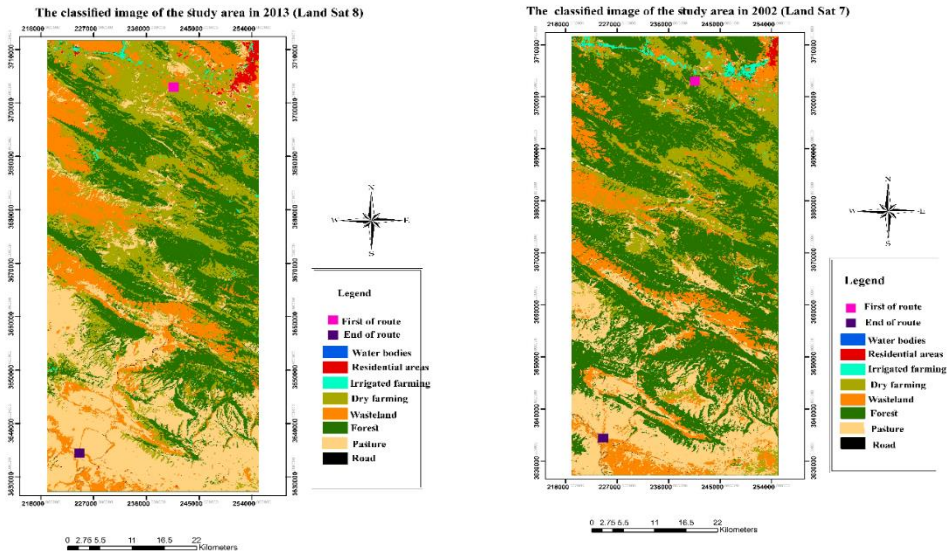
معیارهای هفت‌گانه مورد استفاده در تعیین مسیر بهینه آزادراه از سه منظر زمین‌شناسی مهندسی، زیست‌محیطی و اقتصاد پروژه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این هشت عامل با یکدیگر مقایسه زوجی شده و اهمیت نسبی هر کدام در مقایسه با دیگری سنجیده شده است. جدول ۱ وزن عوامل موثر در انتخاب مسیر مطلوب آزادراه از منظر زمین‌شناسی مهندسی را نشان می‌دهد.

جدول ۱- وزن محاسبه شده برای زیرمعیارها از نظر زمین‌شناسی مهندسی.

Table 2. The calculated weight of sub-criteria as engineering geological viewpoint.

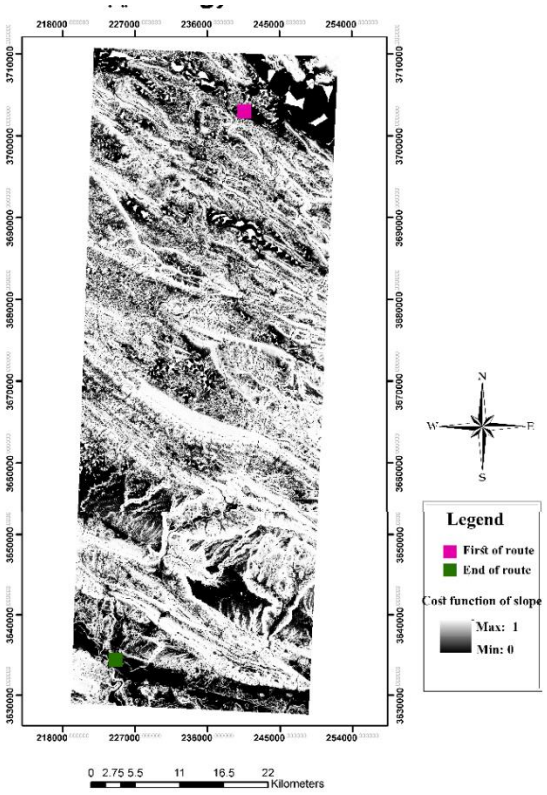
Sub-criteria weights							
Proximity to faults	Proximity to drainages	Protected area	Slope	Land use	Vegetation cover	Stratigraphy	Altitude
0.181	0.146	0.032	0.177	0.089	0.054	0.255	0.065

