الگوریتم سلسله مراتبی SBMR برای انتخاب بهترین راه دسترسی به معادن

مقاله پژوهشی

شبیر ارشدنژاد *، استادیار، گروه مهندسی معدن، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد محلات، محلات، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: s_arshadnejad@yahoo.com

دریافت: ۹۷/۰۸/۲۷- پذیرش: ۹۸/۰۲/۰٤
صفحه۱٦٦-۱۵۷

چکیده

جاده‌های معادن را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد. جاده‌های داخل محوطه معادن و جاده‌های دسترسی معدن به نقاط کلیدی مقصد مانند کارخانه فرآوری یا نزدیکترین بندر، شهر و روستای مجاور. جاده‌های داخل محوطه معادن معمولاً دارای عمری کوتاه و با مشخصات فنی پایین طرح و ساخته می‌شوند و غالباً موقتی هستند. اما جاده‌های دسترسی به مراتب دارای کیفیت و مشخصات فنی و عمر بالاتری و در بسیاری موارد بسیار طویل‌تر هستند. بنابراین توجه ویژه به طراحی آنها می‌تواند نقش موثری در بهره‌وری اقتصادی از معدن داشته باشد. در این مقاله تلاش شده است تا الگوریتم مناسبی برای طراحی جاده‌های دسترسی معادن با روش تحلیل سلسله مراتبی پیشنهاد شود. به منظور طراحی هر جاده‌ای، ابتدا باید چندین مسیر به عنوان گزینه‌های محتمل به لحاظ هندسی طرح شده و سپس با معیارهای معینی با یکدیگر مقایسه شوند. روش پیشنهادی SBMR برای اولین بار و به منظور کمّی‌سازی معیارهای تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین گزینه ارائه شده است. در این مدل که بر اساس تحلیل سلسله مراتبی بدست آمده هجده پارامتر در سه دسته کلی با معیارهای فنی، اقتصادی و محیطی در نظر گرفته شدند و ساختار نهایی مدل به صورت جداول معینی با سیستم امتیازدهی به هر پارامتر و در محدوده عددی صفر تا ۱۰۰ پیشنهاد شده است. پس از تحلیل و محاسبات لازم مشخص شد که حساس‌ترین پارامتر، میزان حجم ابنیه از معیارهای فنی با درصد اهمیت ۲۳/۶ ٪ بوده و میزان پاکسازی زمین کمترین حساسیت را با ۰/٤ ٪ داراست. با کمک این سیستم می‌توان نسبت به انتخاب گزینه بهینه در جاده‌های دسترسی به معادن به صورت تحلیلی و مستدل اقدام نمود. به عنوان ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، یک مطالعه موردی از معادن مس کرمان (نوچون) مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور چهار مسیر انتخاب شده و کلیه پارامترهای آنها معین شدند. طول مسیرها به ترتیب عبارت بودند از ۱۲، ۱٤، ۱۶ و ۱۸ کیلومتر که پس از محاسبات نهایی مسیر دوم به طول ۱٤ کیلومتر و با شیب متوسط ۷ درصد و عرض ۱۱ متر به عنوان گزینه برتر انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم سلسله مراتبی، طرح هندسی راه، راه دسترسی معادن، شرایط محیط زیستی، SBMR

۱- مقدمه

احداث و بهره‌برداری از یک معدن می‌تواند باعث ایجاد تغییرات موقت و یا بلند مدت مثبت و منفی متعددی در منطقه و یا حتی در یک کشور گردد. برای مثال باعث ایجاد اشتغال، افزایش تولید ناخالص ملی و رفع نیاز به مواد اولیه تعدادی از صنایع بالا دستی می‌شود. اما در کنار آن می‌تواند باعث بروز آلودگی در منابع آب و خاک و حیات وحش و پوشش گیاهی در منطقه باشد. طراحی هندسی راه برای یک معدن به عنوان یک واحد صنعتی در اقتصاد معدن بسیار حیاتی است. جاده‌های معدنی خود به دو دسته راه‌های داخل محوطه معدن و کاواک و راه‌های ارتباطی بین معدن و نقاط هدف مانند شهر، روستا و یا جاده اصلی بین شهری استاندارد تقسیم می‌شود. در این مقاله به جاده نوع دوم که در طراحی آن نگاه کلان‌تری وجود دارد و به آنها جاده‌های دسترسی گفته می‌شود، پرداخته خواهد شد. تردد در جاده‌های دسترسی معدنی معمولاً از ترافیک اندک و سرعت پایین برخوردار است و همچنین در برخی از موارد از تعدادی مراکز جمعیت و یا منابع آب (مانند رودخانه و دریاچه) یا مرتع و جنگل عبور می‌کند. از نظر تئوری در طرح هندسی و ترسیم مسیر جاده (از مبدا تا مقصد) بر روی نقشه توپوگرافی می‌توان بینهایت گزینه را انتخاب نمود. اما در عمل به علت وجود محدودیت‌هایی نظیر شیب طولی، پرهیز از ساخت ابنیه سنگین مانند پل و تونل و حفظ حریم‌ها و کمینه نمودن تملک اراضی، تعداد محدودی گزینه

