اولویت‌بندی و انتخاب بهترین روش بررسی زیرسطحی تونل انتقال آب سبزکوه در کوه‌های زاگرس

مسعود زارع نقدهی؛ دانشگاه صنعتی همدان،
سید داود محمدی*، مصطفی کریمی؛ دانشگاه بوعلی سینا همدان

تاریخ: دریافت ۹٤/۱۰/۲۳ پذیرش ۹۵/۱۱/۲٤

چکیده

اولویت‌بندی روش بررسی زیرسطحی نقش مهمی در مدیریت اقتصادی و ایمنی پروژه‌های زیرزمینی دارد. در این پژوهش شیوه جدیدی برمبنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شباهت به گزینهٔ ایده‌آل (TOPSIS) برای اولویت‌بندی روش‌های بررسی مسیر تونل سبزکوه از میان طیف گسترده‌ای از روش‌های ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی پیشنهاد شده است. برای این کار ابتدا مهم‌ترین عامل مؤثر بر انتخاب بهترین روش بررسی زیرسطحی این پروژه بررسی شده و سپس با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) عوامل بررسی شده به‌صورت زوجی مقایسه و وزن هر یک از عوامل محاسبه شده است. علاوه بر این، از روش شباهت به گزینهٔ ایده‌آل برای انتحاب نزدیک‌ترین روش به حالت ایده‌آل بررسی زیرسطحی مسیر تونل سبزکوه بهره گرفته شده است. در نهایت از بین ٦ گزینهٔ بررسی زیرسطحی پیشنهاد شده برای تونل، در هر دو روش AHP و TOPSIS پژوهش‌های لرزه‌ای به‌عنوان بهترین گزینه، و بقیه گزینه‌ها با توجه به وزن مورد نظر در اولویت‌های بعدی قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: زاگرس، تونل‌سازی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش سلسله‌مراتبی، روش شباهت به گزینه ایده‌ال

مقدمه

یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار در موفقیت پروژهٔ تونل‌سازی انتخاب روش صحیح بررسی زیرسطحی ساختگاه، متناسب با شرایط ژئومکانیکی، توپوگرافی و هم‌چنین ملاحظات

*نویسنده مسئول d.mohammadi@basu.ac.ir

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

اقتصادی و ایمنی است. ارتباط بین این معیارها پیچیده است و معمولاً هر معیار بر دیگر معیارها تأثیر می‌گذارد. بنابراین ساختن مدل و یافتن گزینهٔ مناسب با استفاده از معیارهای مستقل آسان نیست. در ارزیابی هر موضوعی نیاز به معیار اندازه‌گیری یا شاخص است. انتخاب شاخص‌های مناسب امکان مقایسه درست بین گزینه‌ها را فراهم می‌کند. زمانی که چند شاخص برای ارزیابی در نظر گرفته می‌شود، فرایند ارزیابی پیچیده می‌شود و پیچیدگی زمانی افزایش می‌یابد که معیارهای چندگانه با هم در تضاد و از جنس‌های مختلف باشند. در این هنگام فرایند ارزیابی و مقایسه از حالت ساده تحلیلی که ذهن قادر به انجام آن است خارج می‌شود و به ابزار تحلیلی عملی نیاز خواهد بود [۱]، [۲].

انتخاب و اولویت بندی بهترین روش بررسی زیرسطحی که هدف این پژوهش است می‌تواند هزینه‌های مادی، معنوی و اجتماعی زیادی را کاهش دهد که بی‌اعتنایی به آن نیز صدمات جبران‌ناپذیری را به‌بار می‌آورد. انتخاب و اولویت‌بندی بهترین روش بررسی زیرسطحی تونل به معیارهای زیادی وابسته است که در این تحقیق سعی شده است معیارهایی در نظر گرفته شود که تأثیر عمده‌ای بر انتخاب روش دارند. در این راستا، بعد از انتخاب معیارهای مناسب، وزن‌دهی به آن‌ها به‌وسیلهٔ ده نفر از اساتید و صاحب‌نظران صنعت تونل‌سازی انجام داده‌اند. یکی از روش های استفاده شده در این پژوهش، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) است که برای اولین بار ساعتی در سال۱۹۸۰ و سپس در ۲۰۰۰ ارائه کرده است [۱]، [۳]. پس از آن به‌طور بسیار گسترده علاوه بر سایر کاربردهای وسیع، در علوم زمین استفاده شده است [٤]–[۱۷]. فرایند تحلیل سلسله مراتبی روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازند، استفاده می‌شود. روش استفاده شدهٔ دیگر در این پژوهش، روش شباهت به گزینهٔ ایده‌آل (TOPSIS) است. بر خلاف روش تحلیل سلسله مراتبی، می‌توان از این روش، به‌عنوان روشی که با آن برای تعیین بهترین گزینه، تعداد چشم‌گیری معیار را بررسی می‌کند، استفاده شده است که این روش نیز از ابتدای معرفی آن تا کنون همواره به‌طور

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

گسترده‌ای مورد توجه بوده است و از آن علاوه بر سایر علوم در مسائل مختلف علوم زمین استفاده شده است [۱۷]-[۲۵].

