بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر آزادراه با استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی و GIS (مطالعه موردی: آزادراه قزوین – رشت منطقه رودبار)

مجتبی کمانی [۱]، علی ارومیه‌ای [۲*] و محمد جورابچی [۳]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۲] استاد، گروه زمین‌شناسی مهندسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
[۳] کارشناسی ارشد، مدیر دفتر بررسی‌های فنی و تصویب طرح‌ها، وزارت راه و شهرسازی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۲

چکیده

راه‌ها از جمله طرح‌های مهندسی خطی به شمار می‌آیند که از واحدها و شرایط گوناگون زمین‌شناسی عبور کرده، بنابراین ضرورت دارد که مطالعات زمین‌شناسی مهندسی در طول مسیر راه انجام گیرد. این مطالعات از مرحله انتخاب مسیر راه تا پایان ساخت و بهره‌برداری ادامه دارد. در مرحله انتخاب مسیر راه با حجم زیاد داده‌ها و گوناگونی شرایط مسیر روبه‌رو بوده که انجام این کار به صورت دستی، وقت‌گیر و بدون دقت کافی می‌شود. در این نوشتار به بررسی وضعیت زمین‌شناسی مهندسی مسیر آزادراه قزوین– رشت در محدوده شهرستان رودبار پرداخته شده است. در این راستا پس از شناخت عوامل زمین‌شناسی مهندسی مؤثر در انتخاب مسیر و ساخت آزادراه، با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و نرم‌افزار Expert Choice به این عوامل با توجه به مناسب بودن آنها برای ساخت آزادراه، وزن‌دهی شده و در ادامه لایه‌های وزن‌دار را در نرم‌افزار GIS همپوشانی کرده و نقشه نهایی تهیه شده است. نقشه نهایی نشان‌دهنده کیفیت شرایط زمین‌شناسی مهندسی مسیر راه است، که در دو حالت سطحی و زیر سطحی (تونل) و با خطای کم، تهیه شده است. از آنجا که به‌کارگیری این روش برای انجام بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر راه روش جدیدی است، نیاز است که با بررسی‌های بیشتر و انجام کارهای مشابه در نقاط دیگر، آن را اصلاح و کامل کرد. از طرف دیگر از این مدل می‌توان برای دیگر بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی با توجه به قابلیت انعطاف‌پذیری بالای مدل، استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها: زمین‌شناسی مهندسی، آزادراه قزوین– رشت، تحلیل سلسله مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

***نویسنده مسئول:** علی ارومیه‌ای
E-mail: uromeiea@modares.ac.ir

۱– پیش‌نوشتار

راه‌ها را می‌توان زیرساخت‌های حیاتی یک کشور و نشان‌دهنده توسعه و پیشرفت کشور دانست. راه از جمله سازه‌های مهندسی خطی به‌شمار می‌آید که از واحدها و شرایط زمین‌شناسی مختلفی عبور کرده، بنابراین ضرورت دارد که مطالعات زمین‌شناسی مهندسی در طول مسیر راه انجام گیرد. نقش زمین‌شناسان مهندس در چنین پروژه‌هایی با توجه به موضوعات و مسئولیت‌های خود که باید با طیف وسیعی از مسائل روبه‌رو شوند، حیاتی است (Baynes et al., 2005).

عمدتاً مهندسان طراح با استفاده از تجربه‌های مربوط به راه‌های گذشته و نیازهای کارفرما و نقشه عمومی توپوگرافی، گزینه‌هایی را به عنوان مسیرهای اولیه در نظر می‌گیرند و پس از بررسی آنها و انجام سعی و خطا این گزینه‌ها را بهبود می‌بخشند و سپس با توجه به محدودیت‌های طرح، نقاط اجباری و دیگر مسائل مطرح‌شده در پروژه بر پایه قضاوت مهندسی و ارزیابی اقتصادی همان گزینه‌ها، مسیری را پیشنهاد کرده و آن را نهایی می‌کنند (OECD, 1973). با توجه به اینکه کیفیت این مسیرها عمدتاً وابستگی زیادی به تجربه طراح دارد، بنابراین نمی‌توان این روش را دقیق تلقی کرد. از طرف دیگر حجم زیاد داده‌ها و گوناگونی شرایط مسیر، انجام این کار را به صورت دستی معمولاً وقت‌گیر و بدون دقت کافی می‌کند. با توجه به حجم وسیع داده‌ها و تفاوت اهمیت هرکدام، نیاز است که از روشی مناسب تصمیم‌گیری استفاده شود. استفاده از روش مناسب تصمیم‌گیری و نرم‌افزار GIS، باعث می‌شود که از بیان خسته‌کننده پرهیز شود و داده‌ها از حالت توصیفی به کمی و نقشه درآیند. همچنین باعث شده که همه اطلاعات بر اساس اهمیت هر یک و هدف مورد نظر یکجا آورده شود تا از پیچیدگی‌ها و سردرگمی‌ها کم کرد.

در انجام مطالعات و بررسی‌های زمین‌شناسی در پروژه‌های مهندسی دو نوع نگرش سنتی و زمین‌شناسی مهندسی وجود دارد (شکل ۱). اگرچه در رویکرد زمین‌شناسی مهندسی کار بیشتری انجام می‌گیرد ولی هزینه‌های رویکرد سنتی به دلیل انجام بیشتر بررسی‌ها به صورت زیرسطحی، گران‌تر است (Baynes et al., 2005).

مطالعات زمین‌شناسی مهندسی که پیش‌تر با صرف هزینه‌های زیاد، حفر گمانه، انجام آزمایش‌های متعدد (مطالعات ژئوتکنیک) همراه بوده است، امروزه بیشتر به سمت انجام مطالعات دقیق زمین‌شناسی مهندسی، آزمایش‌های برجای کم هزینه و برداشت‌های سطحی سوق پیدا کرده است (Fookes et al., 2000 & 2001). البته مطالعات زمین‌شناسی مهندسی با توجه به اهمیت و ارزش اقتصادی پروژه، طراحی می‌شود که در نگرش زمین‌شناسی مهندسی سعی به کاهش هزینه‌ها با کاهش گمانه‌های اضافه، دوری از مخاطرات و غیره می‌شود.

اگر در پروژه‌ای رویکرد سنتی حاکم باشد، در نتیجه در موقع ساخت و با مواجه شدن با مشکلات زمین‌شناسی مهندسی مجبور به صرف هزینه‌های گزاف و یا رها کردن پروژه می‌شوند. برای نمونه بارها با مسدود شدن جاده‌ها مانند جاده چالوس توسط زمین‌لغزش‌ها، روبه‌رو شده‌اید (بلورچی و همکاران، ۱۳۸۵؛ قاضی‌پور و همکاران، ۱۳۸۶؛ جعفرخالو و همکاران، ۱۳۸۹). این امر مستلزم صرف هزینه‌های مادی (هزینه پاک‌سازی جاده)، جانی (تصادفات) و حتی معنوی (تلف شدن وقت افراد) است. در صورتی که در رویکردهای زمین‌شناسی مهندسی با انجام بررسی‌های مقدماتی دقیق‌تر افزون بر صرف هزینه‌های کمتر، از بسیاری مشکلات احتمالی جلوگیری به عمل می‌آید. نمونه‌ای از این نوع رویکرد را می‌توان، مطالعات Stuart & Reess (2012) دانست. آنها از طرف سازمان بررسی‌های زمین‌شناسی پنسیلوانیا مأمور به تهیه نقشه پتانسیل مخاطرات زمین‌شناسی برای مسیر پیشنهادی پروژه ساخت آزادراه در پنسیلوانیا شدند. یکی دیگر از این نمونه‌ها مطالعات Georgiadis et al. (2007) است. آنها نقشه زمین‌شناسی منطقه Veria-Kozani را با هدف کمک به ساختن راه در منطقه، تهیه کرده‌اند.

در این نوشتار سعی شده با رویکرد زمین‌شناسی مهندسی و پیش از ساخت آزادراه در منطقه رودبار، به انجام بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر پرداخته شود.