برای انتخاب مسیر جاده نهایی باقی می‌ماند. امروزه معمولاً بر اساس قضاوت نظری و تجارب شخصی، مسیر نهایی انتخاب می‌شود که ممکن است با توجه به عمر معدن لزوماً بهترین گزینه نباشد. از آنجا که هزینه احداث و هزینه نگهداری و حتا هزینه پنهان جاده در طی دوره بهره‌برداری در اقتصاد معدن و همچنین منطقه اثر گذار است، انتخاب یک مسیر مناسب و بهینه بسیار مهم می‌باشد. گاهی هزینه راه‌سازی و نگهداری از آن برای یک معدن می‌تواند سهم بزرگی در تعیین نقطه سربه‌سری معدن و صرفه اقتصادی آن داشته باشد (Hustrulid & Kuchta, 2006; Hartman & Mutmansky, 2002). برای انتخاب مسیر بهینه لازم است تا به تعدادی پارامتر موثر در پروژه با توجه به طول عمر معدن و یا دوره بهره‌برداری از راه، توجه شود. بنابراین داشتن یک الگوریتم جدید بر اساس اصول ریاضی تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، سیستمی را فراهم می‌کند تا انتخاب بهینه مسیر به عنوان یک پارامتر کلیدی در امر آماده‌سازی و بهره‌برداری از معادن، با رویکردی عددی و مستدل میسر شود. یکی از روش های سلسله مراتبی روش ANP است که در صورت ارتباط و تعامل پارامترها و معیارها به صورت چندگانه، به شکل شبکه تعریف شده و مورد ارزیابی قرار می گیرد. اما در اینجا پارامترها به صورت مستقل از یکدیگر بوده و مناسبتر است که از روش AHP برای آنها استفاده شود. از طرف دیگر امروزه از روش AHP فازی شده نیز در برخی از مسائل استفاده می شود که ضرورتا ارتباط های غیر قطعیتی دارند. اما در بررسی انجام شده در این مقاله و شناختی که از پارامترها بدست آمده است، ارتباط احتمالاتی در میان آنها وجود ندارد به همین دلیل از شیوه فازی استفاده نشده است. در طول ۱۰۰ سال گذشته همراه با توسعه معادن و پیشرفت ماشین آلات معدنی، طراحی راه‌های معدنی نیز نظام‌مندتر شده‌اند. یکی از اولین آثار مدون تحلیلی در طراحی راه‌های معدنی توسط کافمن و آلت (Kaufman & Ault, 1977) ارائه شده است. آنها در خصوص تعدادی از پارامترهای اساسی هندسی جاده معدنی نظیر ضخامت روسازی تحقیقات مبسوطی انجام داده و نمودارها، جداول و مقادیری راهبردی را پیشنهاد کردند. شرکت مهندسان مشاور مونکو در کانادا (Monenco, 1986) میزان تولید گرد و غبار ناشی از تردد در جاده‌های معدنی را مورد بررسی و تحلیل قرار داد. از آنجا که جاده‌های معدنی معمولاً از روسازی خرده سنگی و یا خاکی ساخته می‌شوند، کارافیت (Karafiath, 1988) مقادیر ضریب اصطکاک چرخ وسایل نقلیه را در خارج از سطح جاده و در زمین‌های خاکی بدست آورد. کولادا (Kolada, 1989) تحقیقی در مورد ارتباط مستقیم اصطکاک غلتشی جاده معدنی با اقتصاد حمل و نقل معدن انجام داد. شورینگ و ردفیلد (Schuring & Redfield, 1982) برای اولین بار به بررسی میزان مصرف سوخت کامیون‌های معدنی در ارتباط با مقاومت غلتشی چرخ‌ها در جاده‌های خاکی معادن پرداختند. شوکلا و همکارانش (Shukla, et al., 1989) روش طراحی و نگهداری جاده‌های معدنی تحت بارهای سنگین را پیشنهاد کردند. کامرون و لئوک (Cameron & Lewko, 1997; Cameron, et al., 1999) در طی چند سال با ارائه چند گزارش تحلیلی اقدام به ارائه روش‌های ساخت و نگهداری از راه‌های معدنی تحت بارهای فوق سنگین (تا ۳۶۰ تن) نمودند. اتکینسون (Atkinson, 1992) و دارلینگ (Darling, 2011) به منظور طراحی راه‌های داخل محوطه معدن و بیرون آن اصولی کارآمد را گردآوری و منتشر نمودند. دسلندس و دیکرسون (Deslandes & Dickerson, 1989) نتایج بررسی‌های خود را در خصوص نگهداری از روسازی راه‌های معدنی ارائه کردند. هاستورلید و کوچتا (Hustrulid & Kuchta, 2006) روش‌های طراحی کاواک‌ها را جمع‌آوری نمودند. تامسون و ویسر تحقیقات متنوعی بر روی راه‌های معدنی ارائه کردند که از آن جمله می‌توان به بررسی کیفیت و کارایی مصالح روسازی این نوع از جاده‌ها اشاره نمود (Thompson & Visser, 2000 & 2006) و همچنین به ارائه سیستم‌های مدیریت تعمیر و نگهداری از جاده‌های معدنی پرداختند (Thompson & Visser, 2003). دِین و همکارانش (Dwayne, 2001)مجموعه مستقلی از اصول طراحی جاده‌های معدنی برای معادن بزرگ سطحی را گردآوری کردند. با مروری بر مطالعات انجام شده در منابع یاد شده می‌توان به روشنی دریافت که طراحی جاده‌های معدنی با اغلب جنبه‌های مهم راهبردی به دقت مورد مطالعه و پژوهش قرار گرفته است، اما پژوهشی با رهیافت انتخاب مسیر از میان چند گزینه با معیارهای فنی و به صورت یک الگوریتم ریاضی تاکنون انجام نشده که می‌تواند در این حوضه بسیار راهگشا باشد.