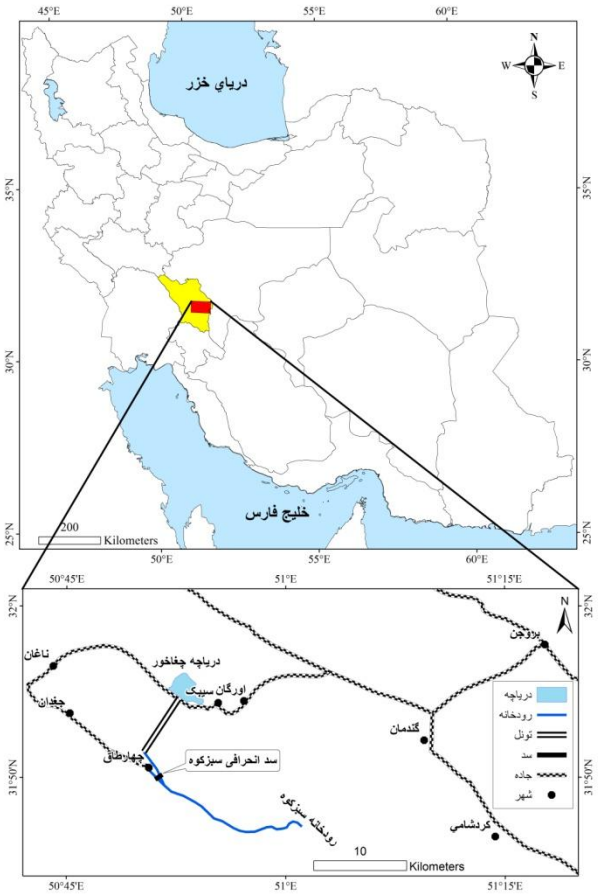
معرفی منطقهٔ بررسی شده

منطقهٔ بررسی شده در استان چهارمحال و بختیاری در حدود ۱۰۹ کیلومتری جنوب شهرکرد و در ناحیه‌ای بین عرض جغرافیایی ´۲۱ °۳۱ تا ´۳۷ °۳۲ شمالی و طول جغرافیایی ۵۹ °۴۹ تا ´۴۷ °۵۱ شرقی واقع شده است. سمت ورودی تونل در حدود ۲۷ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ناغان قرار گرفته است (شکل ۱).

از ارتفاعات مهم منطقه می‌توان از کوه کلار (۳۸۳۲ متر)، کوه هزاردره (۳۹۰۰ متر) و سبزکوه (۳۴۵۳متر) نام برد. اختلاف ارتفاع بلندترین و پست‌ترین نقطه در محدوده منطقهٔ بررسی شده حدود ۱۹۰۰ متر است [۲۶].

تونل سبزکوه با راستای شمال شرق- جنوب غرب از ارتفاعات کلار که جزئی از رشته-کوه‌های زاگرس مرتفع است و از میان یال شمالی ناودیس سبزکوه عبور می‌کند. از دیدگاه زمین‌شناسی، منطقهٔ سبزکوه در حاشیه شمالی رشته‌کوه‌های زاگرس و در بخش‌های میانی زون ساختاری زاگرس مرتفع قرار گرفته است. زمین‌شناسی منطقه شامل سنگ‌های رسوبی است که به‌صورت چین خوردگی‌ها، گسل‌ها، زون‌های برشی و سطوح درز و شکاف‌دار و هوازده در سطح رخنمون یافته‌اند. به‌طورکلی تنوع توده‌سنگ‌های تشکیل‌دهندهٔ مسیر تونل زیاد است و شامل سنگ‌های نرم، سخت و خرد شده هستند. از لحاظ سنگ‌شناسی، تغییرات سنگ‌شناسی به‌صورت منظم بوده است و به‌ترتیب شامل مارن و مارن آهکی سازند گورپی، آهک، آهک مارنی و آهنگ مارنی-شیلی سازند سروک-ایلام، آهک و آهک مارنی سازند کژدمی، دولومیت و آهک دولومیتی سازندهای داریان- فهلیان، آهک، شیل و شیل آهکی سازند سورمه، دولومیت و دولومیت مارنی سازند سورمه-نیریز، دولومیت سازند دالان و دولومیت سازند خانه کت است [۲۷].

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]



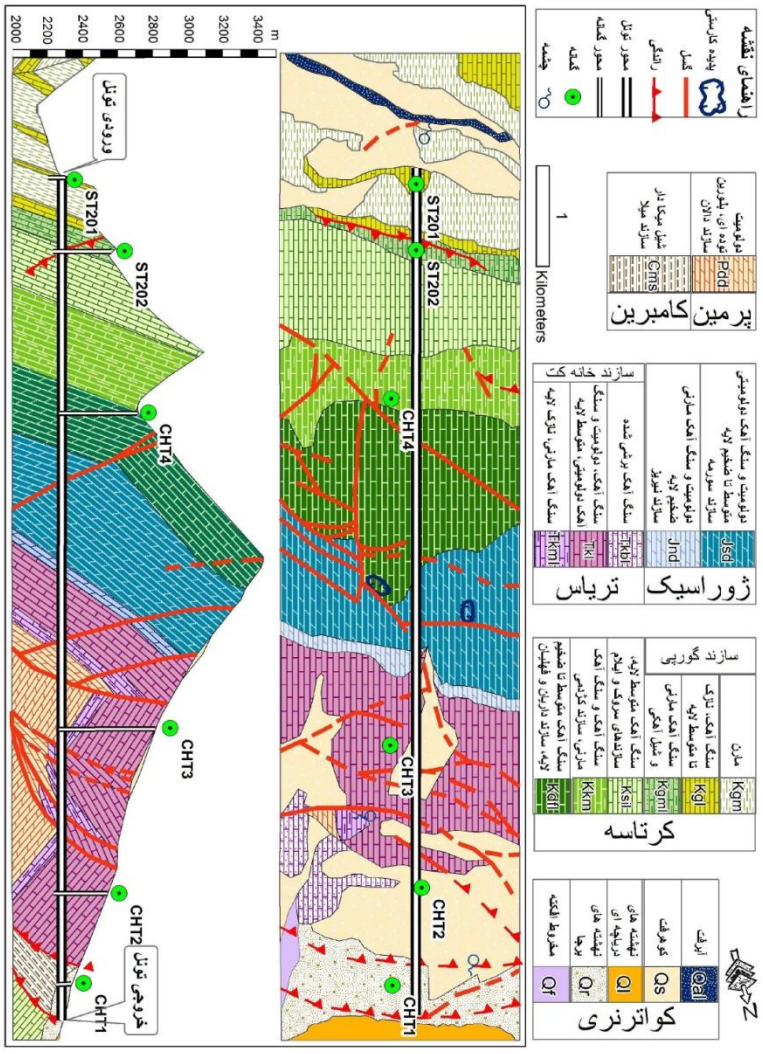
شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقهٔ بررسی شده (اقتباس از ۲۶ با اصلاحات و ترسیم مجدد)