همانطور که از جدول ۱ مشخص است سه معیار چینه‌شناسی، فاصله از گسل و شیب بترتیب با امتیاز ۰/۲۵۵، ۰/۱۸۱ و ۰/۱۷۷ بیشترین وزن و تاثیر را در انتخاب مسیر بهینه دارند. زیرا که خصوصیات زمین‌شناسی مهندسی توده‌های سنگ مسیر به شدت متاثر از وضعیت چینه‌شناسی آنها است، به‌طوری‌که حضور لایه‌های مارنی و شیلی در تناوب با لایه‌های آهکی در دامنه‌ها و ترانشه‌های با شیب زیاد می‌تواند به کاهش مقاومت برشی توده‌سنگ و وقوع زمین‌لغزش منجر شود. همچنین، گسل‌ها و درزه‌ها با افزایش خردشدگی توده سنگ، یکپارچگی آنرا کاهش می‌دهند و شرایط را نیز برای نفوذ آب به درون توده‌سنگ و افزایش فشار آب‌منفذی و در نهایت کاهش مقاومت آن فراهم می‌آورد. این موضوع نیز ناپایداری شیروانی‌های سنگی را تسهیل می‌کند.



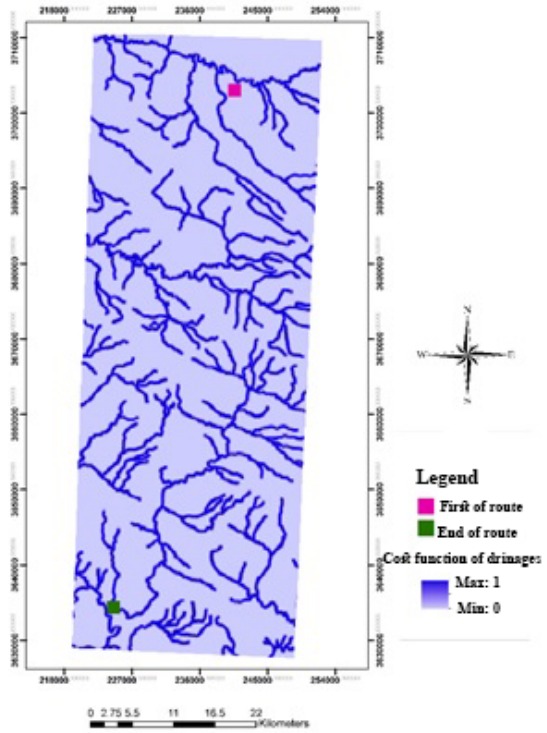
شکل۳- نمایش تغییرات ایجاد شده در محدوده مطالعاتی در بازه زمانی قبل و بعد از احداث آزادراه پل زال- خرم آباد.

Fig. 3. Occurred changes in the study area during before and after the construction of Pol e Zal – Khorram Abad freeway.



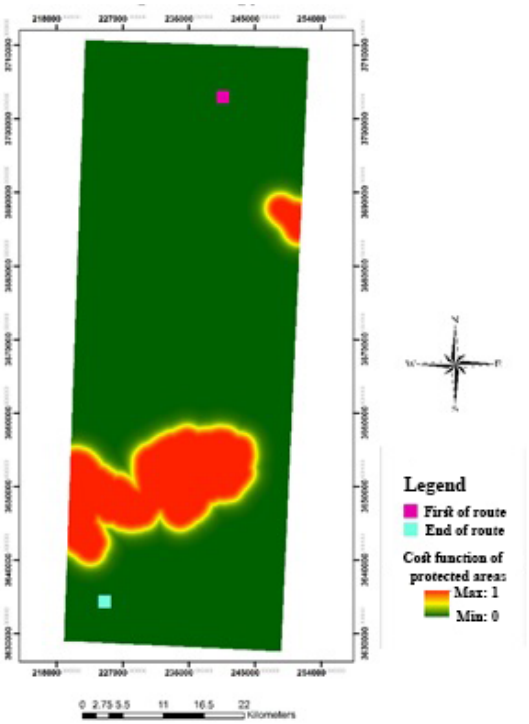
شکل ۴- نقشه استانداردسازی شده شیب منطقه مورد مطالعه.