۲- انتخاب پارامترهای موثر در تحلیل

الگوریتم پیشنهادی با نام SBMR معرفی می شود که مخفف کلمات انتخاب بهترین راه معدنی است. برای بدست آوردن مدل کارآمد لازم است تا اولین قدم در تحلیل سلسله مراتبی انتخاب پارامترهای موثر و دسته‌بندی آنها باشد. سه معیار اصلی در این پژوهش معیارهای فنی، اقتصادی و محیطی بودند که بر این اساس ۱۸ پارامتر با توجه به ماهیت مسئله انتخاب شدند. در انتخاب این پارامترها ابتدا به معیارهای موجود در طراحی راه‌ها بر اساس استانداردها و دستورالعمل‌های معتبر جهانی (Iran Plan & Budget

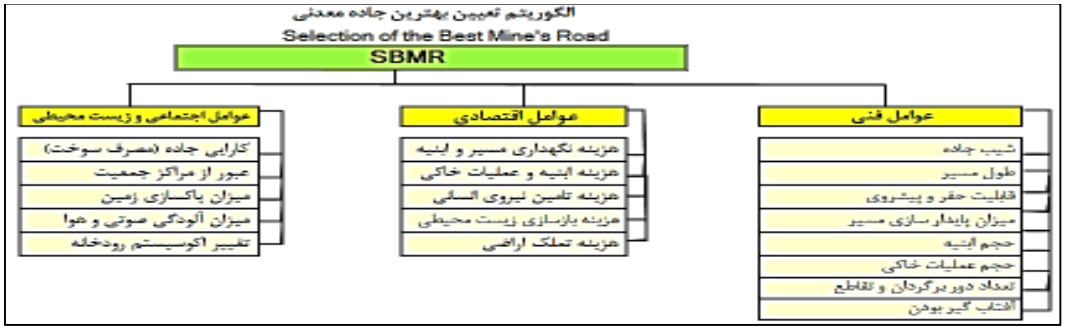
Organization, No. 196, 2000 & 415, 2012; AASHTO, 2001) توجه شد و علاوه بر آن از کمک چندین مهندس طراح خبره و با سابقه بیش از بیست سال در زمینه راه و راه آهن استفاده شده است. پارامترهای مورد اشاره در جدول ۱ درج شده‌اند.