Archive of SID
www.SID.ir

۲- معرفی طرح و منطقه

منطقه مورد مطالعه آن بخشی از آزادراه قزوین- رشت را شامل می‌شود که هنوز ساخته نشده است و از شهر منجیل آغاز شده و تا پایان شهر رودبار ادامه دارد (شکل ۲). این منطقه در جنوب استان گیلان، بخش مرکزی شهرستان رودبار و ′۲۳ °۴۹ تا ″۳۰ ′۲۶ °۴۹ طول جغرافیایی و ′۴۵ °۳۶ تا ″۳۰ ′۴۹ °۳۶ عرض‌های جغرافیایی قرار گرفته است. آب و هوای منطقه از نوع آب و هوای مدیترانه‌ای است. رویش درختان زیتون در منطقه شاهدی بر این نوع آب و هوا است. دره سفیدرود در میانه منطقه قرار گرفته است. دره سفیدرود در رشته‌کوه‌های البرز گذرگاه باریکی است که در آن شارش هوا با سرعت و انرژی قابل ملاحظه‌ای جریان می‌یابد و باعث وزش بادهای گپ شدیدی در شهرهای واقع در مسیر دره همچون رودبار و منجیل می‌شود (علوی و همکاران، ۱۳۸۲). آزادراه قزوین- رشت به طول ۱۳۷/۴ کیلومتر، یکی از محورهای اساسی و حیاتی کشور است که مناطق حاشیه دریای خزر را به دامنه جنوبی البرز و شبکه آزادراه‌های کشور ارتباط می‌دهد. هرچند آزادراه در پایان سال ۸۸ به بهره‌برداری رسیده ولی هنوز در محدوده شهرستان رودبار آزادراه ساخته نشده و گزینه‌های متعددی برای انتخاب مسیر به طول حدود ۱۰ کیلومتر تحت بررسی قرار دارد. تعداد هشت گزینه برای عبور آزادراه از منطقه رودبار توسط مهندسین مشاور پارس (۱۳۹۰) پیشنهاد شده که دو گزینه شماره ۶ و ۷ (عبور از رودبار خاوری و عبور از رودبار باختری) برای مطالعات بیشتر انتخاب شده است (شکل ۲). در این پژوهش به بررسی این دو گزینه در دو حالت سطحی و زیرسطحی پرداخته شده است.

منطقه از نظر خطرات زمین‌شناسی دارای پتانسیل بالایی است. زلزله‌خیزی (Tatar & Hatzfeld, 2008)، زون‌های خردشده و گسلی، سیل‌خیزی (انتظام سلطانی و همکاران، ۱۳۹۱)، وجود سفره‌های تحت فشار و زهکشی اسیدی، پتانسیل تورمی سنگ‌ها و زمین‌لغزش (غیومیان و همکاران، ۱۳۸۱؛ فاطمی‌عقدا و همکاران، ۱۳۸۴؛ امام‌جمعه و همکاران، ۱۳۸۶؛ Rowshanbakht & Tavakolizadeh, 2012; Shoaei & Sassa, 1993) از مهم‌ترین خطرات منطقه است که انتخاب مسیر و ساخت آزادراه را پیچیده و وقت‌گیر کرده است.

۲-۱. زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد بررسی از نظر تقسیم‌بندی‌های زمین‌شناسی درویش‌زاده (۱۳۷۰) در بخش البرز مرکزی قرار می‌گیرد که دربرگیرنده نهشته‌های سنوزوییک شامل گلسنگ و کنگلومرای نئوژن (معادل سازند هزاردره) و توف، بازالت، آندزیت و آهک‌توفی پالئوژن (سازند کرج) است. این مجموعه به وسیله گسل‌های رانده، در مجاورت نهشته‌های مزوزوییک که بیشتر شامل سری شمشک و همچنین آهک، دولومیت با رخساره آتشفشانی کرتاسه و رسوبات دریایی سازند الیکا قرار گرفته است (اشتوکلین و افتخارنژاد، ۱۳۴۷؛ نظری و سلامتی، ۱۳۷۶). گسل‌های لرزه‌خیزی مانند گسل منجیل و گسل بکلر-کباته- زردگلی در منطقه وجود دارند (Tatar & Hatzfeld, 2008). منطقه از نظر زمین‌ساختی فعال است. رخداد زلزله ۱۳۶۹ رودبار نشانگر این موضوع است (Sarkar et al., 2003).

۳- روش پژوهش

روش کار در این پژوهش شامل چهار مرحله اصلی زیر است:

۱- شناسایی عوامل زمین‌شناسی مهندسی مؤثر بر انتخاب مسیر و ساخت آزادراه در منطقه و تهیه نقشه‌های آنها؛ ۲- ساخت مدل مناسب تحلیل سلسله مراتبی و تعیین اولویت‌ها و وزندهی به معیارها و زیر معیارها؛ ۳- محاسبه وزن‌های هر یک از معیارها و زیرمعیارها و تهیه نقشه‌های وزنی مرتبط و ۴- تهیه نقشه نهایی.

به عبارت دیگر پس از انجام مطالعات دفتری و صحرایی، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice تحلیل سلسله مراتبی انجام شده و وزن‌های به‌دست آمده از این روش را وارد نرم‌افزار Arc-GIS کرده و نقشه نهایی تهیه شده است (شکل ۳).

۴- شرح و بحث

۴-۱. شناسایی عوامل مؤثر و تهیه نقشه‌های آنها

در این مرحله به مطالعات و بررسی‌های دفتری و صحرایی پرداخته شده است. برای شناسایی عوامل مؤثر در انتخاب مسیر و ساخت آزادراه در منطقه سعی شده است به تمام جنبه‌های زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌شناسی، مخاطرات زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی توجه کافی شود. با بررسی نقشه‌های موجود (نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی، نقشه ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی)، عکس‌های هوایی (۱:۴۰۰۰۰)، تصاویر ماهواره‌ای (ماهواره لندست و Google Earth) و انجام بررسی‌های صحرایی شامل برداشت‌های زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی طبق استانداردهای موجود؛ نقشه‌های زیر تهیه شده‌اند (شکل ۴). نقشه‌های تهیه شده شامل سنگ‌شناسی، شاخص کیفی سنگ و تعداد دسته درزه (Deere, 1968; Palmstrom, 1982)، طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ RMR (Bieniawski, 1989)، فاصله از گسل، درجه هوازدگی و دگرسانی واحدها (Hamrol, 1961)، برآورد مقاومت فشاری (ISRM, 1978)، زمین‌لغزش، طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب و کاربری زمین است. همه لایه‌ها در محیط GIS رقومی شده و بر طبق استانداردهای موجود و یا ویژگی‌های منطقه به زیرلایه‌های مناسب تقسیم شده است (شکل ۴). نقشه‌های نام‌برده، در مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه شده‌اند.

از برخی از این لایه‌ها مانند لایه طبقات ارتفاعی، به دلیل تأثیر غیر مستقیم آنها استفاده شده است. نقش این لایه در امتیازدهی برای مسیر سطحی آزادراه بیشتر به صورت افزایش کمان‌های طولی و عرضی مسیر و در نتیجه افزایش مسیر، افزایش احتمال حجم عملیات خاکی، تأثیر بیشتر وزش باد در ارتفاع بیشتر و غیره است. نقش این لایه در امتیازدهی برای مسیرهای زیرسطحی بیشتر ناشی از تأثیر آن بر روی ستبرای روباره و ژرفای قرارگیری تونل است.

۴-۲. ساخت مدل مناسب تحلیل سلسله مراتبی، انجام مقایسه زوجی و محاسبه بردار وزن معیارها و زیرمعیارها

با توجه به مطالب بیان شده و حجم زیاد داده، نیاز است که از روش مناسب تصمیم‌گیری استفاده شود. هنگامی که چندین عامل برای تصمیم‌گیری وجود دارد، یکی از کارآمدترین روش‌های تصمیم‌گیری فرایند تحلیل سلسله مراتبی است که اولین بار توسط Saaty (1980) مطرح شد. استفاده زیاد از این روش در مسائل زمین‌شناسی مهندسی از جمله پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش (امیراحمدی و همکاران، ۱۳۸۹؛ فیض‌نیا و همکاران،۱۳۸۳)، طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ (Chen & Liu, 2007)، پهنه‌بندی خطر ورود آب به درون تونل (Zarei et al., 2013)، مکان‌یابی لندفیل در شمال ترکیه (Hakan et al., 2013) و غیره، کارایی این مدل را در مسائل زمین‌شناسی مهندسی نشان می‌دهد. این روش یکی از جامع‌ترین الگوریتم‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا امکان فرموله کردن مسائل پیچیده طبیعی به صورت سلسله مراتبی را فراهم کرده و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مسئله را دارد (Saaty, 1980 & 1986 & 2000).