Fig. 4. Standardized slope map of the study area.



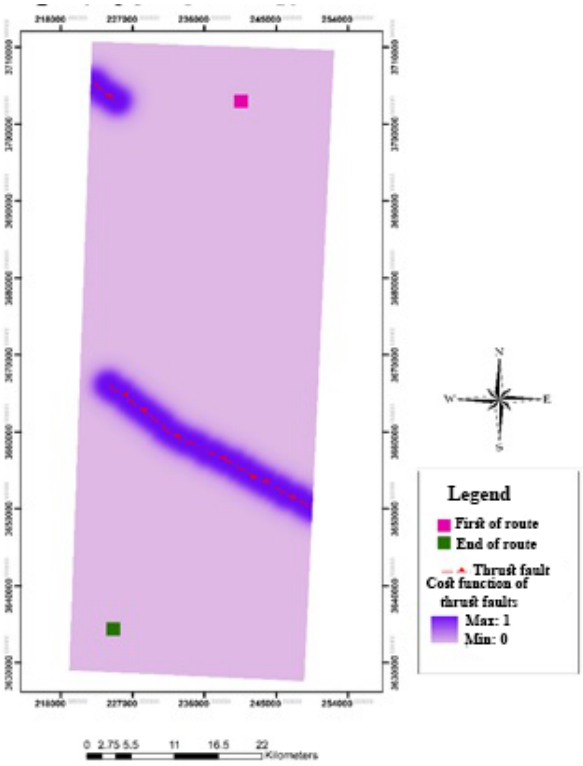
شکل ۵- نقشه استانداردسازی شده فاصله از آبراهه‌ها.

Fig. 5. Standardized map of proximity to drainage for the study area.



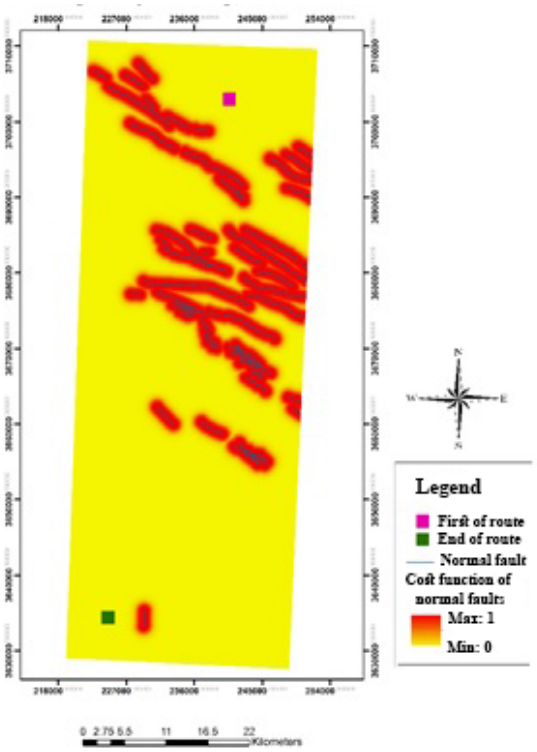
شکل ۶- نقشه استانداردسازی شده مناطق حفاظت شده منطقه مطالعاتی.

Fig. 6. Standardized map of protected area in the study area.