زمین‌شناسی مهندسی منطقه

زمین‌شناسی مهندسی در منطقهٔ بررسی شده، به‌منظور تعیین خصوصیات و ویژگی‌های مهندسی واحدهای مختلف و ارزیابی رفتار مکانیکی توده‌سنگ‌های مسیر تونل انجام شده است. این پژوهش‌ها شامل بررسی مشخصات فیزیکی سنگ‌های مسیر تونل، مشخصات مکانیکی سنگ‌های مسیر تونل، خصوصیات ژئومکانیکی نمونه سنگ در واحدهای مختلف مسیر تونل و رده‌بندی مهندسی توده‌سنگ‌های مسیر تونل است. هدف اصلی این پژوهش‌ها

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

دست‌یابی به اطلاعاتی است که بتوان با استفاده از آن‌ها شرایط ژئومکانیکی و وضعیت پایداری سنگ را در ترانشه‌ها و در مسیر تونل پیش‌بینی کرد. بدیهی است که این اطلاعـات در طراحـی بخش‌های مختلف پروژه (به‌ویژه در تحلیل‌های پایداری، انتخاب نوع نگه‌داری) قابـل اسـتفاده خواهند بود. در شکل ۲ مقطع زمین‌شناسی مسیر تونل ارائه شده است.



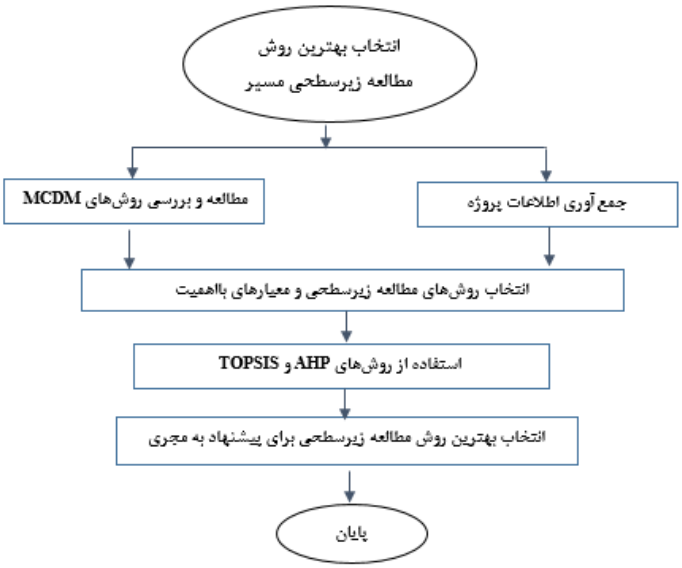
شکل ۲. مقطع زمین‌شناسی مسیر تونل سبزکوه [۲۸]

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر برای انتخاب بهترین روش بررسی زیرسطحی از دو تکنیک AHP و TOPSIS استفاده شده است. روش کار مطابق با نمودار جریانی شکل ۳ است که در ادامه روند آن توصیف شده است.

ابتدا به‌منظور شناسایی و اولویت‌بندی انتخاب و اولویت‌بندی بهترین روش بررسی زیرسطحی، اطلاعات مختلف مربوط به منطقه از جمله: نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و عکس‌های هوایی با مقیاس تقریبی ۱:۵۰۰۰۰ تهیه شده است. سپس با استفاده از این اطلاعات روش‌ها و معیارهای مؤثر بر انتخاب روش بررسی زیرسطحی انتخاب شد. نهایتاً با استفاده از روش AHP و TOPSIS بهترین روش بررسی زیرسطحی در مسیر تونل سبزکوه انتخاب و الویت‌بندی شد.



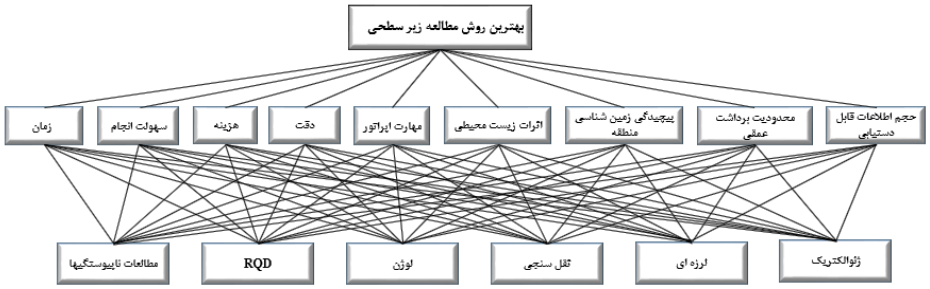
شکل۳. نمودار مراحل انجام پژوهش

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

نتایج و بحث

۱. فرآیند تحلیل سلسه مراتبی

ساختن نمودار سلسله مراتبی: اولین قدم در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی ساختن نمودار سلسله مراتبی مسئله است، که معمولاً به‌ترتیب در آن هدف، معیارها (و در صورت وجود زیر معیارها) و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. نمودار سلسله مراتبی تصمیم، عوامل مقایسه شده و گزینه‌های رقیب ارزیابی شده در تصمیم را نشان می‌دهد. برای این منظور ایجاد یک نمایش گرافیکی از مسئله که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند ضروری است. در شکل ٤ نمودار سلسله مراتبی طرح نشان داده شده است. سطح یک در یک سلسله مراتب همواره هدف را نشان می‌دهد و پایین‌ترین سطح، گزینه‌های تصمیم‌گیری را بیان می‌کند. تبدیل موضوع، یا مسئله بررسی شده به ساختاری سلسله مراتبی، مهم‌ترین قسمت فرآیند تحلیل سلسله مراتبی محسوب می‌شود [۲۹]. در این قسمت با تجزیه مسائل مشکل و پیچیده، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی آن‌ها را به‌صورتی ساده که با ذهن و طبیعت انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل می‌کند. به‌عبارتی دیگر، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مسائل پیچیده را از طریق تجزیه آن به عناصر جزئی که به‌صورت سلسله مراتبی م مرتبط است را حل کرده و ارتباط هدف اصلی مسئله با پایین‌ترین سطح سلسله را به‌صورت ساده‌تری در می‌آورد. در مسئله انتخاب بهترین روش بررسی زیرسطحی، هدف، بهترین روش بررسی زیرسطحی از بین چند گزینه است. معیارها شامل عواملی هستند که باعث ایجاد تفاوت در گزینه‌ها می‌شوند.گزینه‌ها نیز روش بررسی احتمالی هستند.