- **تدوین ساختار سلسله مراتبی:** اولین مرحله در فرایند تحلیل سلسله مراتبی تدوین ساختار است. در این بخش با تجزیه و تحلیل مسائل پیچیده، می‌توان آنها را به شکلی ساده که با طبیعت و ذهن انسان مطابقت داشته باشد، تبدیل کرد (Cimren et al., 2007). ساختار سلسله مراتبی یک نمایش گرافیکی از مسئله پیچیده است که در رأس آن هدف کلی و در سطوح بعدی معیارها، زیرمعیارها و

Archive of SID
www.SID.ir

گزینه‌ها قرار دارند. ساختار سلسله مراتبی به طور کلی به دو صورت ساختار ۱ (هدف، معیار، زیرمعیار، گزینه) و ساختار ۲ (هدف، معیار، عامل، زیرعامل، گزینه) مطرح می‌شود.

در این پژوهش برای تدوین ساختار سلسله مراتبی پهنه‌بندی ژئوتکنیکی مسیر آزادراه از ساختار اول استفاده شده است (شکل ۵). این ساختار از سطح یک یا هدف شروع شده و به سمت سطوح پایین‌تر سلسله مراتبی یعنی معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها توسعه می‌یابد. در سطح یک مدل، هدف که تعیین نقاط مناسب (مسیر مناسب) برای ساخت آزادراه است، وارد می‌شود. با توجه به این نکته که آزادراه در منطقه به دو صورت سطحی و زیر سطحی (تونل) پیشنهاد شده است، دو ساختار جداگانه که تنها در معیارها و زیرمعیارها متفاوت هستند، ارائه شده است. در نتیجه وزندهی و همپوشانی و تهیه نقشه نهایی هم به صورت جداگانه برای مسیر سطحی و زیر سطحی تهیه شده است. در سطح دوم، معیارها شامل فاصله از گسل، کاربری زمین، تعداد دسته درزه، جهت شیب، شیب، وضعیت هوازدگی، طبقات ارتفاعی، سنگ‌شناسی، مقاومت فشاری، طبقه‌بندی توده سنگ، لایه زمین‌لغزش‌ها و فاصله از راه‌آهن جای می‌گیرند. هر کدام از این معیارها (لایه‌ها) خود دارای زیرمعیارهایی (پلی‌گون‌ها یا زیرلایه‌ها) هستند. برای نمونه لایه طبقه‌بندی توده سنگ RMR خود دارای چهار زیرلایه (رده‌های بسیار ضعیف ۲۱-۰، ضعیف ۴۱-۲۱، مناسب ۶۱-۴۱ و خوب ۸۱-۶۱) در منطقه است (شکل ۴ - ت).

– انجام مقایسه زوجی و تعیین ارجحیت هر یک از معیارها و زیرمعیارها : در این روش ابتدا به منظور تعیین ارجحیت عوامل مختلف و تبدیل آنها به مقادیر کمی از قضاوت‌های مهندسی (نظر کارشناسان) استفاده می‌شود به طوری که تصمیم گیرنده ارجحیت یک عامل را نسبت به علل دیگر به صورت (جدول۱) در نظر گرفته و این قضاوت‌ها را به مقادیر کمی بین ۱ تا ۹ تبدیل می‌کند. به عبارت دیگر بیشترین وزن به عاملی داده می‌شود که بیشترین تأثیر را با توجه به هدف دارد. انتخاب اعداد کمی بر اساس تجربه (قضاوت کارشناسی)، بررسی‌های آماری یا کارهای مشابه انجام می‌شود (Saaty, 2000). در اینجا از نظرات کارشناسانی می‌توان استفاده کرد که افزون بر دانش کافی در علم زمین‌شناسی مهندسی با ویژگی‌های منطقه رودبار و روش تحلیل سلسله مراتبی آشنایی کافی داشته باشند.

در این پژوهش با توجه به هدف (یافتن مناسب‌ترین مکان و یا مسیر، برای ساخت آزادراه با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی و در دو حالت سطحی و زیر سطحی) به تعیین ارجحیت و اولویت‌های هر یک از معیارها و زیرمعیارها پرداخته شده است. در تعیین اولویت و ارجحیت‌ها برای مدل سطحی مواردی که در ادامه یاد خواهد شد، درنظر گرفته شده است: مسیر راه دور از مخاطرات زمین‌شناسی باشد، حجم عملیات خاکی در صورت امکان کمترین مقدار باشد، ترانشه‌های احتمالی پایدار باشند، بستر راه ظرفیت باربری مناسبی داشته باشد، در صورت امکان مسیر راه از مناطق شهری و مسکونی و آبی عبور نکند، بستر راه دارای شیب مناسب و پایداری لازم باشد، مسیر راه دارای کمترین کمان‌های طولی و عرضی باشد، بستر راه در صورت امکان بر روی آبرفت و سنگ نرم هوازده قرار نگیرد و مسیر راه در جهت وزش بادهای غالب منطقه نباشد.

برای مسیر زیرسطحی موارد زیر در تعیین اولویت و ارجحیت‌ها درنظر گرفته شده است: شرایط مناسب تونل‌زنی فراهم باشد، روباره و ژرفای قرارگیری تونل‌ها مناسب باشد (روباره نه آنقدر کم باشد تا باعث افزایش ناپایداری و آسیب به ساخت‌های شهری شود و نه آنقدر زیاد باشد که فشار وارد بر ساپورت تونل‌ها افزایش یافته و یا به علت تخریب تونل‌ها ریسک تلفات انسانی را بالا ببرد)، مسیر راه به دور از مخاطرات زمین‌شناسی باشد، تونل‌های احتمالی راه در نزدیکی تونل‌های راه‌آهن قرار نگیرد و سنگ بکر دارای وضعیت مطلوب تونل‌زنی باشد (در ترکیب شیمیایی خود بدون رس و سولفات‌ها باشد).

– تهیه ماتریس نرمالیزه و محاسبه بردار وزن معیارها و زیر معیارها: با مشخص شدن شدت نسبی هر عامل (اهمیت) نسبت به عامل دیگر، برای تعیین وزن هر یک از عامل‌ها ماتریس $n\times n$ مقایسه زوجی آنها را تشکیل داده و سپس با مقایسه دو به دو عناصر ماتریس مربوطه و با استفاده از جدول ۱ و همچنین نظر کارشناسان وزن نسبی عوامل مشخص می‌شود. این کار در نرم‌افزار Expert Choice انجام شده است (شکل ۶).

برای محاسبه وزن نسبی هر معیار باید مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس مقایسه زوجی با هم جمع شده و مقدار هر عنصر به جمع ستون خودش تقسیم شود تا ماتریس مقایسه زوجی بهنجار تهیه شود (رابطه ۱). سپس میانگین عناصر در هر سطر از ماتریس بهنجار را محاسبه کرده که در نتیجه بردار وزن پارامترها ایجاد می‌شود (رابطه ۲) (Saaty, 1986). وزن‌های نسبی محاسبه شده در جدول ۲ آورده شده است.

رابطه۱

$$r_{ij}=\frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} a_{ij}}$$

رابطه ۲

$$W_i=\frac{\sum_{i=1}^{n} r_{ij}}{n}$$

در این رابطه:

m: تعداد ستون، n: تعداد سطر، a_{ij}: درایه‌های ماتریس مقایسه زوجی، r_{ij}: درایه‌های ماتریس بهنجار شده به ازای گزینه I ام و شاخص j ام، w_i: وزن گزینه i ام است.

۴-۳. محاسبه وزن نهایی و تهیه نقشه‌های پایانی

در این مرحله با تلفیق ضرایب یادشده امتیاز نهایی هر یک از گزینه‌ها تعیین می‌شود. برای این کار از اصل ترکیب سلسله مراتبی که منجر به تشکیل بردار اولویت با درنظر گرفتن همه قضاوت‌ها در تمامی سطوح سلسله مراتب می‌شود، استفاده شده است. به عبارت دیگر وزن نهایی گزینه‌ها (پهنه‌های ژئوتکنیکی) از مجموع حاصلضرب معیارها در وزنشان و همچنین وزن لایه معیارها از مجموع حاصلضرب زیرمعیارها در وزنشان به‌دست می‌آید (رابطه ۳). این کار با تأثیر دادن وزن‌های به‌دست آمده در ساخت لایه‌های رستری در GIS و انجام محاسبات لازم در ابزار Raster calculator انجام شده است (شکل ۳).

رابطه ۳

$$V_H=\sum_{k=1}^{n} W_k\left(g_{ij}\right)$$

در این رابطه:

V_H: امتیاز نهایی گزینه j، W_k: وزن هر معیار، g_{ij}: وزن گزینه‌ها در ارتباط با معیارها.