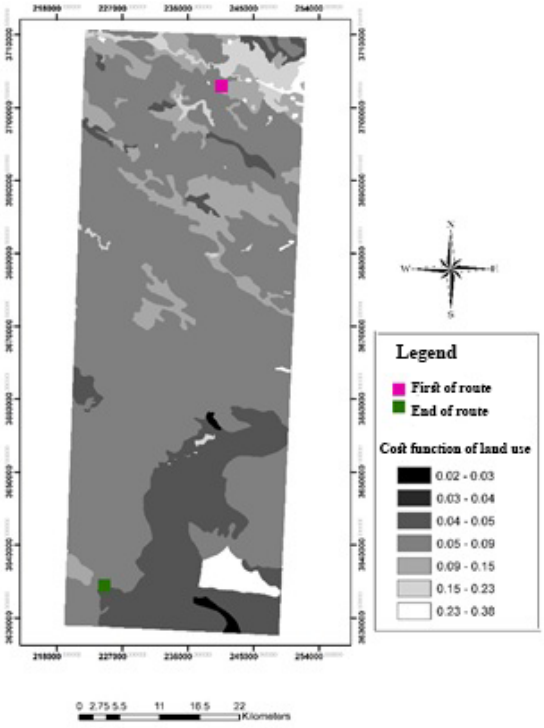
شکل ۷- نقشه استانداردسازی شده فاصله از گسل‌های معکوس محدوده مورد بررسی.

Fig. 7. Standardized map of proximity to reverse faults for the study area.



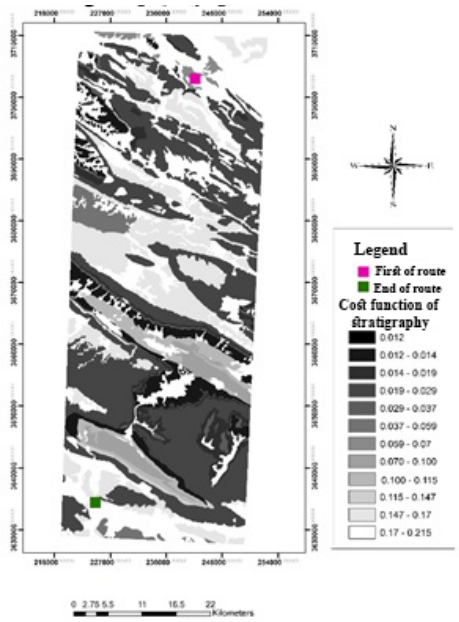
شکل ۸- نقشه استانداردسازی شده گسل‌های عادی محدوده مطالعاتی.

Fig. 8. Standardized map of proximity to normal faults for the study area.



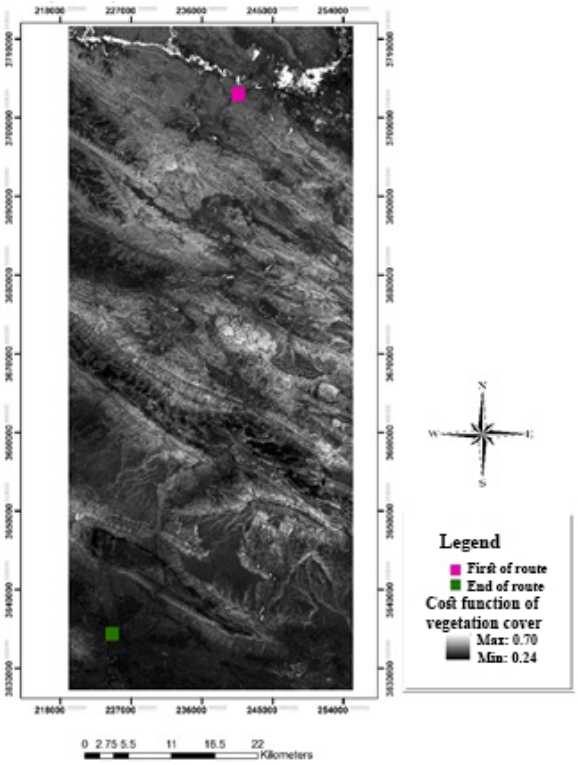
شکل ۹- نقشه استانداردسازی کاربری اراضی منطقه مطالعاتی.