شکل ٤. نمودار سلسله مراتبی انتخاب بهترین روش بررسی زیرسطحی

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

۲. تعیین ضریب اهمیت معیارها

برای تعیین ضریب اهمیت (وزن) معیارها چند روش وجود دارد که معمول‌ترین آن‌ها، مقایسه زوجی است. در این روش، معیارها دو به دو با یک‌دیگر مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هر معیار نسبت به معیار دیگری مشخص می‌شود (جدول ٤). برای این کار می‌توان از یک روش استاندارد (ارائه شده به‌وسیلهٔ ساعتی) استفاده کرد. روش کار به این ترتیب است که به هر مقایسه زوجی یک عدد ۱ تا ۹ نسبت داده می‌شود. معنی هر عدد در جدول ۱ مشخص شده است. پس از وزن‌دهی باید وزن‌ها را نرمال کرد. به‌منظور نرمالیزه کردن، می‌توان از روش‌های مختلفی استفاده کرد. در این مدل از تقسیم هر وزن بر مجموع وزن‌های همان ستون استفاده شده است [۲۹]. برای سهولت، طبق جداول ۲ و ۳ معیارها و گزینه‌ها به شکل حروف اختصاری تعریف شده‌اند.

جدول ۱. مقایسه ۹ کمیتی ساعتی برای مقایسهٔ زوجی معیارها

مقایسه نسبی شاخص‌ها	امتیاز عددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یک‌سان	۱
ترجیحات بین فاصله‌های بالا	۲ و ٤ و ٦ و..

جدول ۲. تعریف حروف اختصاری برای گزینه‌ها

علامت	تعریف
A	مطالعات ناپیوستگی
B	لوژن
C	RQD
D	ژئوالکتریک
E	ثقل‌سنجی
F	لرزه‌ای

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

جدول ۳. تعریف حروف اختصاری برای معیارها

علامت	تعریف
C1	حجم اطلاعات قابل دست‌یابی
C2	محدودیت برداشت عمقی
C3	پیچیدگی‌های زمین‌شناختی منطقه
C4	اثرات زیست محیطی
C5	مهارت اپراتور
C6	دقت
C7	هزینه
C8	سهولت انجام
C9	زمان

جدول ٤. ماتریس مقایسهٔ زوجی بین معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	وزن
C1	۱	۳/۲	۲	٤	۱/۲	۱/۳	۳/۲	٥	۹/۲	۰/۱۲۳۷
C2	۲/۳	۱	۱	۳	۱/٤	۱/۷	۱	۳	۳	۰/۰۷۹٤
C3	۱/۲	۱	۱	۲	۱/٤	۱/۷	۱	۳	۳	۰/۰۷۸۳
C4	۱/٤	۱/۳	۱/۲	۱	۱/۷	۱/۹	۱/۳	۱	۱	۰/۰۲۸٤
C5	۲	٤	٤	۷	۱	۱/۳	۳	۷	٦	۰/۲۰۸۹
C6	۳	۷	۷	۹	۳	۱	۹	۹	۹	۰/۳٤٦۹
C7	۲/۳	۱	۱	۳	۱/۳	۱/۹	۱	۳	۳	۰/۰۷۹۷
C8	۱/٥	۱/۳	۱/۳	۱	۱/۷	۱/۹	۱/۳	۱	۱	۰/۰۲۷٥
C9	۲/۹	۱/۳	۱/۳	۱	۱/٦	۱/۹	۱/۳	۱	۱	۰/۰۲۷۳

۳. تعیین ضریب اهمیت گزینه‌ها

بعد از تعیین ضرایب اهمیت معیارها، ضرایب اهمیت گزینه‌ها را باید تعیین کرد (جدول ٥ تا ۱۳). در این مرحله ارجحیت هر یک از گزینه‌ها در ارتباط با هریک از معیارها ارزیابی و داوری می‌شود. فرآیند به‌دست آوردن وزن (ضریب اهمیت) گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها شبیه تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو حالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه زوجی معیارها یا گزینه‌ها و براساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی انجام می‌شود و

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

در نتیجه ماتریس مقایسه زوجی معیارها یا گزینه‌ها ثبت می‌شود و از طریق نرمالیزه کردن ردیف‌های این ماتریس‌ها، ضرایب اهمیت مورد نظر به‌دست می‌آید. با این حال باید به تفاوتی عمده میان این دو مقایسه اشاره شود [۱]. مقایسه گزینه‌های مختلف، نسبت به معیارها (اگر زیر معیاری وجود نداشته باشد) انجام می‌شود، در صورتی که مقایسه معیارها با یک‌دیگر، نسبت به هدف پژوهش انجام می‌شود.

جدول ۵. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظر سرعت انجام

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	٦	٥	٤	٥	٥	۰/٤٦٨٣
B	۱/٦	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۰/۰٥٦۹
C	۱/٥	۲	۱	۱/۲	۱	۱	۰/۱۰۲٦
D	۱/٤	۲	۲	۱	۲	۲	۰/۱٦٦٦
E	۱/٥	۲	۱	۱/۲	۱	۱	۰/۱۰۲٦
F	۱/٥	۲	۱	۱/۲	۱	۱	۰/۱۰۲٦

جدول ٦. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظر سهولت انجام

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	۷	٦	٥	٥	٤	۰/٤۳۷۲
B	۱/۷	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱/٤	۰/۰۳۹۸
C	۱/٦	۲	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۰/۰۷۰۲
D	۱/٥	۳	۲	۱	۱/۲	۱/۳	۰/۱۰۹۷
E	۱/٥	۳	۲	۲	۱	۱/۲	۰/۱۳٥۸
E	۱/٤	٤	۳	۳	۲	۱	۰/۲۰٦۹

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

جدول ۷. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظر کم هزینه بودن

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	۷	٦	٥	٥	٦	۰/٤٨
B	۱/۷	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۳	۱/۲	۰/۰٦۰۳
C	۱/٦	۲	۱	۱/۲	۱/۲	۱	۰/۰۸۲٥
D	۱/٥	۳	۲	۱	۱	۲	۰/۱٤۷۲
E	۱/٥	۳	۲	۱	۱	۲	۰/۱٤۷۲
F	۱/٦	۲	۱	۱/۲	۱/۲	۱	۰/۰۸۲٥