۳- تعیین ساختار کلی مدل سلسله مراتبی

برای تعیین اهمیت (وزن) هر یک از پارامترها در فرایند تحلیل سلسله مراتبی، استفاده شده است. از آنجایی که این فرآیند با مجموعه‌ای از قضاوت‌های شخصی به یک شیوه منطقی آغاز می‌شود، از نظرات متخصصین و کارشناسان طراحی راه و راه آهن برای تعیین میزان اهمیت هر پارامتر نسبت به سایر پارامترها استفاده شده است. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌گردد، ساختار کلی سلسله مراتب با سه دسته اصلی از پارامترها تشکیل شده و برای هر شاخه ماتریس تقابلی مربوطه تهیه و تحلیل شد. تعاریف هر یک از پارامترها در جدول ۲ آورده شده است. همچنین ماتریسی نهایی برای بررسی اثر تقابلی سه گونه پارامتر اصلی نوشته و تحلیل گشت. وزن‌های حاصل شده از هر ماتریس در وزن شاخه اصلی سلسله مراتب ضرب گردیده است. محدوده مقادیر امتیازدهی به هر پارامتر بر اساس اصول AHP با مقیاس ۱ تا ۹ تعریف شده است (Saaty, 1977). در این پژوهش در فرآیند امتیازدهی به هر پارامتر تلاش شد که جهت کاهش پراکندگی مقادیر امتیاز ارجحیت پارامترها و تأمین مقدار مجاز سازگاری ماتریس از گستره مقادیر یک تا پنج استفاده شود. این استدلال با توجه به نزدیکی مقدار شاخص ارجحیت هر پارامتر نسبت به دیگر پارامترها و همچنین تهیه تعداد زیادی ماتریس تقابلی و مقایسه نتایج آنها با یکدیگر بدست آمده است. پس از تهیه ماتریس نهایی با میانگین‌گیری به روش میانگین هندسی (رابطه ۱) از هر سطر از ماتریس، اقدام به نرمالیزه نمودن امتیاز میانگین نسبت به مجموع ستونی امتیازها شد (Saaty, 1977).

جدول ۱. پارامترهای مورد نظر در این پژوهش و معیارهای سه گانه

معیار فنی	معیار اقتصادی	معیار محیطی
شیب جاده	هزینه نگهداری مسیر و ابنیه	کارایی جاده (از نظر مصرف سوخت)
طول مسیر	هزینه احداث ابنیه و عملیات خاکی	عبور از مراکز جمعیت
قابلیت حفر و پیشروی	هزینه تامین نیروی انسانی	میزان پاکسازی زمین
میزان پایدار سازی مسیر	هزینه بازسازی زیست محیطی	میزان آلودگی صوتی و هوا
حجم ابنیه	هزینه تملک اراضی	تغییر اکوسیستم رودخانه
حجم عملیات خاکی		
تعداد دور برگردان و تقاطع		
آفتابگیر بودن مسیر		