Fig. 9. Standardized land use map of the study area.



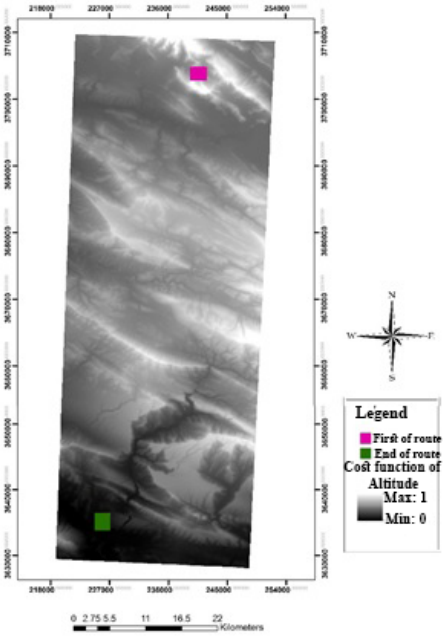
شکل ۱۰- نقشه استانداردسازی شده چینه‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

Fig. 10. Standardized stratigraphic map of the study area.



شکل ۱۱- نقشه استانداردسازی پوشش گیاهی منطقه مطالعاتی.

Fig. 11. Standardized vegetation cover map of the study area.



شکل ۱۲- نقشه استانداردسازی ارتفاع منطقه مطالعاتی.

Fig. 12. Standardized altitude map of the study area.

به منظور انتخاب مسیر جدید بر مبنای ملاحظات زیست‌محیطی و کاهش پیامدهای منفی آن، اهمیت نسبی معیارهای یاد شده از این منظر زیست‌محیطی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. احداث آزادراه می‌تواند کاربری بسیاری از اراضی را تغییر داده و اثرات سوئی بر منطقه داشته باشد. به‌عنوان مثال، پاک‌تراشی گیاهان و تغییر یا تخریب آبراهه‌ها موجب کاهش محل‌های اختفا و منابع آب مورد نیاز گونه-های جانوری منطقه خواهد شد. همچنین، احداث خاکریز آزادراه به‌عنوان سدی در برابر مهاجرت روزانه گونه‌های جانوری در مناطق حفاظت عمل کرده و مانع از امتزاج آنها می‌شود و به مرور زمان کاهش جمعیت آنها در منطقه و حتی خطر انقراض را به دنبال خواهد داشت. این موضوع در ارتباط با مسیر موجود صادق است، بگونه‌ای که این مسیر آسیب‌های جدی به گونه سمندر لرستان وارد کرده و باعث تخریب بسیاری از مراتع و پوشش گیاهی در مسیر جاده و حتی در خارج از حریم آزادراه شده است (شکل ۲). به همین دلیل در این تحقیق بر اساس مشاهدات صحرایی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به‌ترتیب بیشترین وزن به عوامل مناطق حفاظت شده، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، فاصله از آبراهه‌ها، شیب، چینه‌شناسی و فاصله از گسل و ارتفاع داده شده است (جدول ۳).

جدول ۳- وزن محاسبه شده برای زیر معیارها از نظر زیست محیطی.

Table 3. Calculated weight of sub-criteria as environmental viewpoint.