جدول ۸. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظر دقت

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	۱/۳	۱/۳	۱/٤	۱/۳	۱/٦	۰/۰٤۲۳
B	۳	۱	۱	۱/۳	۱	۱/٤	۰/۱۱٦۰
C	۳	۱	۱	۱/۳	۱	۱/٤	۰/۱۱٦۰
D	٤	۳	۳	۱	۲	۱/۲	۰/۲۳۳۰
E	۳	۱	۱	۱/۲	۱	۱/٤	۰/۱۱۸۷
F	٦	٤	٤	۲	٤	۱	۰/۳٦۹۳

جدول ۹. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظر مهارت اپراتور

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	۳	۲	٤	٤	٥	۰/۳٥۰۱
B	۱/۳	۱	۱/۲	۲	۲	۳	۰/۱٦۲۷
C	۱/۲	۲	۱	۳	۳	٤	۰/۲٤۸۷
D	۱/٤	۱/۲	۱/۳	۱	۱	۲	۰/۰۹۳٦
E	۱/٤	۱/۲	۱/۳	۱	۱	۲	۰/۰۹۳٦
F	۱/٥	۱/۳	۱/٤	۱/۲	۱/۲	۱	۰/۰٥۱۲

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

جدول ۱۰. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظرعدم اثرات زیست‌محیطی

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	٦	٦	۱	۱	۳	۰/۲۷۲۷
B	۱/٦	۱	۱	۱/٦	۱/٦	۱/۲	۰/۰٤٥٤
C	۱/٦	۱	۱	۱/٦	۱/٦	۱/۲	۰/۰٤٥٤
D	۱	٦	٦	۱	۱	۳	۰/۲۷۲۷
E	۱	٦	٦	۱	۱	۳	۰/۲۷۲۷
F	۱/۳	۲	۲	۱/۳	۱/۳	۱	۰/۰۹۰۹

جدول ۱۱. ماتریس مقایسهٔ زوجی پیچیدگی زمین‌شناختی منطقه

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	۳	۲	۱/۲	۳	۱/۳	۰/۱٤۷۷
B	۱/۳	۱	۱/۲	۱/٥	۱	۱/۷	۰/۰٤۷٦
C	۱/۲	۲	۱	۱/٤	۲	۱/٦	۰/۰۸۸۸
D	۲	٥	٤	۱	٦	۱/۲	۰/۲۷۷۹
E	۱/۳	۱	۱/۲	۱/٦	۱	۱/۷	۰/۰٤۷۱
F	۳	۷	٦	۲	۷	۱	۰/۳۹۰٦

جدول۱۲. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظر عدم محدودیت برداشت

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	۱/۳	۱/۳	۱/٤	۱/٤	۱/٤	۰/۰٤۹۷
B	۳	۱	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۰/۱۳٤۲
C	۳	۱	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۰/۱۳٤۲
D	٤	۲	۲	۱	۱	۱	۰/۲۲۷۲
E	٤	۲	۲	۱	۱	۱	۰/۲۲۷۲
F	٤	۲	۲	۱	۱	۱	۰/۲۲۷۲

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

جدول ۱۳. ماتریس مقایسهٔ زوجی از نظر حجم اطلاعات قابل دست‌یابی

	A	B	C	D	E	F	وزن
A	۱	۳	۳	۱/۳	۱	۱/۳	۰/۱۲۸۸
B	۱/۳	۱	۱	۱/۷	۱/۳	۱/۷	۰/۰٤۳۸
C	۱/۳	۱	۱	۱/۷	۱/۳	۱/۷	۰/۰٤۳۸
D	۳	۷	۷	۱	۳	۱	۰/۳۲۷۲
E	۱	۳	۳	۱/۳	۱	۱/۳	۰/۱۲۸۸
F	۳	۷	۷	۱	۳	۱	۰/۳۲۷۲

٤. تعیین امتیاز نهایی (اولویت) گزینه‌ها

در این مرحله، از تلفیق ضرایب اهمیت مزبور، امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین می‌شود (جدول ١٤).

با توجه به این محاسبات اولویت‌بندی روش‌های بررسی زیرسطحی مسیر تونل سبزکوه بدین‌شرح است:

F>D>A>C>E>B. به‌عبارت دیگر:

لرزه ای> ژئوالکتریک> مطالعات ناپیوستگی> RQD> ثقل سنجی> لوژن

جدول ١٤. محاسبه امتیاز مربوط به هر گزینه

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	جمع امتیاز
وزن	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۲	۰/۳٤	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲	
A	۰/۱۲	۰/۰٤	۰/۱٤	۰/۲۷	۰/۳۵	۰/۰٤	۰/٤۸	۰/٤۳	۰/٤٦	۰/۱٦۷٤
B	۰/۰٤	۰/۱۳	۰/۰٤	۰/۰٤	۰/۱٦	۰/۱۱	۰/۰٦	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۹۲۷
C	۰/۰٤	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰٤	۰/۲٤	۰/۱۱	۰/۰۸	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱۱٤۷
D	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۲۳	۰/۱٤	۰/۱	۰/۱٦	۰/۱۸۹۳
E	۰/۱۲	۰/۲۲	۰/۰٤	۰/۲۷	۰/۰۹	۰/۱۲	۰/۱٤	۰/۱۳	۰/۱	۰/۱۱۱۲
F	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۳۹	۰/۰۹	۰/۰۵	۰/۳٦	۰/۰۸	۰/۲	۰/۱	۰/۲۲٦۹

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

۵. بررسی سازگاری در قضاوت

یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکانی برای سازگاری در ارزیابی‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارهاست. سازوکاری که ساعتی برای بررسی سازگاری در ارزیابی‌ها در نظر گرفته است، محاسبه ضریبی به نام ضریب ناسازگاری (IR) است. این معیار باید کم‌تر از ۰/۱ باشد.

در جدول ۱۵ مقادیر λ_{max} ، شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مورد نظر آمده است. ملاحظه می‌شود که شاخص ناسازگاری و نرخ ناسازگاری برای همه ماتریس‌ها کم‌تر از ۰/۱ است که این دلالت بر ارزیابی منطقی ارائه شده در خصوص مقایسهٔ زوجی پارامترها و گزینه‌ها دارد (جدول ۱۵).