پس از به‌دست آوردن وزن عوامل مؤثر و گروه‌های هر یک از عوامل، نیاز است که وزن نهایی هر یک از گروه‌ها محاسبه و پهنه‌بندی نهایی به‌دست آید. برای این کار، تمامی لایه‌های اطلاعاتی وارد نرم‌افزار Arc-GIS 9.3 شده و با تأثیر دادن وزن هر یک و همپوشانی لایه‌ها، نقشه نهایی تهیه شده است (شکل ۷). حاصل این کار نقشه‌ای رستری (Raster) با اندازه سلولی ۶۰ در ۶۰ متری خواهد بود که بعد سوم (z value) آن نماینده مطلوبیت نسبی مسیر آزادراه، از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی است. برای نمایش بهتر نتایج با توجه به نقاط شکست منحنی‌های فراوانی، به چهار گروه پهنه‌های ژئوتکنیکی دارای مطلوبیت بالا برای ساخت آزادراه، پهنه‌های ژئوتکنیکی مطلوب، پهنه‌های ژئوتکنیکی نسبتاً مطلوب و پهنه‌های ژئوتکنیکی نامطلوب و پرخطر تقسیم شده است. باید توجه داشت که این تقسیم‌بندی نسبی است و مکان‌های دارای مطلوبیت بالا الزاماً از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی برای ساخت آزادراه (به صورت سطحی و یا زیرسطحی) مناسب نیستند، بلکه با توجه به این امتیازدهی‌ها از دیگر نقاط شرکت‌کننده در این امتیازدهی از مطلوبیت بالاتر برخوردارند. در انتخاب و تقسیم‌بندی پهنه‌ها سعی شده است افزون بر موارد نام برده شده در بخش ۴-۲ در موضوع تعیین ارجحیت‌ها، به دو عامل کلی، هزینه و ایمنی توجه شود. به طوری که مناطق با مطلوبیت بالا دارای کمترین هزینه و بیشترین ایمنی نسبت به دیگر نقاط هستند. باید دقت کرد که برای ساخت آزادراه به صورت

Archive of SID
www.SID.ir

سطحی باید از نقشه مطلوبیت نسبی سطحی (شکل ۷ - الف) و برای ساخت آزادراه به صورت تونل از نقشه مطلوبیت نسبی زیرسطحی (شکل ۷ - ب) استفاده کرد.

۵- بررسی خطاها و نقشه‌های نهایی تهیه شده

بدون شک تمام روش‌های مطالعاتی و محاسباتی در زمین‌شناسی مهندسی دارای خطاها و ضعف‌های ویژه خود هستند. اما بررسی خطاها در هر تحلیل می‌تواند میزان صحت و کارایی مدل را به خواننده نشان دهد (Pavlovic, 2006). معمولاً بخش اصلی خطاها مربوط به ناشناخته‌های زمین‌شناسی است. در اینجا خطاها به دو بخش زمین‌شناسی و غیر زمین‌شناسی تقسیم می‌شود.

خطاهای زمین‌شناسی افزون بر ناشناخته‌های زمین‌شناسی، شامل خطا در تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، تفسیرهای زمین‌شناسی و تعیین خواص مهندسی سنگ‌ها است. این خطاها معمولاً وابسته به میزان تجربه زمین‌شناس، پیچیدگی‌های زمین‌شناسی منطقه، امکانات، تعداد انجام آزمایش‌ها و یا برداشت‌های صحرایی است. گروه دوم از خطاها ارتباطی با زمین‌شناسی نداشته و به روش‌های مورد استفاده، خطاهای شخصی، خطاهای تعیین وزن و قضاوت مربوط می‌شوند. خطاهای شخصی مانند اشتباه ناشی از خستگی، حجم زیاد داده‌ها، اشتباه در رقومی کردن نقشه‌ها و اشتباهات نرم‌افزاری است.

با توجه به زمان و امکانات محدود سعی شده است با کمک گرفتن از کارشناسان خبره و انجام مطالعات و بررسی‌ها در چند مرحله میزان خطاها به کمترین برسد. برای بررسی صحت کار می‌توان از مقایسه واقعیت‌های موجود و نقشه نهایی سود برد. از نقشه نهایی می‌توان دریافت که مسیر باختری برای ساخت آزادراه به صورت زیرسطحی، بهتر از مسیر خاوری است (شکل ۷ - ب). این مسئله با وجود مقادیر بیشتر واحدهای دارای رس و زغال، مقادیر RMR کمتر، وجود زون‌های خردشده و گسلی بیشتر، نزدیکی به تونل‌های راه‌آهن و غیره در مسیر خاوری (شکل ۴)، صحت کار صورت گرفته را می‌رساند.

برای کنترل خطا در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین وزن عوامل، از نرخ ناسازگاری استفاده شده است. به منظور کنترل قضاوت‌های انجام شده در فرایند تحلیل سلسله مراتبی نرخ ناسازگاری (I.R=Inconsistency Ratio) ماتریس ساخته شده باید محاسبه شود. به اعتقاد Saaty (1980) میزان نرخ ناسازگاری ۰/۱ به عنوان حد قابل قبول قضاوت‌ها در نظر گرفته شده است. وی معتقد است چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر شود. نرخ ناسازگاری ماتریس‌های تشکیل شده در این پژوهش از حاصل تقسیم شاخص ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی هم‌بعدش، به صورت خودکار از روش میانگین‌گیری حسابی در نرم‌افزار محاسبه شده است. بر این اساس نرخ ناسازگاری ماتریس تشکیل شده برای حالت سطحی ۰/۰۳ و برای زیرسطحی ۰/۰۲ است.

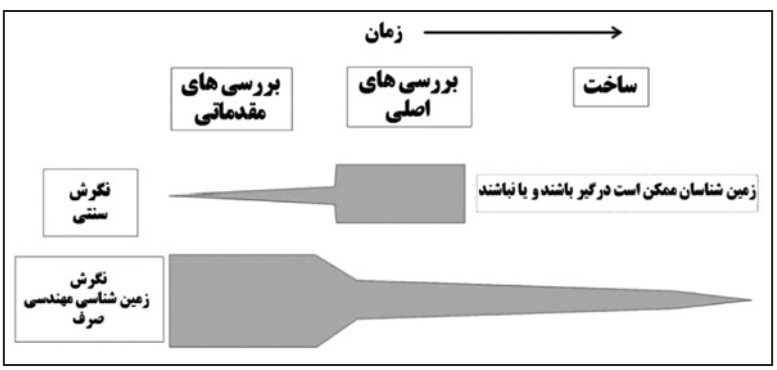
دو نقشه نهایی تهیه شده، نشان می‌دهد که مسیر باختری از نظر ساخت آزادراه به صورت زیرسطحی از مطلوبیت بالاتری نسبت به مسیر خاوری (با وجود پهنه‌های نسبتاً مطلوب و نامطلوب و پرخطر) برخوردار است. در ادامه مسیر گزینه باختری (حدود کیلومتر ۳۷ تا ۴۰)، که به صورت سطحی قرار است ساخته شود، دارای پهنه‌های با مطلوبیت بالا و کم خطر و پهنه‌های مطلوب است. این نقشه‌ها همچنین نشان می‌دهد که مسیر خاوری در ابتدای خود تا کیلومتر ۳۷ از نظر ساخت آزادراه به صورت زیرسطحی دارای پهنه‌های نسبتاً مطلوب و پهنه‌های نامطلوب و پرخطر و در ادامه دارای پهنه‌هایی با مطلوبیت بالا و کم خطر، به جز درچند نقطه، برخوردار است. برای ساخت آزادراه به صورت سطحی محدودیت‌های بیشتری وجود دارد.

ویژگی دیگر این نقشه‌ها این است که در صورت انتخاب هر مسیر، می‌توان نقاط حساس و ضعیف مسیر را از این دو نقشه به‌دست آورد و اقدامات پیش‌گیرانه صورت داد. برای نمونه در نقشه زیرسطحی (شکل ۷ - ب)، مناطق دارای درجه نامطلوب (رنگ قرمز)، مناطق بحرانی و ضعیفی هستند که در صورت انتخاب مسیر برای ساخت تونل‌ها در این مناطق باید ملاحظات لازم به عمل آورده شود.