Sub-criteria weights							
Proximity to faults	Proximity to drainages	Protected area	Slope	Land use	Vegetation cover	Stratigraphy	Altitude
0.030	0.086	0.349	0.048	0.159	0.270	0.030	0.029

از سوی دیگر به دلیل محدودیت هزینه‌های ساخت در انتخاب مسیر بهینه، این عوامل از منظر اقتصادی نیز امتیازدهی شده‌اند (جدول ۳). بر این اساس، بیشترین وزن به‌ترتیب به معیارهای، چینه‌شناسی، فاصله از گسل، شیب و کاربری اراضی (با وزن ۰/۲۶۰، ۰/۱۸۱، ۰/۱۵۹ و ۰/۱۰۶) اختصاص داده شد (جدول ۴). زیرا که عبور جاده از مناطق کوهستانی و شیب‌دار و شرایط زمین‌شناسی نامناسب هزینه‌های زیادی را از نظر حجم خاک‌برداری و خاک‌ریزی و پایدارسازی ترانشه‌ها به همراه خواهد داشت. همچنین، کاربری اراضی موضوع هزینه‌های تملک اراضی موجود در مسیر را مطرح می‌سازد که هزینه‌های مالی و اجتماعی زیادی را می‌تواند بر پروژه تحمیل نماید.

جدول ۴- وزن محاسبه شده برای زیرمعیارها از نظر اقتصادی.

Table 4. The Calculated weight of sub-criteria as economic viewpoint.

Sub-criteria weights							
Proximity to faults	Proximity to drainages	Protected area	Slope	Land use	Vegetation cover	Stratigraphy	Altitude
0.181	0.101	0.050	0.159	0.106	0.065	0.260	0.036

با مشخص شدن وزن زیرمعیارها از سه منظر معیار زمین‌شناسی مهندسی، زیست‌محیطی و اقتصادی، اهمیت نسبی هر یک از معیارها نیز با مقایسه زوجی و با استفاده از نرم‌افزار Expert choice 11 محاسبه شده است. در این راستا، وزن ۰/۴۰، ۰/۳۵ و ۰/۲۵ به‌ترتیب به معیار زیست‌محیطی، زمین‌شناسی مهندسی و اقتصادی اختصاص داده شد.

با محاسبه وزن معیارها و زیرمعیارها، وزن نهایی هر زیرمعیار از مجموع حاصل-ضرب وزن هر زیرمعیار در وزن هر معیار بدست آمد (جدول ۵). وزن‌های محاسبه شده موید آن است که ترتیب اهمیت نسبی زیرمعیارها در انتخاب مسیر جدید و بهینه آزادراه به‌صورت مناطق حفاظت شده، چینه‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و ارتفاع می‌باشند. هر لایه زیرمعیار به صورت یک تابع هزینه در نرم‌افزار Arc GIS معرفی گردیده است (شکل‌های ۴ تا ۱۲).

در نهایت مسیر بهینه با تعیین تابع هزینه از طریق مجموع حاصل‌ضرب وزن هر زیرمعیار در وزن تمام معیارها برای هر پیکسل از لایه‌های مکانی محاسبه گردید. لازم به ذکر است که تابع هزینه برای مسیر پیشنهادی با در نظر گرفتن کوتاه‌ترین و کم هزینه‌ترین مسیر در محیط GIS مشخص و گزینش گردید (شکل ۱۳). همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود مسیر پیشنهادی جدید انطباق کمی با مسیر کنونی دارد و در مقابل به میزان ۱۵ کیلومتر کوتاه‌تر است. همچنین، بخش کوتاهی از این مسیر از مناطق حفاظت شده عبور می‌کند که پیامدهای سوء زیست-محیطی کمتری در پی خواهد داشت.