جدول ۱۵. محاسبه مقادیر λmax، شاخص ناسازگاری، شاخص ناسازگاری تصادفی و نرخ ناسازگاری

	وزن	λ_{max}	شاخص ناسازگاری	شاخص ناسازگاری تصادفی	نرخ ناسازگاری
هدف	۱	۹/۲۸	۰/۰۳	۱/٤٥	۰/۰۲
سرعت انجام	۰/۰۲	٦/۰۹	۰/۰۱	۱/۲٤	۰/۰۰۸
سهولت انجام	۰/۰۲	٦/۳۲	۰/۰٥	۱/۲٤	۰/۰٤
کم هزینه بودن	۰/۰۷	٦/۱۱	۰/۰۱	۱/۲٤	۰/۰۰۸
دقت	۰/۳٤	٦/۱۱	۰/۰۱	۱/۲٤	۰/۰۰۸
مهارت اپراتور	۰/۲	٦/۰٦	۰/۰۱	۱/۲٤	۰/۰۰۸
عدم اثرات زیست محیطی	۰/۰۲	٦/۱۳	۰/۰۲	۱/۲٤	۰/۰۱
پیچیدگی های زمین شناسی	۰/۰۷	٦/۱۱	۰/۰۱	۱/۲٤	۰/۰۰۸
عدم محدودیت برداشت عمقی	۰/۰۷	٦/۰۷	۰/۰۱	۱/۲٤	۰/۰۰۸
حجم اطلاعات قابل دستیابی	۰/۱۲	٦/۰۲	۰/۰۰٤	۱/۲٤	۰/۰۰۳

نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی نیز برابر است با:

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

$$I.R.=\frac{I.I}{R.I.I}=\frac{0.03\times1+0.01\times0.02+.05\times0.02+0.01\times0.07+0.01\times0.34+0.01\times0.2+0.02\times0.02+0.02\times0.02+0.004\times0.12}{1.45\times1+1.24\times0.02+1.24\times0.02+1.24\times0.07+1.24\times0.34+1.24\times0.2+1.24\times0.02+1.24\times0.02+1.24\times0.07+1.24\times0.07+1.24\times0.12}=0.015<0.1$$

نرخ ناسازگاری سلسله مراتبی (۰/۰۱۵) نیز کم‌تر از ۰/۱ است از این رو، ارزیابی‌ها منطقی بوده‌اند [۱].

اولویت‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش شباهت به گزینهٔ ایده‌آل

۱. حل مسئله به‌روش شباهت به گزینهٔ ایده‌آل (TOPSIS)

با توجه به معیارهای مذکور و روش‌های احتمالی بررسی زیرسطحی مسیر تونل سبزکوه و ارزیابی روش‌ها برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم به‌صورت جدول ۱۶ تشکیل می‌شود.

جدول ۱۶. ماتریس تصمیم گزینه‌ها نسبت به معیارها

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A	۸/۶۶	۲/۴۱	۹/۸۳	۱۸	۱۹	۲/۴۱	۳۰	۲۸	۲۶
B	۲/۹۵	۶/۵	۳/۱۷	۳	۸/۸۳	۶/۶	۳/۷۷	۲/۵۵	۳/۱۶
C	۲/۹۵	۶/۵	۵/۹۱	۳	۱۳/۵	۶/۶	۵/۱۶	۴/۵	۵/۷
D	۲۲	۱۱	۱۸/۵	۱۸	۵/۰۸	۱۳/۵	۹/۲	۷/۰۳	۹/۲۵
E	۸/۶۶	۱۱	۳/۱۴	۱۸	۵/۰۸	۶/۷۵	۹/۲	۸/۷	۵/۷
F	۲۲	۱۱	۲۶	۶	۲/۷۸	۲۱	۵/۱۶	۱۳/۲۵	۵/۷

معیارهای در نظر گرفته شده باید بی‌مقیاس شوند. روش‌های مختلفی برای بی‌مقیاس کردن وجود دارد، اما در روش شباهت به گزینهٔ ایده‌آل معمولاً از رابطهٔ (۱) (روش نورم) استفاده می‌شود (جدول ۱۷):

$$r_{ij}=\frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m}x_{ij}^2}} \qquad (۱)$$

با توجه به ضرایب اهمیت معیارها ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار به‌صورت جدول ۱۸ است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن دار از ضرب ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده در بردار وزن معیارها به‌دست می‌آید (رابطهٔ ۲):

$$v_{ij}= w_j r_{ij} \qquad j= 1,\ldots,n; i= 1,\ldots,m \qquad (۲)$$

۲. *محاسبه* فاصله از حل ایده‌آل و ضدایده‌آل

اگر حل ایده‌آل با A^* و ضد ایده‌آل با A^- نشان داده شود (رابطهٔ ۳ و ٤) در این صورت:

جدول ۱۷. ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده با استفاده از نورم

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
A	۰/۲۵۷	۰/۱۱۳	۰/۲۸۷	۰/٤۹٦	۰/۷۲۸	۰/۰۸۷	۰/۸۸۹	۰/۸۳۹	۰/۸۸۱
B	۰/۰۸۷	۰/۲۷۲	۰/۰۹۲	۰/۰۹۳	۰/۳۳۸	۰/۲۳۹	۰/۱۱۱	۰/۰۷٦	۰/۱۰۷
C	۰/۰۸۷	۰/۲۷۲	۰/۱۷۲	۰/۰۹۳	۰/۵۱۷	۰/۲۳۹	۰/۱۵۳	۰/۱۳٤	۰/۱۹۳
D	۰/٦۵۲	۰/٤٦۱	۰/۵٤۰	۰/۵٦۱	۰/۱۹٤	۰/٤۸۹	۰/۲۷۲	۰/۲۱	۰/۳۱۳
E	۰/۲۵۷	۰/٤٦۱	۰/۰۹۱	۰/۵٦۱	۰/۱۹٤	۰/۲٤٤	۰/۲۷۲	۰/۲٦	۰/۱۹۳
F	۰/٦۵۲	۰/٤٦۱	۰/۷٦	۰/۱۸۷	۰/۱۰٦	۰/۷٦	۰/۱۵۳	۰/۳۹۷	۰/۱۹۳