شکل ۱. ساختار سلسله مراتب مورد پژوهش

جدول ۲. معرفی پارامترهای موثر انتخابی در الگوریتم پیشنهادی SBMR

پارامتر	تعریف
شیب جاده	مقدار حداکثر آن ۱۲/۵ درصد بوده اما معمولا بین ۸ تا ۱۰ درصد انتخاب می شود.
قابلیت حفر و پیشروی	این پارامتر بستگی به وضعیت زمین از بابت خاکی و یا سنگی بودن آن دارد. در زمین سنگی شرایط آن با روش طبقه‌بندی کریستن ۱۹۸۲ قابل انتخاب است.
میزان پایدار سازی مسیر	این پارامتر شرایط ژئوتکنیکی مسیر جاده و نیاز آن به تامین پایداری را نشان می‌دهد. مانند تثبیت ترانشه، دیوار سازی، تحکیم بستر و ... .
حجم ابنیه	تعداد و نوع ابنیه راه مانند پل، تونل، گالری، دیوار و آبرو در هر کیلومتر از مسیر
حجم عملیات خاکی	در محیط خاکی، مقدار حجم خاکریزی و خاکبرداری و در محیط سنگی، کوه بری بر حسب متر مکعب
آفتاب گیر بودن	به منظور بهره‌برداری و افزایش میزان آماده به کار بودن جاده‌ها در مناطق سردسیر، آفتاب گیر بودن راه، بسیار مهم است.
هزینه نگهداری مسیر و ابنیه	جاده‌ها پس از احداث، نیاز به نگهداری و گاهی بهسازی دارند (به ویژه در فصول بارندگی). مانند عملیات تسطیح در جاده خاکی، روکش آسفالت و تقویت پل‌ها و تثبیت ترانشه‌ها و زمین لغزش‌ها.
هزینه بازسازی زیست محیطی	معمولاً در حین عملیات ساخت راه بخشی از محیط زیست تخریب می‌شود و یا به دو نیمه مجزا تقسیم می‌شود که باید بازسازی شود و برای عبور حیات وحش معبرهای مناسب طراحی و ساخته شود.
هزینه تملک اراضی	به منظور احداث راه نیاز است تا زمین‌های مسیر و حریم راه خریداری شود. گاهی با توجه به شرایط ژئوتکنیکی زمین و خط پروژه محدوده قابل ملاحظه‌ای از زمین اشغال می‌شود.
کارایی جاده (مصرف سوخت)	با توجه به مشخصات فنی مسیر، مانند شیب و طول مسیر و تعداد قوس‌ها و راحتی و ایمنی رانندگی در مسیر، میزان مصرف سوخت به عنوان کارایی جاده تعریف شده است.
میزان پاکسازی زمین	به منظور احداث بستر جاده در روی زمین (خاکبرداری تا ارتفاع خط پروژه)، لازم است تا سطح زمین از پوشش گیاهی و خاک نباتی پاکسازی شود.
تغییر اکوسیستم رودخانه	گاهی به منظور احداث پل و یا دیوار مجاور رودخانه، مسیر رودخانه منحرف می‌شود و یا مجرای آن کاهش می‌یابد که سبب بروز پدیده آب شستگی در پای پل‌ها و دیوارها می‌شود. گاهی نیز به منظور تامین مصالح سنگ دانه‌ای از رسوبات بستر رودخانه استفاده می‌شود. علاوه بر این معمولاً در حین احداث مسیر تعدادی از دره‌ها و آبراهه‌های کوچک موجود در منطقه با خاکریزی پر می‌شوند. این عوامل باعث تغییر دبی رودخانه و به طور کلی تغییر اکوسیستم آن می‌شود.

$$Y = \sqrt[n]{X_1 \times X_2 \times \ldots \times X_n} \qquad (۱)$$

Y : مقدار میانگین هندسی

X_1 : مقدار آرایه اول هر سطر

X_n : مقدار آرایه nام هر سطر

برای سنجیدن میزان سازگار بودن ماتریس به معنای منطقی بودن سیستم امتیازدهی سلسله مراتب، ابتدا مقدار ویژه ماتریس با رابطه ۲ محاسبه شد. مقدار ویژه نهایی و یکتای ماتریس، حاصل میانگین ستونی ماتریس مقدار ویژه (λmax) است (Ghodsi poor, 2013).

$$A.W = \lambda_{max}.W \qquad (۲)$$

$$\lambda_{max} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lambda_{max\,i}}{n} \qquad (۳)$$

A : ماتریس تقابلی

W : ماتریس وزن پارامترها

λ_{max} : مقدار ویژه

n : تعداد سطرها که همان تعداد پارامترهاست

برای محاسبه مقدار نرخ ناسازگاری ماتریس تقابلی ابتدا مقدار شاخص ناسازگاری محاسبه شده و سپس با انتخاب شاخص تصادفی ناسازگاری از جدول ۳ محاسبه نهایی صورت گرفت. حد نصاب مورد قبول نرخ ناسازگاری ماتریس تقابلی ۰/۱ است (Ghodsi poor, 2013).

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \quad (٤)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R.} \leq 0.1 \quad (٥)$$

I.I. : شاخص ناسازگاری

I.I.R. : شاخص تصادفی ناسازگاری

I.R. : نرخ ناسازگاری

جدول ۳. شاخص تصادفی ناسازگاری (I.I.R.) (Ghodsi poor, 2013)

n	۱	۲	۳	۴	۵
I.I.R.	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲
n	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R.	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

با توجه به وزن بدست آمده هر پارامتر لازم است تا مقدار عددی امتیاز هر کدام تعیین شود و برای این منظور باید یک محدوده عددی مبنا انتخاب شود که کاملاً اختیاری است. به منظور سهولت در کاربرد جدول‌های نهایی، محدوده مورد بحث بین صفر تا صد اختیار شد. بنابراین مقدار وزن هر پارامتر در عدد ۱۰۰ ضرب گردیده تا حداکثر مقدار امتیاز محدوده تعریف شده محاسبه شود. به همین ترتیب مقدار وزن در ۷۵، ۵۰، ۲۵ و ۰ ضرب شد تا سایر امتیازها برای هر یک از پارامترها محاسبه شود. بنابراین حداکثر مقدار امتیاز در این مدل پیشنهادی ۱۰۰ می‌باشد.