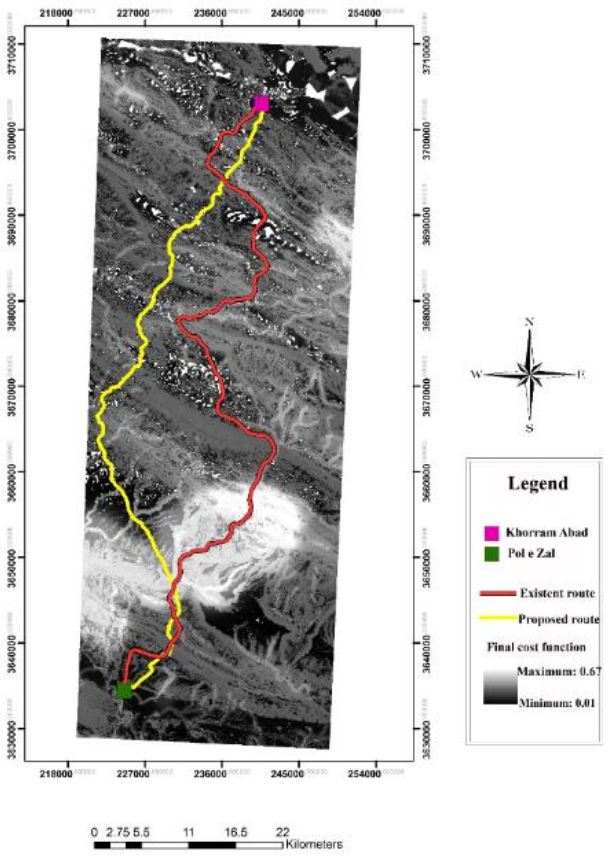
جدول ۵- وزن نهایی محاسبه شده برای هر عامل از لحاظ سه معیار زمین-شناسی مهندسی، اقتصادی و زیست محیطی.

Table 5. The calculated final weights of each effective factor as engineering geological, environmental and economic viewpoint.

Sub-criteria	Criteria			Final weight
	engineering geology	economy	environment	
Slope	0.062	0.141	0.019	0.122
Stratigraphy	0.088	0.065	0.012	0.165
Proximity to faults	0.063	0.046	0.012	0.121
Proximity to drainages	0.051	0.027	0.034	0.112
Protected areas	0.011	0.012	0.143	0.166
Vegetation cover	0.019	0.016	0.112	0.147
Land use	0.031	0.026	0.066	0.123
Altitude	0.023	0.009	0.012	0.044

نتیجه‌گیری

آزادراه‌ها در هر جامعه‌ای یکی از مولفه‌های مؤثر در رشد و توسعه اقتصادی است که در صورت درنظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی می‌تواند به توسعه پایدار آن منطقه کمک کند. آزادراه پل زال-خرم آباد یکی مهمترین مسیرهای آزادراهی در منطقه جنوب‌غرب کشور است که علیرغم داشتن مزایای اقتصادی برای منطقه و کشور، در زمان احداث آن ملاحظات زیست‌محیطی کمتر مورد توجه قرار گرفته است. به همین دلیل محیط‌زیست منطقه به‌شدت آسیب دیده، کاربری بسیاری از اراضی تغییر کرده و زمین‌لغزش‌های متعددی در امتداد مسیر به‌وقوع پیوسته است. در نتیجه، در این پژوهش تعیین مسیر جدید و بهینه این آزادراه با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی مدنظر قرار گرفته است. بدین منظور هشت عامل شیب، چینه‌شناسی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، مناطق حفاظت شده، ارتفاع، فاصله از گسل و فاصله از آبراهه‌ها به روش‌های فازی و AHP استانداردسازی شده و از منظر زمین‌شناسی مهندسی، زیست‌محیطی و اقتصادی امتیازدهی شدند. نتایج این تحقیق موید آن است که وزن زیرمعیارهای مناطق حفاظت‌شده، چینه‌شناسی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب، فاصله از گسل، فاصله از آبراهه و ارتفاع در تعیین مسیر جدید به‌ترتیب ۰/۱۶۶، ۰/۱۶۵، ۰/۱۴۷، ۰/۱۲۳، ۰/۱۲۲، ۰/۱۲۱، ۰/۱۱۲و ۰/۰۴۴ می-باشند. این موضوع به دلیل آن است که احداث آزادراه در مناطق با چینه شناسی متشکل از سنگ‌های ضعیف، شیب زیاد و در نزدیکی گسل نیازمند انجام عملیات خاکبرداری و خاکریزی و ایجاد تونل به منظور کاهش شیب می‌باشد که با توجه به وضعیت چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی مسیر احتمال ریزش‌ها و لغزش‌ها وجود خواهد داشت. این موضوع از منظر زمین‌شناسی مهندسی و اقتصاد پروژه از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین، با توجه به حضور گونه نادر سمندر لرستان و سایر گونه‌های ارزشمند در محدوده مطالعاتی، منطقه حفاظت شده و پوشش گیاهی در تعیین مسیر جدید مورد توجه قرار گرفته و وزن نسبی بیشتری در مقایسه با سایر عوامل را کسب کرده است.