جدول ۱۸. ماتریس تصمیم بی‌مقیاس شده وزن‌دار

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
وزن	۰/۱۲	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۲	۰/۳٤	۰/۰۷	۰/۰۲	۰/۰۲
A	۰/۰۳	۰/۰۰۷	۰/۰۲	۰/۰۰۹	۰/۱٤۵	۰/۰۲۹	۰/۰٦۲	۰/۰۱٦	۰/۰۱۷
B	۰/۰۱	۰/۰۱۹	۰/۰۰٦	۰/۰۰۱	۰/۰٦۷	۰/۰۸۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
C	۰/۰۱	۰/۰۱۹	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۱۰۳	۰/۰۸۱	۰/۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۳
D	۰/۰۷۸	۰/۰۳۲	۰/۰۳۷	۰/۰۱۱	۰/۰۳۸	۰/۱٦٦	۰/۰۱۹	۰/۰۰٤	۰/۰۰٦
E	۰/۰۳	۰/۰۳۲	۰/۰۰٦	۰/۰۱۱	۰/۰۳۸	۰/۰۸۲	۰/۰۱۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۳
F	۰/۰۷۸	۰/۰۳۲	۰/۰۵۳	۰/۰۰۳	۰/۰۲۱	۰/۲۵۸	۰/۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۰۳

$$A^*=\{v_1^*,v_2^*,\ldots,v_j^*,\ldots,v_n^*\} \qquad (۳)$$

$$A^-=\{v_1^-,v_2^-,\ldots,v_j^-,\ldots,v_n^-\} \qquad (٤)$$

که v_j^* بهترین مقدار معیار j از بین تمام گزینه‌ها و v_j^- بدترین مقدار معیار j از بین تمام گزینه‌ها است. گزینه‌هایی که در A^* و A^- قرار می‌گیرند، به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ گزینه‌های کاملاً بهتر و کاملاً بدتر هستند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

در این مرحله برای هر گزینه فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل به‌ترتیب از روابط (۵) و (٦) محاسبه می‌شوند:

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^*)^2} \quad (۵)$$

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n}(V_{ij} - V_j^-)^2} \quad (٦)$$

۳. محاسبه شاخص شباهت

در آخرین مرحله شاخص شباهت از رابطهٔ (۷) محاسبه می‌شود:

$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^* + S_i^-} \quad (۷)$$

مقدار شاخص شباهت بین صفر و یک تغییر می‌کند. هر چه گزینهٔ مورد نظر به ایده‌آل مشابه‌تر باشد، مقدار شاخص شباهت آن، به یک نزدیک‌تر است. کاملاً روشن است که اگرگزینه‌ای بر گزینه ایده‌آل منطبق باشد، آن‌گاه فاصله آن تا حل ایده‌آل مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی یک خواهد بود و در صورتی که گزینه‌ای بر گزینه ضدایده‌آل منطبق باشد، آن‌گاه فاصله آن تا حل ضدایده‌آل مساوی صفر و شاخص شباهت آن مساوی صفر است از این رو، برای رتبه‌بندی گزینه‌ها بر اساس مقدار شاخص شباهت، گزینه‌ای که دارای بیش‌ترین شاخص شباهت است، در رتبهٔ اول و گزینه‌ای که دارای کم‌ترین شاخص شباهت است، در رتبهٔ آخر قرار می‌گیرد.

حل ایده‌آل (A^*) و ضد ایده‌آل (A^-) برابر است با:

حل ایده‌آل (A^*) :

A^*={۰/۰۱۷، ۰/۰۱٦، ۰/۰٦۲، ۰/۲۵۸، ۰/۱٤۵، ۰/۰۱۱، ۰/۰۵۳، ۰/۰۳۲، ۰/۰۷۸}

حل ضد ایده‌آل (A^-):

A^-={ ۰/۰۱، ۰/۰۰۷، ۰/۰۰٦، ۰/۰۰۱، ۰/۰۲۱، ۰/۰۲، ۰/۰۰۷، ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۲}

برای هریک از روش‌های انتخابی، فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل و شاخص شباهت محاسبه و در جدول ۱۹ درج شده است

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

جدول ۱۹. محاسبهٔ فاصله از حل ایده‌آل و فاصله از حل ضد ایده‌آل و شاخص شباهت برای روش‌های انتخابی

	فاصله از حل ضد ایده‌آل	فاصله از حل ایده‌آل	شاخص شباهت
A	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۳۶۱
B	۰/۷۷	۰/۲۱	۰/۲۶۸
C	۰/۰۹	۰/۳۳	۰/۲۱٤
D	۰/۱٦	۰/۱۵	۰/۵۱٦
E	۰/۰۷۳	۰/۲۲	۰/۲٤۹
F	۰/۲۵	۰/۱۳	۰/٦۵۷

ملاحظه می‌شود ترتیب اولویت روش‌های بررسی زیرسطحی مسیر تونل به‌صورت F>D>A>B>E>C و به‌عبارتی به‌صورت لرزه‌ای> ژئوالکتریک>بررسی‌های ناپیوستگی> لوژن> ثقل‌سنجی> RQD است.

نتیجه‌گیری

اولویت‌بندی و انتخاب بهترین روش بررسی زیرسطحی در پروژه‌های بزرگ مسئله مهمی است که در آن ارتباط بین معیارها پیچیده است و معمولاً هر معیار بر دیگر معیارها تأثیر می‌گذارد. بنابراین ساختن مدل و یافتن گزینهٔ مناسب با استفاده از معیارهای مستقل آسان نیست. در این پژوهش به اولویت‌بندی روش‌های بررسی و پیشنهاد بهترین روش برای مناطق صعب‌العبور مسیرتونل سبزکوه با استفاده از تلفیق دو روش قدرتمند از مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداخته شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحلیل سلسله مراتبی، در سیستم AHP و TOPSIS، روش لرزه‌ای بهترین گزینه برای بررسی زیرسطحی مسیر تونل سبزکوه انتخاب شدند. براساس نتایج حاصل از این پژوهش، در سیستم TOPSIS روش RQD و در سیستم AHP روش لوژن به‌عنوان بدترین گزینه برای بررسی زیرسطحی مسیر تونل سبزکوه معرفی شدند.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از سازمان آب منطقه‌ای شهرکرد به‌دلیل حمایت‌های مالی و در اختیار قرار دادن بخشی از داده‌های این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