۳-۱- بررسی ماتریس عوامل فنی

پس از تشکیل ماتریس اولیه پارامترهای مورد نظر عوامل فنی مندرج در جدول ۱، بنابر استاندارد روش AHP امتیازدهی شدند. برای امتیازدهی در ماتریسِ ارجحیت، از نظر ۱۲ متخصص استفاده شده و میانگین نظرات آنها در ماتریس امتیازات درج شده است. شکل ۲ این ماتریس را نشان می‌دهد. برای انجام محاسبات یک برنامه کامپیوتری تحلیلی با کمک نرم افزار اکسل نوشته شده است. نرخ ناسازگاری این ماتریس در حد قابل قبول، یعنی مقدار ۰/۰۹٤ که کوچکتر از مقدار ۰/۱ است، بدست آمد. البته این مهم با چندین دوره سعی و خطا از نظر سنجی و تحلیل حاصل شد. محاسبات در شکل ۳ درج شده است.

۳-۲- بررسی ماتریس عوامل اقتصادی

برای این دسته از پارامترها نیز مانند گروه پارامترهای فنی عمل شد و ماتریس تقابلی و بررسی سازگاری آن تهیه و تعیین گردید. ماتریس‌ها و محاسبات مربوطه مشابه فرایند پیشین انجام شده و نرخ ناسازگاری این ماتریس در حد قابل قبولِ ۰/۰۸٤، بدست آمد.

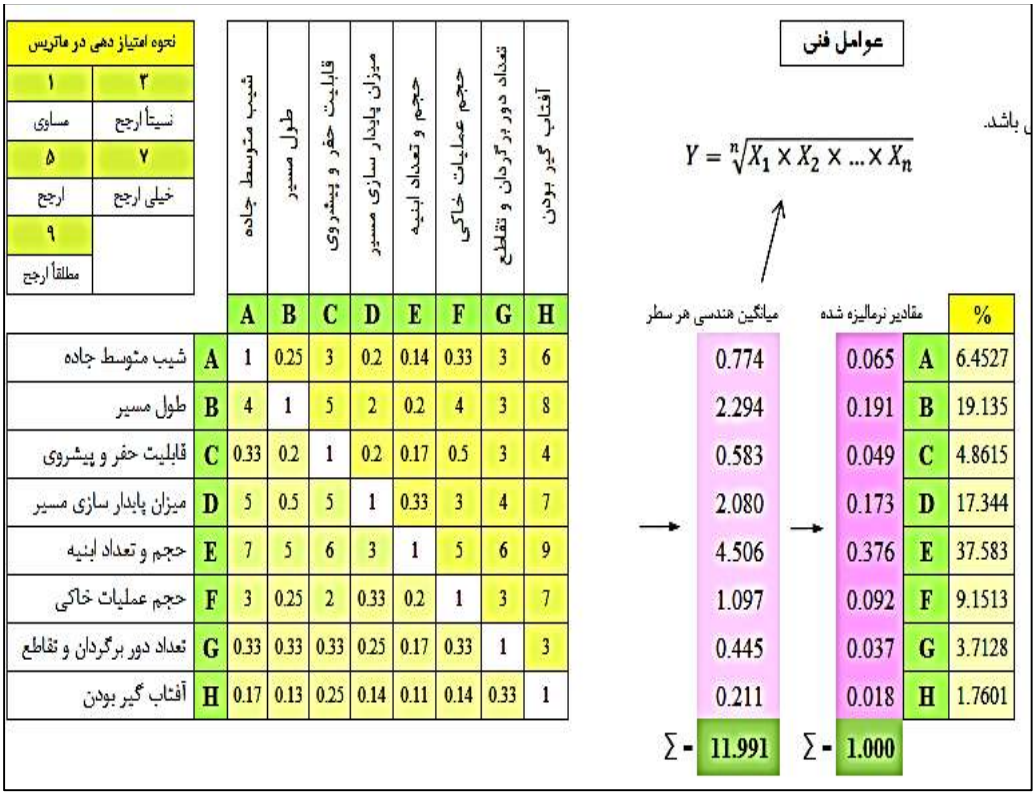
۳-۳- بررسی ماتریس عوامل محیطی (اجتماعی و زیست محیطی)