شکل ۱۳- نقشه تابع هزینه نهایی و نمایش مسیر موجود و پیشنهادی.

Fig. 13. Final cost function map, existent and proposed routes.

مسیر پیشنهادی که بر مبنای مقدار تابع هزینه نهایی و با لحاظ نمودن کوتاه-ترین و کم هزینه‌ترین مسیر انتخاب گردید، نشان می‌دهد که این مسیر ۱۵ کیلومتر کوتاه‌تر از مسیر کنونی بوده و پیامدهای زیست‌محیطی و مخاطرات زمین‌شناسی کمتری نسبت به مسیر فعلی به‌همراه خواهد داشت. اگر چه تغییر تمام مسیر کنونی به مسیر پیشنهادی به دلیل مسائل اقتصادی میسر نیست، اما می‌توان بخش‌های عبوری از منطقه حفاظت شده و دارای تراکم پوشش گیاهی را به مسیر جدید انتقال داد. بنابراین، به‌منظور کاهش هزینه‌ها و حفاظت از محیط‌زیست کشور توصیه می-شود پیش از احداث آزادراه‌های جدید و برای اصلاح و به حداقل رساندن آسیب‌های آزادراه‌های احداث شده، روش ارزیابی زیست‌محیطی انجام شده در این پژوهش مورد توجه قرار گیرد.

منابع

Akay, A.E., Yilmaz, B., 2017. Using GIS and AHP for Planning Primer Transportation of Forest Products. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences IV-4/W4, Karabuk, Turkey.

Darvishsefat, A. A., Ahmadi, H., Makhdom, M.F., Abolghasemi, S., 2007. Routing using GIS with consideration of environmental principles (Case study: Parchin Road). Journal of Iranian Natural Resources 60 (1), 203-2011.

Effat, H.A., Hassan, O.A., 2013. Designing and Evaluation of Three Alternatives Highway Routes Using the Analytic Hierarchy Process and the Least-Cost Path Analysis, Application in the Sinai Peninsula, Egypt. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences16, 141-151.

Gilbrook, M., 1998. Finding the Appalachian Scenic Corridor. Eighteenth Proceedings of Annual Environmental Systems Research Institute (ESRI) User Conference. http://www.esri.com/library/user- conf/archive.html.

Monavari, M., 2002. Guideline to environmental impacts of highways. Ketab e Farzaneh press, Tehran, Iran (in Persian).

Negahdari, J., 2012. Pathway routing based on environmental geology using remote sensing and GIS (a case study for Hamedan - Saveh). MSc Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz (in Persian).

Panchal, S., Debbarma, A., 2017. Rail-Route Planning Using a Geographical Information System (GIS). Engineering, Technology & Applied Science Research 7 (5), 2010-2013.

Pritchard, S.R., 1996. Using ARC/INFO for High-Speed Ground Transportation Siting. Sixteenth Proceedings of Annual Environmental Systems Research Institute (ESRI) User Conference. http://www.esri.com/library/userconf/archive.html.

Sadekl, S., Isam Kaysil, I., Mounia Bedran, M., 2000. Geotechnical and Environmental Considerations in Highway Layouts: An Integrated GIS Assessment Approach 2, 190-197.

Subramani, T., Pari, D., 2015. Highway Alignment Using Geographical Information System. IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) 05 (05), 32-42.