۶- نتیجه‌گیری

برای ارائه یک دید کلی و جمع‌بندی بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی انجام شده، نقشه مطلوبیت نسبی مسیر آزادراه از دیدگاه زمین‌شناسی مهندسی در دو حالت سطحی و زیر سطحی با روش تحلیل سلسله مراتبی و خطای کم، در نرم‌افزار GIS تهیه شده است. از آنجا که به‌کارگیری این روش برای انجام بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر راه روش جدیدی است، نیاز است که با بررسی‌های بیشتر و انجام کارهای مشابه در نقاط دیگر، آن را اصلاح و کامل کرد. از طرف دیگر از این مدل می‌توان برای دیگر بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی با توجه به قابلیت انعطاف‌پذیری بالای مدل، استفاده کرد.

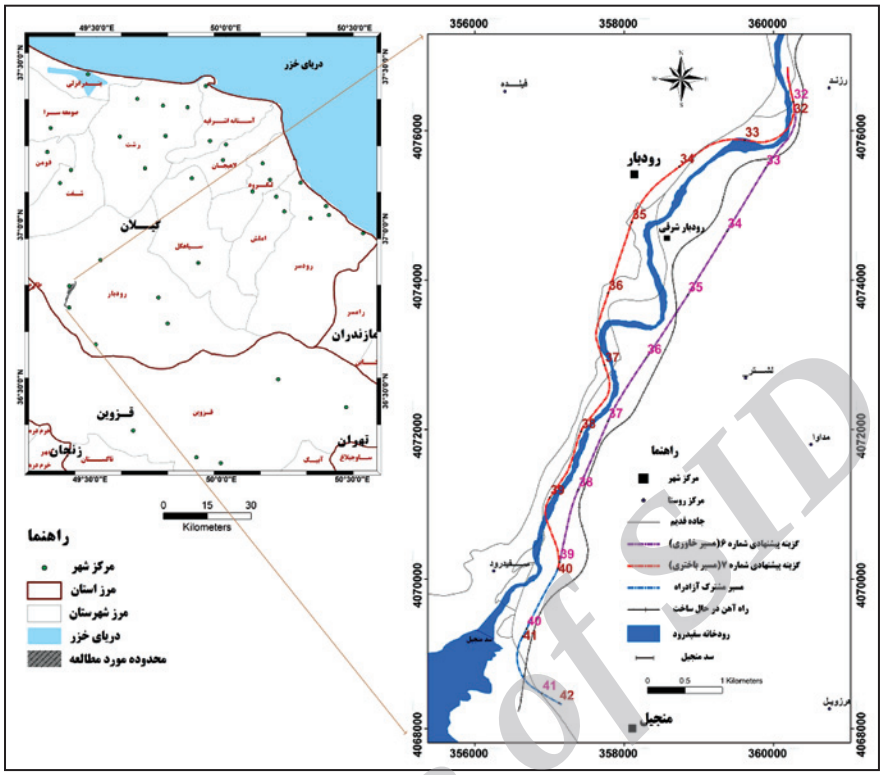
استفاده از روش این نوشتار باعث شده که از خطاها و سردرگمی‌های ناشی از حجم بالای اطلاعات و داده‌ها در مرحله انتخاب مسیر پرهیز شود و با دقت بیشتر و در یک روند منطقی‌تر، انتخاب مسیر انجام پذیرد. ویژگی دیگر این روش، ارائه کلیه مطالعات و بررسی‌های انجام شده به صورت یک نقشه نهایی است که باعث شده نتایج ملموس‌تر و به صورت کمّی (عددی) درآیند تا از نظرات شخصی و توصیفی در حد ممکن اجتناب شود. در پایان توصیه می‌شود که دیگر پژوهشگران با توجه به لزوم داشتن نگرش زمین‌شناسی مهندسی در انجام بررسی‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر راه، از روش و یا خط مشی این نوشتار ولی با دیگر روش‌های دیگر، بهره گیرند.



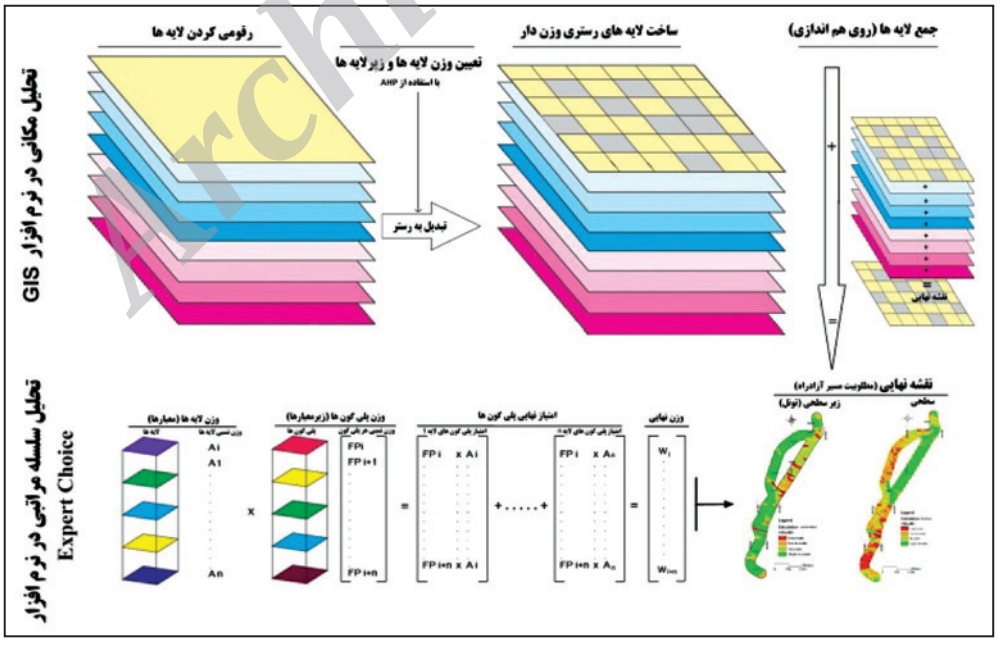
شکل ۱- مقایسه نگرش‌های استفاده از دانش زمین‌شناسی در پروژه‌ها (Baynes et al., 2005).

Archive of SID

www.SID.ir



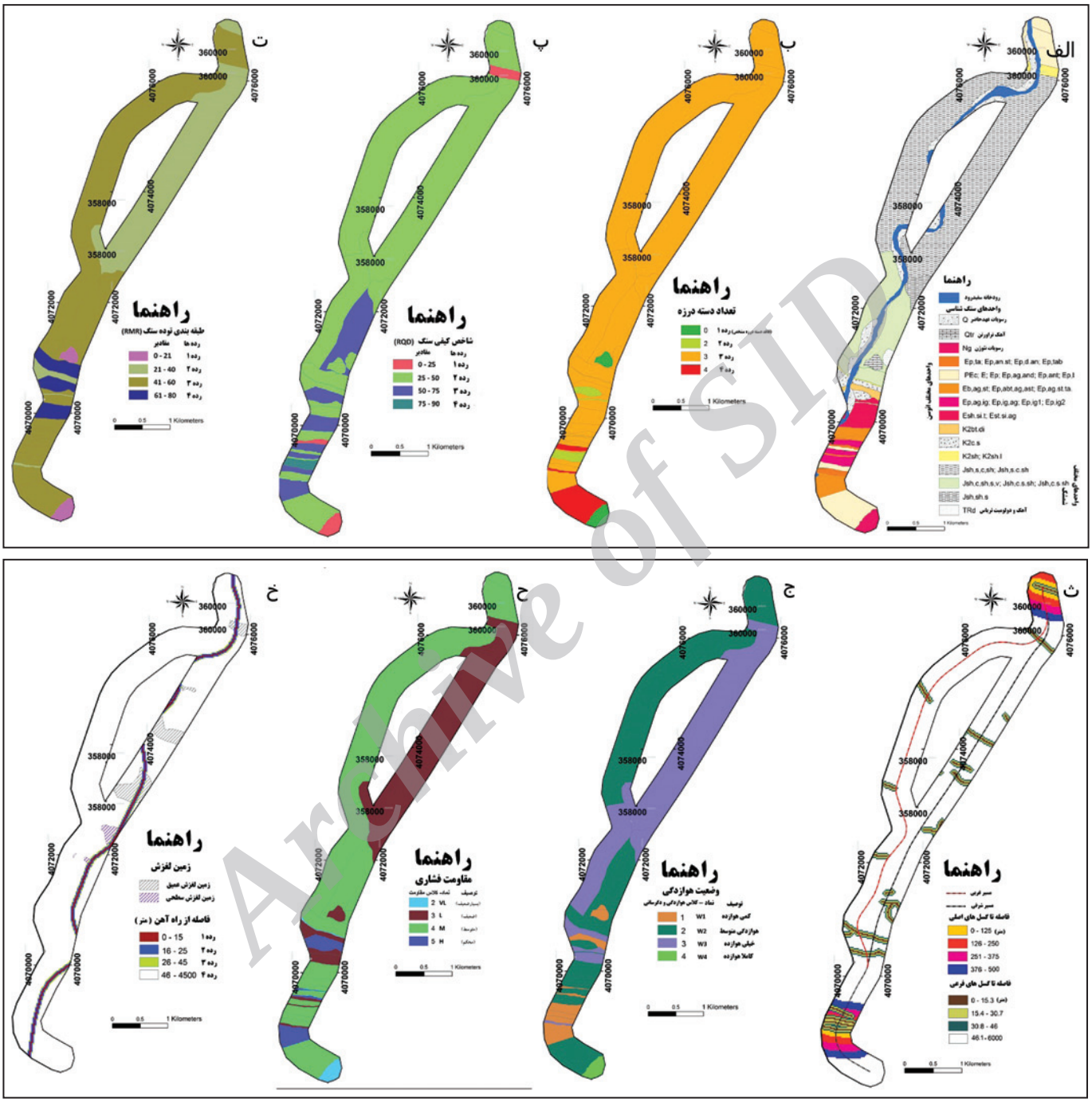
شکل ۲- نمایش موقعیت منطقه و دو مسیر پیشنهادی آزادراه.