برای دسته پارامترهای عوامل محیطی نیز مانند دو گروه پارامترهای فنی و گروه اقتصادی عمل شد و ماتریس تقابلی و بررسی سازگاری آن مورد محاسبات لازم قرار گرفت. نتیجه محاسبات و تحلیل‌ها حاکی از آن بود که نرخ ناسازگاری این ماتریس در حد قابل قبولِ ۰/۰۵۹، می‌باشد.

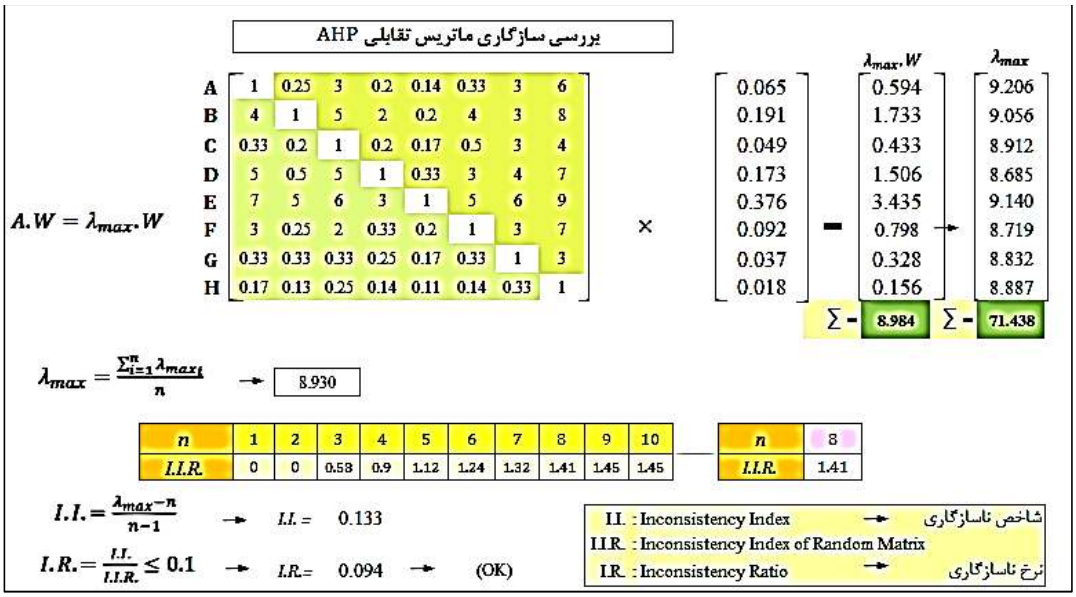
۳-٤- مقایسه معیارها

در این مرحله از تحلیل هر یک از معیارهای سه گانه کلی با یکدیگر مقایسه شدند تا مقدار عددی وزن و ارجحیت هر گروه از پارامترها نسبت به دیگری روشن شود. با همین روش برای سایر پارامترها، ماتریس‌های مربوطه تشکیل شده و محاسبات لازم صورت گرفت. این بررسی نشان داد که نرخ ناسازگاری این ماتریس در حد قابل قبول، یعنی مقدار ۰/۰۷٤ می‌باشد.

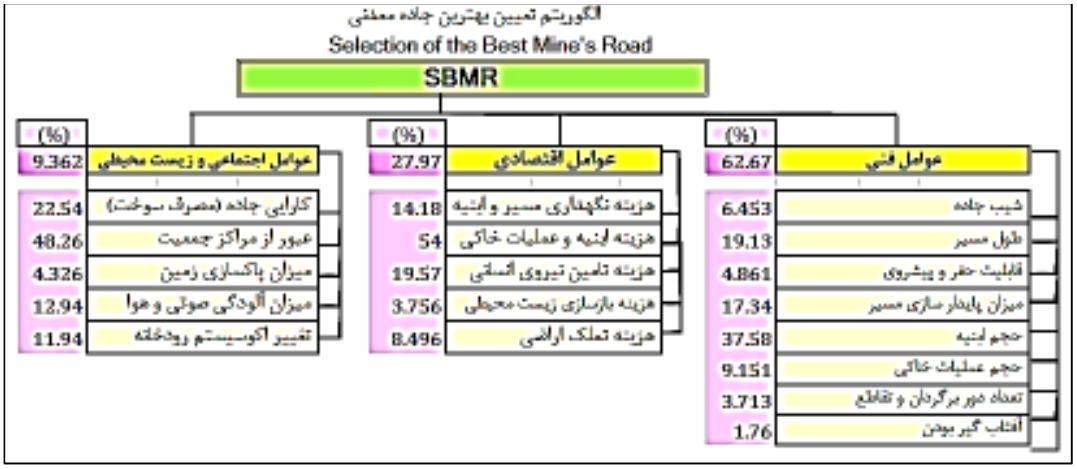
نتیجه بررسی نهایی و اوزان هر پارامتر در شکل ٤ آورده شده است.