منابع

1. Saaty T. L., "Fundamentals of decision making and priority theory", 2nd Ed., PA: RWS Pub., Pittsburgh (2000).
2. Omkarprasad V., Sushil K., "Analytic hierarchy process: An overview of applications", European Journal of Operational Research 169 (2004) 1-29.
3. Saaty T. L., "The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York (1980).
4. Chen C., Liu Y., "A methodology for evaluation and classification of rock mass quality on tunnel engineering", Tunnelling and Underground Space Technology 22 (4) (2007) 377-387.
5. Liu Y., Chen C., "A new approach for application of rock mass classification on rock slope stability assessment", Engineering Geology 89(1-2) (2007) 129-143.
6. Zare Naghadehi M., Mikaeil R., Ataei M., "The application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) approach to selection of optimum underground mining method for Jajarm Bauxite Mine, Iran", Expert Systems with Application 36 (2009) 8218-8226.
7. Mikaeil R., Zare Naghadehi M., Sereshki F., "Multifactorial Fuzzy Approach to the Penetrability Classification of TBM in Hard Rock Conditions", Tunnelling and Underground Space Technology 24 (2009) 500-505.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

8. Mikaeil R., Zare Naghadehi M., Ataei M., KhaloKakaie R., "A Decision Support System Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (AHP) and TOPSIS Approaches for Selection of the Optimum Underground Mining Method", Archives of Mining Sciences 54 (2) (2009) 341-368.
9. Azadeh A., Osanloo M., Ataei M., "A new approach to mining method selection based on modifying the Nicholas technique", Applied Soft Computing 10 (2010) 1040-1061.
10. Mikaeil R., Ataei M., Yousefi R., "Application of a fuzzy analytical hierarchy process to the prediction of vibrat ion during rock sawing", Mining Science and Technology (China) 21 (2011.) 611-619.
11. Azadeh A., Nazari-Shirkouhi S., Hatami-Shirkouhi L., Ansarinejad A., "A unique fuzzy multi-criteria decision making: computer simulation approach for productive operators' assignment in cellular manufacturing systems with uncertainty and vagueness", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology 56 (2011.) 329-343.
12. Badri A., Nadeau S., Gbodossou A., "A new practical approach to risk management for underground mining project in Quebec", J. Loss Prev. Process Ind. 26 (2013) 1145-1158.
13. Meng Y., Tang D., Xu H., Li C., Li L., Meng S., "Geological controls and coalbed methane production potential evaluation: A case study in Liulin area, eastern Ordos Basin, China", Journal of Natural Gas Science and Engineering 21 (2014) 95-111.
14. Kursunoglu N., Onder M., "Selection of an appropriate fan for an underground coal mine using the Analytic Hierarchy Process", Tunnelling and Underground Space Technology 48 (2015) 101-109.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

15. Ebrahimi M., Abdolshah M., Abdolshah S., "Developing a computer vision method based on AHP and feature ranking for ores type detection", Applied Soft Computing 49 (2016) 179-188.
16. Wang Q., Wang H., Qi Z., "An application of nonlinear fuzzy analytic hierarchy process in safety evaluation of coal mine", Safety Science 86 (2016) 78-87.
17. Kant R., Sen P., Paul P. S., Kher A. A., "A Review of Approaches used for the Selection of Optimum Stoping Method in Hard Rock Underground Mine", International Journal of Applied Engineering Research 11 (11) (2016) 7483-7490.
18. Gligoric Z., Beljic C., Simeunovic V., "Shaft location selection at deep multiple orebody deposit by using fuzzy TOPSIS method and network optimization", Expert Systems with Applications 37 (2) (2010) 1408-1418.
19. Golestanifar M., Goshtasbi K., Jafarian M., Adnani S., "A multi-dimensional approach to the assessment of tunnel excavation methods", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 48 (7) (2011) 1077-1085.
20. Pazand K., Hezarkhani A., Ataei M., "Using TOPSIS approaches for predictive porphyry Cu potential mapping: A case study in Ahar-Arasbaran area (NW, Iran)", Computers & Geosciences 49 (2012) 62-71.
21. Yazdani-Chamzini A., Haji Yakhchali S., "Tunnel Boring Machine (TBM) selection using fuzzy multicriteria decision making methods", Tunnelling and Underground Space Technology 30 (2012) 194-204.
22. Mikaeil M., Ozcelik Y., Yousefi R., Ataei M., Hosseini S. M., "Ranking the sawability of ornamental stone using Fuzzy Delphi and multi-criteria

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]

decision-making techniques", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 58 (2013) 118-126.

23. Mahdevari S., Shahriar K., Esfahanipour A., "Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS", Science of the Total Environment 488-489 (2014) 85-99.
24. Kusi-Sarpong S., Bai C., Sarkis J., Wang X., "Green supply chain practices evaluation in the mining industry using a joint rough sets and fuzzy TOPSIS methodology", Resources Policy 46(1) (2015) 86-100.
25. Abedi M., Norouzi G. H., "A general framework of TOPSIS method for integration of airborne geophysics, satellite imagery, geochemical and geological data", International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 46 (2016) 31-44.

۲٦. شرکت مهندسین مشاور ایمن سازان، "گزارش مطالعات زمین‌شناسی عمومی پروژه سامانه انتقال آب سبزکوه به چغاخور" (۱۳۸۸).

27. Hashemi M., Moghaddas Sh., Ajalloeian R., "Application of Rock Mass Characterization for Determining the Mechanical Properties of Rock Mass: a Comparative Study", Rock Mechanics and Rock Engineering, 43 (2010) 305-320.
28. Stocklin J., "Structural history and tectonics of Iran: A review", AAPG Bulletin 52 (l968) 1229-1258.
29. Çimren E. B., Çatay E., Budak N., "Development of a machine tool selection system using AHP", International Journal of Advanced Manufacturing Technology 35 (2007) 363-376.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-01]
[DOR: 20.1001.1.22286837.1397.12.2.7.3]
[DOI: 10.18869/acadpub.jeg.12.2.293]