شکل ۳- مدل ساده شده مراحل، انجام تحلیل‌های سلسله مراتبی در نرم‌افزار Expert Choice و تحلیل مکانی در Arc-GIS.

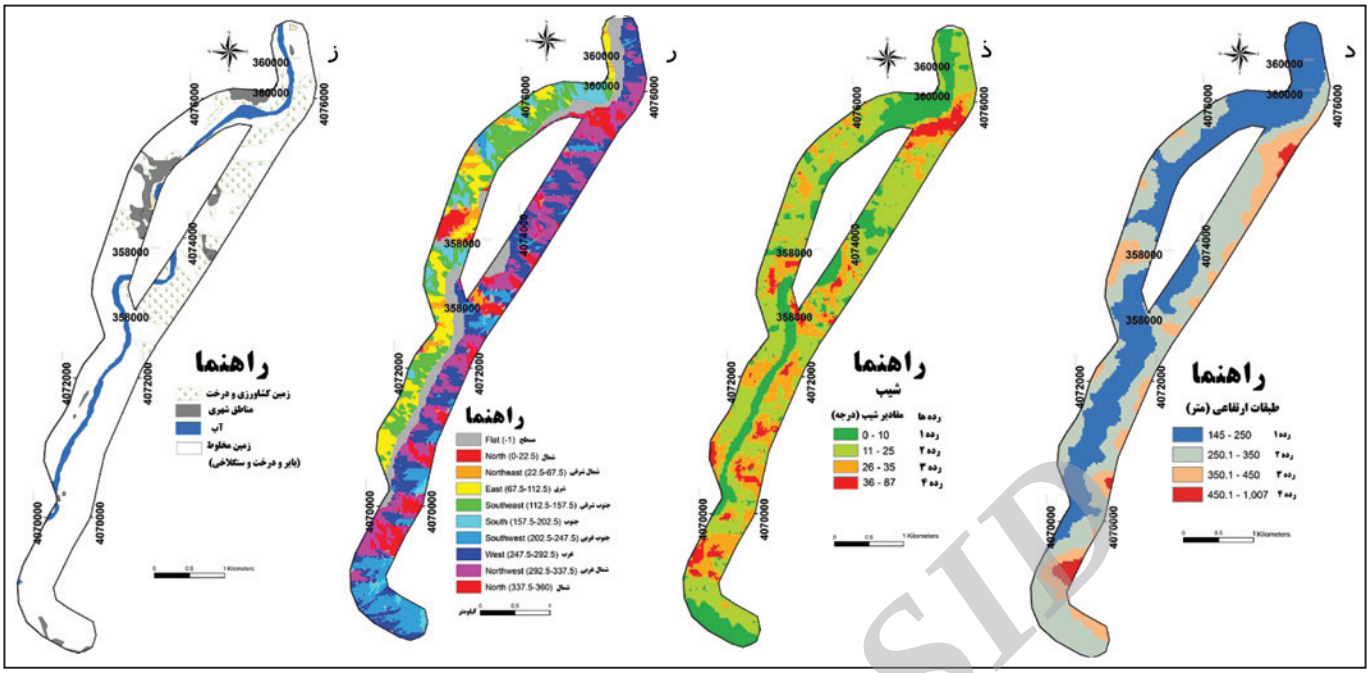
Archive of SID

www.SID.ir

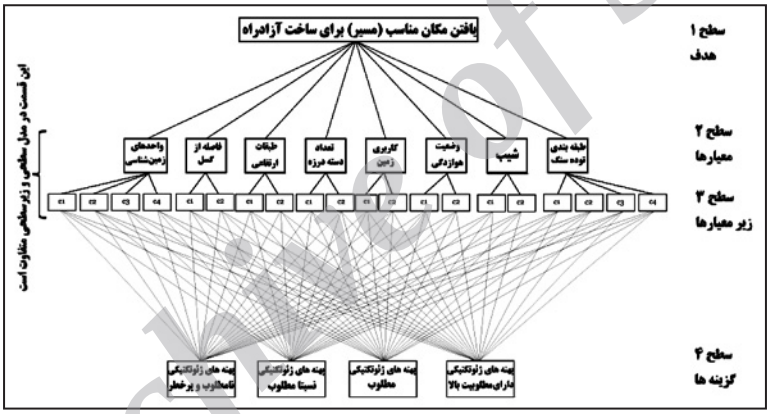


شکل ۴- لایه‌های مورد استفاده. الف) سنگ‌شناسی؛ ب) تعداد دسته درزه؛ پ) شاخص کیفی سنگ؛ ت) گروه‌های RMR؛ ث) فاصله از گسل؛ ج) درجه هوازدگی؛ ح) گروه‌های مقاومت فشاری؛ خ) زمین‌لغزش و فاصله از راه‌آهن؛ د) طبقات ارتفاعی؛ ذ) شیب؛ ر) جهت شیب؛ ز) کاربری زمین.

www.SID.ir



ادامه شکل ۴



شکل ۵- ساختار تحلیل سلسله مراتبی.

	rmr	weathering	resistance	lithology	landuse	slope	aspect	elevation	fault	n joint
rmr		1.0	1.0	(2.0)	(3.0)	(2.0)	(2.0)	(2.0)	(4.0)	(2.0)
weathering			2.0	2.0	(2.0)	1.0	1.0	1.0	(3.0)	(2.0)
resistance				1.0	(2.0)	(2.0)	(2.0)	1.0	(2.0)	(2.0)
lithology					(3.0)	1.0	(2.0)	1.0	(2.0)	(2.0)
landuse						2.0	2.0	2.0	1.0	1.0
slope							(2.0)	2.0	(2.0)	(2.0)
aspect								2.0	(2.0)	(2.0)
elevation									(2.0)	1.0
fault										2.0
n joint	Incon: 0.03									

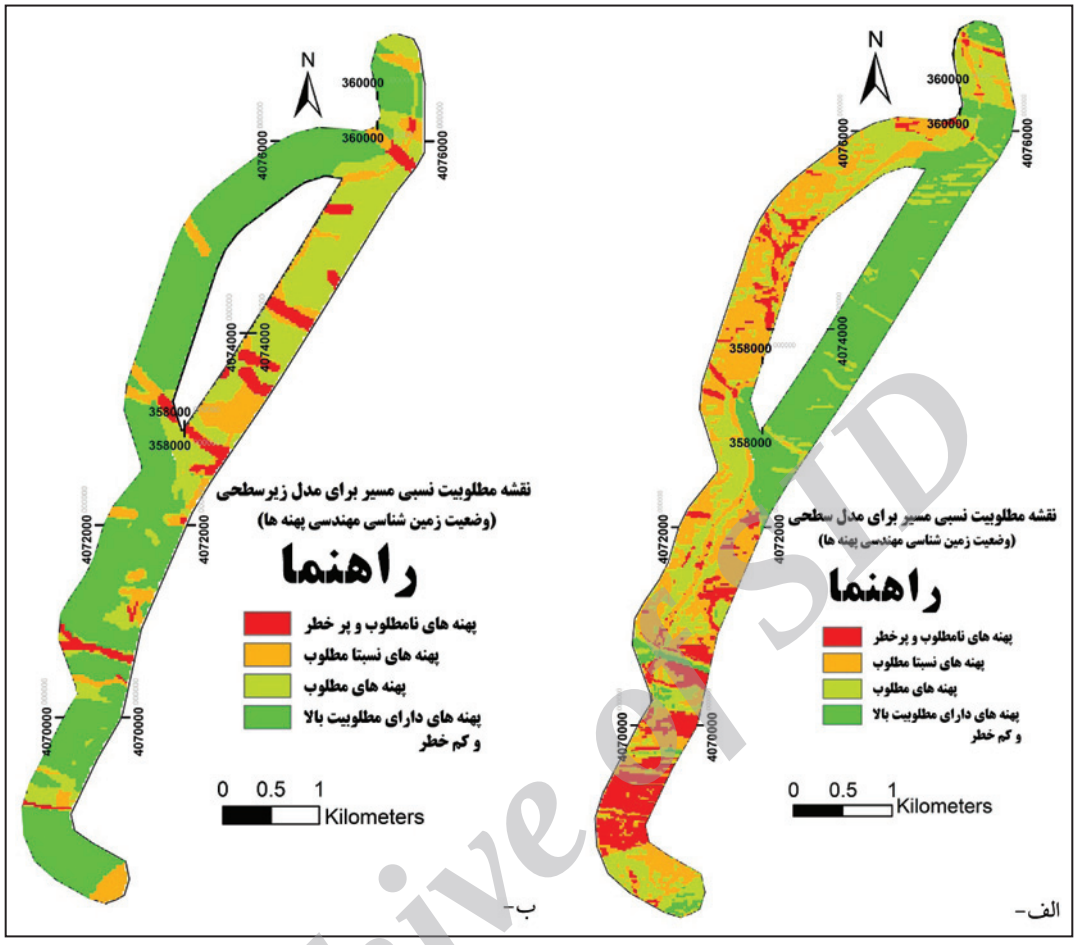
الف- سطحی

	fault	RQD	weathering	elevation	lithology	resistence	RMR	slide	railway
fault		2.0	3.0	3.0	1.0	3.0	(2.0)	3.0	4.0
RQD			2.0	3.0	(2.0)	2.0	(2.0)	3.0	3.0
weathering				1.0	(3.0)	1.0	(4.0)	1.0	1.0
elevation					(3.0)	(2.0)	(4.0)	1.0	1.0
lithology						4.0	(2.0)	3.0	3.0
resistence							(5.0)	2.0	3.0
RMR								4.0	4.0
slide									1.0
railway	Incon: 0.02								

ب- زیر سطحی

شکل ۶- ماتریس مقایسه زوجی عوامل. الف) در حالت ساخت آزادراه به صورت سطحی؛ ب) در حالت ساخت آزادراه به صورت زیرسطحی.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۷- نقشه‌های نهایی تهیه شده. الف) نقشه مطلوبیت نسبی از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی برای ساخت آزادراه به صورت سطحی؛ ب) نقشه مطلوبیت نسبی از نظر ویژگی‌های زمین‌شناسی مهندسی برای ساخت آزادراه به صورت زیرسطحی.

جدول ۱- مقیاس برای مقایسه زوجی (Saaty, 2000).

شدت نسبی (ترجیحات)	تعریف	توضیح
۱	با ارزش برابر	دو مورد دارای ارزش برابر است
۳	ارزش کمی بیشتر	امتیازات کمی به نفع یکی مورد نیاز است تا دیگری
۵	ارزش اساسی یا قوی‌تر	امتیازات به شدت به نفع یکی مورد نیاز است تا دیگری
۷	ارزش بسیار قوی	یک نیازی که به شدت مطلوب است و در عمل برتری خود را نشان داده است
۹	ارزش فوق‌العاده شدید	شواهد به نفع یکی، بیشترین مقدار ممکن است تا دیگری
۲ و ۴ و ۵ و ۶	ارزش‌های بین دو قضاوت مجاور	هنگامی که مورد نیاز باشد

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲- وزن هر یک از معیارها و زیرمعیارها (وزن نسبی باید ضربدر 10^{-3} شود).

هدف: انتخاب مناسب‌ترین مسیر سطحی							
معیارها	زیرمعیارها	وزن نسبی	معیارها	زیرمعیارها	وزن نسبی	معیارها	زیرمعیارها	وزن نسبی
فاصله از گسل ۰/۱۷۹	رده ۱	۱۱	شیب ۰/۰۸۷	رده ۱	۴۲۶	وضعیت هوازدگی ۰/۰۸۳	رده ۱	۱۲۲
	رده ۲	۱۰۰		رده ۲	۲۷۷		رده ۲	۴۲۴
	رده ۳	۲۲۲		رده ۳	۱۶۰		رده ۳	۲۲۷
	رده ۴	۶۶۷		رده ۴	۹۵		رده ۴	۲۲۷
کاربری زمین ۰/۱۵۹	کشاورزی و درخت	۶۰۰	واحدهای سنگ‌شناسی ۰/۰۶۷	TRd	۳۸	ارتفاع ۰/۰۷۶	رده ۱	۴۶۷
	آب	۱۳۵		Ng	۴۱		رده ۲	۲۷۷
	مناطق شهری	۷۶		Qtr	۳۸		رده ۳	۱۶۰
	مخلوط	۱۸۴		Eig	۶۶		رده ۴	۹۵
تعداد دسته درزه ۰/۱۳۲	رده ۱	۶۰۰		Eabt,ast,ag	۶۲	مقاومت فشاری ۰/۰۶۱	رده ۱	۲۲۷
	رده ۲	۲۲۲		Ed	۷۰		رده ۲	۴۲۴
	رده ۳	۱۱۱		Esh,si	۴۸		رده ۳	۲۲۷
	رده ۴	۶۷		Est,si,ag	۱۰۳		رده ۴	۱۲۲
جهت شیب ۰/۱۰۷	مسطح	۲۶۶		Eta	۶۳	طبقه‌بندی توده‌سنگ ۰/۰۵۱	رده ۱	۲۰۰
	شمال	۱۰۰		Kbt,di	۶۳		رده ۲	۳۰۰
	شرق	۲۴۶		Ksh,l,sh	۳۶		رده ۳	۳۰۰
	غرب	۲۴۶		Kcs	۱۰۹		رده ۴	۲۰۰
	جنوب	۱۴۳		Jc,s,sh	۱۱۲			
				Js,c,sh	۱۱۴			
				Jsh,c	۳۶			
هدف: انتخاب مناسب‌ترین مسیر زیرسطحی								
واحدهای سنگ‌شناسی ۰/۱۷۵	Qtr	۲۹	فاصله از گسل ۰/۱۷۲	رده ۱	۶۴	ارتفاع ۰/۰۵۰	رده ۱	۲۶۱
	Ng	۲۹		رده ۲	۱۰۰		رده ۲	۴۳۱
	TRd	۲۹		رده ۳	۲۲۸		رده ۳	۲۱۶
	Jsh,c,s	۲۹		رده ۴	۶۰۹		رده ۴	۹۲
	Jc,s,sh	۶۵	RQD ۰/۱۲۱	رده ۱	۸۳	زمین‌لغزش ۰/۰۵۰	سطحی	۱۵۱
	Js,c,sh	۴۸		رده ۲	۱۵۴		زیرسطحی	۵۸
	Ksh,l	۲۸		رده ۳	۲۶۷		بدون لغزش	۷۹۱
	Kc,s	۵۳		رده ۴	۴۹۶	فاصله از راه‌آهن ۰/۰۴۷	رده ۱	۵۱
	Eant,ast,	۸۹	مقاومت فشاری ۰/۰۷۴	رده ۱	۷۶		رده ۲	۱۲۷
	Esh,si	۴۷		رده ۲	۱۵۲		رده ۳	۲۳۲
	Eag,ig	۱۵۱		رده ۳	۲۳۸		رده ۴	۵۹۰
	Eta,an	۱۵۳		رده ۴	۴۹۰		رده ۱	۷۶
	Kbt	۱۵۰	وضعیت هوازدگی ۰/۰۵۰	رده ۱	۵۳۳	طبقه‌بندی توده سنگ ۰/۲۵۶	رده ۲	۱۵۲
	Eag,abt,ast	۱۰۰		رده ۲	۲۶۷		رده ۳	۲۸۳
				رده ۳	۱۳۳		رده ۴	۴۹۰
				رده ۴	۶۷			

کتابنگاری

اشتوکلین، ج. و افتخارنژاد، ج.، ۱۳۴۷- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ زنجان، سازمان زمین‌شناسی، تهران.

امام‌جمعه، س. ر.، شریعت‌جعفری، م. و غیومیان، ج.، ۱۳۸۶- تعیین عمق سطح گسیختگی توده لغزشی رسوبی گلدیان رودبار به روش ژئوالکتریک، سومین همایش ملی فرسایش و رسوب، تهران، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری کشور.

امیراحمدی، ا.، کامرانی‌دلیر، ح. و صادقی، م.، ۱۳۸۹- پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی مطالعه موردی حوضه آبخیز چلالاو آمل، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران، سال هشتم، شماره ۲۷ ، صفحات ۲۰۳-۱۸۱ .

انتظام‌سلطانی، ا.، محمودپور، م. و بلورچی، م. ج.، ۱۳۹۱- گزارش بررسی مقدماتی مخاطرات زمین‌شناختی شهر رودبار استان گیلان، دفتر بررسی مخاطرات زمین‌شناختی، زیست محیطی و مهندسی، تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور.

بلورچی، م. ج.، انتظام، ا.، محمودپور، م.، کریم‌نژاد، س. ف. و شمشکی، ا.، ۱۳۸۵- گزارش بررسی خطر سنگ ریزش در جاده چالوس، تهران، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۱-۱-۸۵ .

جعفرخالو، م.، ارومیه‌ای، ع. و خامه‌چیان، م.، ۱۳۸۹- پهنه‌بندی خطر ناپایداری دامنه‌ها در محدوده جاده چالوس به کمک GIS حدفاصل کرج ـ گچسر، فصلنامه مهندسی فناوری اطلاعات مکانی شماره۲ .

درویش‌زاده، ف.، ۱۳۷۰- زمین‌شناسی ایران، نشر دانش‌آموز، تهران، ۹۰۱ صفحه.

www.SID.ir

علوی، ن.، بیدختی، ع. ا. و مجبوریان، ع.، ۱۳۸۲- مطالعه مشاهداتی و یک مدل هیدرولیکی برای جریان هوا داخل یک گپ، هشتمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه تبریز، انجمن فیزیک ایران.

غیومیان، ج.، فاطمی‌عقدا، س. م.، اشقلی‌فراهانی، ع. و تشنه‌لب، م.، ۱۳۸۱- پهنه‌بندی خطر وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تصمیم‌گیری چند مشخصه فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار گیلان)، مجله پژوهش و سازندگی، شماره ۵۶، صفحات ۸۱-۶۷.

فاطمی‌عقدا، م.، غیومیان، ج. ف.، تشنه‌لب، م. و اشقلی‌فراهانی، ع.، ۱۳۸۴- بررسی خطر زمین‌لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار)، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سی و یکم شماره ۱، صفحات ۶۴-۴۳.

فیض‌نیا، س.، کلارستاقی، ع.، احمدی، ح. و صفایی، م.، ۱۳۸۳- بررسی عوامل مؤثر در وقوع زمین‌لغزش‌ها و پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش، مطالعه موردی: آبخیز شیرین‌رود- سد تجن، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۷، شماره۱ ، صفحات ۲۰ -۳.

قاضی‌پور، ن.، ارومیه‌ای، ع.، انتظام، ا.، انصاری، ف. و پیروز، م.، ۱۳۸۶- استفاده از نظریه مخروط افت در ارزیابی خطر سنگ‌ریزش در مسیر جاده چالوس (پل‌زنوله- مرزن‌آباد)، نشریه علوم زمین سال هفدهم شماره۶۶ صفحات ۱۶۹-۱۶۰.

مهندسین مشاور پارس، ۱۳۹۰- گزارش مقایسه گزینه‌های مختلف قطعه ۳/۱/الف آزادراه قزوین- رشت، دفتر مرکزی تهران.

نظری، ح. و سلامتی، ر.، ۱۳۷۶- نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ رودبار، سازمان زمین‌شناسی، تهران.

References

Baynes, F. J., Fookes, P. G. & Kennedy, J. F., 2005- The total engineering geology approach applied to railways in the Pilbara, Western Australia, Bull Eng Geol Environ 64, pp. 67–94.

Bieniawski, Z. T., 1989- Engineering Rock Mass Classifications., Wiley. New York, Jon Wiley.

Chen, C. H. & Liu, Y. C., 2007- A methodology for evaluation and classification of rock mass on tunnel engineering. Tunneling and Underground Space Technology 22, pp.377-387.

Cimren, E., Catay, B. & Budak, E., 2007- Development of a machine tool selection system using AHP, International Journal of Advanced Manufacturing Technolxgy 35, pp. 363–376.

Deere, D. U., 1968- Geological considerations. Rock Mechanics in Engineering Practice, eds. K.G.Stagg and O.C.Zienkiewicz. John Wiley & Sons, London, pp. 1-20.

Fookes, P. G., Baynes, F. J. & Hutchinson, J. N., 2000- Total geological history: a model approach to the anticipation, observation and understanding of site conditions,Invited Paper, Geoeng 2000 Conference. Technomic Publishing, Melbourne, pp. 370–460.

Fookes, P. G., Baynes, F. J. & Hutchinson, J. N., 2001- Total geological history: a model approach to understanding site conditions. Ground Eng 34(3):42–47, pp. 67-94.

Georgiadis, G. A., Tranos, M. D., Makedon, Th. K. & Dimopoulos, G. Ch., 2007- contribution of geological mapping in road construction: an example from Veria- Kozani national road, Kastania area, Bullelin of Ihe Geological Society of Greece vol. XXXX, Proceedings of the 11th International Congress, Athens, May 2007, pp. 1652-1663.

Hakan, E., Fikri, B. & Mehmet, B., 2013- Landfill site requirements on the rock environment: A case study, Engineering Geology 154, pp. 20–35.

Hamrol, A., 1961- A quantitative classification of the weathering and weather ability of rocks. Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. Found. Engng, Paris, Vol. 2, 771-4.

ISRM (International Society for Rock Mechanics),1978 - Commission on standardization of laboratory and field tests Suggested methods for the simple field identification compressive strength of rock and clay, Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 15, No. 6, pp. 319-368.

OECD, 1973- Optimization of Road Alignment by the Use of Computers. Paris.

Palmstrom, A., 1982- The volumetric joint count- a useful and simple measure of the degree of jointing. Proc. int. congr. Int. Assn Engng Geol (IAEG), New Delhi, pp. 221 - 228.

Pavlovic, N., 2006- Geotechnical zonation-principles, criteria and procedure, tunneling and underground space technology journal, 64, pp. 33-37.

Rowshanbakh, K. & Tavakolizadeh, M., 2012- Study of a landslide using 1D and 2D resistivity surveys in northern Iran-Rudbar region, Journal of the Earth & Space Physics. Vol. 38, No. 1, pp. 11-20.

Saaty, T. L., 1980- The Analytic Hierarchy Process., McGraw-Hill, New York.

Saaty, T. L., 1986- Axiomatic foundation of analytical hierarchy process, Journal of Management science, Vol. 31, No. 7, pp. 841-855.

Saaty, T. L., 2000- Fundamentals of Decision Making and Priority Theory with the Analytic Hierarchy Process. RWS Publications.

Sarkar, I., Hamzehloo, H. & Khattri, K. N., 2003- Estimation of causative fault parameters of the Rudbar earthquake of June 20, 1990 from near field SH-wave data, Elsevier Tectonophysics 364, pp. 55– 70.

Shoaei, Z. & Sassa, K., 1993- Mechanism of landslides triggered by the 1990 Iran earthquake: Bull. Disas. Prev. Res. Kyoto University, Vol.43 , Part 1, No. 372, pp. 1-29.

Stuart, B. O. & Reese, P. G., 2012- Mapping Potential Geologic Hazards for Proposed Highway Construction Projects in Pennsylvania: Route 15 in Lycoming County, Pennsylvania Geological Survey 3240 Schoolhouse Road, http://ngmdb.usgs.gov/Info/dmt/.

Tatar, M. & Hatzfeld, M., 2008- Microseismic evidence of slip partitioning for the Rudbar-Tarom earthquake (Ms 7.7) of 1990 June 20 in NW Iran, Geophys. J. Int. gji_3976.

Zarei, H. R., Uromeihy, A. & Sharifzadeh, M., 2013- A new tunnel inflow classification system through sedimentary rock masses, Tunneling and underground space technology, Volume 34, pp. 1–12.

Archive of SID

www.SID.ir