شکل ۲. ماتریس ارجحیت یا ماتریس تقابلی عوامل فنی



شکل ۳. بررسی ماتریس تقابلی عوامل فنی



شکل ٤. اوزان هر پارامتر در ساختار سلسله مراتبی نهایی (بر حسب درصد)

٤- الگوریتم سلسله مراتبی

بنابر تحلیل‌های انجام شده یک الگوریتم جدید با قابلیت کاربرد در طراحی جاده‌های معدنی، با سیستم امتیازدهی و محدوده مقادیر صفر تا صد و بر اساس اوزان به دست آمده ارائه شده است. رابطه عمومی پیشنهادی برای این الگوریتم جدید مطابق فرمول ٦ می‌باشد. این رابطه دارای سه ضریب وزنی برای هر یک از پارامترهای اصلی مدل پیشنهادی است که در جدول ٤ مقادیر هر یک از آنها درج شده است.

$$SBMR = \alpha A + \beta B + \gamma C \qquad (٦)$$

SBMR: مقدار عددی سیستم انتخاب بهترین جاده دسترسی معادن

A: مجموع امتیازهای عوامل فنی

B: مجموع امتیازهای عوامل اقتصادی

C: مجموع امتیازهای عوامل محیطی

α, β, γ: ضرایب وزنی هر دسته از عوامل سه گانه A و B و C (مطابق جدول ٤)

جدول ٤. ضرایب وزنی هر گروه از پارامترهای سه گانه اصلی

ضریب وزنی	مقدار ضریب
α	۰/۶۲۷
β	۰/۲۸۰
γ	۰/۰۹۴

جدول ٥ برای امتیازدهی به پارامترهای فنی و جدول ٦ برای امتیازدهی به پارامترهای اقتصادی و جدول ۷ برای امتیازدهی به پارامترهای محیطی تهیه شده‌اند. برای تعیین مقدار امتیاز هر آیتم از مضرب مقدار عددی مبنا و ضریب وزنی هر پارامتر استفاده شده است. به منظور مشخص نمودن میزان قابلیت حفر به صورت کمّی، روش پیشنهادی کریستن (Kirsten, 1982) بکار گرفته شده است.

جدول ٥. امتیازهای پارامترهای فنی (وزن داده شده)

A	دامنه امتیازدهی بر اساس عوامل فنی				
شیب متوسط جاده (D) ٪	D ≤ 4	4 < D ≤ 6	6 < D ≤ 8	8 < D ≤ 10	D > 10
	6.5	**4.8**	**3.2**	**1.6**	**0.1**
طول مسیر (L)	L ≤ 500 m	500 < L ≤ 5000	5000 < L ≤ 10000	10000 < L ≤ 20000	L > 20000
	19.1	**14.4**	**9.6**	**4.8**	**0.1**
قابلیت حفر و پیشروی (N)	N ≤ 10	10 < N ≤ 100	100 < N ≤ 1000	1000 < N ≤ 10000	N > 10,000
	4.9	**3.6**	**2.4**	**1.2**	**0.1**
میزان پایدار سازی مسیر	بسیار آسان	آسان	متوسط	دشوار	خیلی دشوار
	17.3	**13.0**	**8.7**	**4.3**	**0.1**
حجم ابنیه (تعداد در هر کیلومتر) (n)	n ≤ 2	2 < n ≤ 4	4 < n ≤ 6	6 < n ≤ 8	n > 8
	37.5	**28.2**	**18.8**	**9.4**	**0.1**
حجم عملیات خاکی (V)	V ≤ 50	50 < V ≤ 200	200 < V ≤ 500	500 < V ≤ 1000	V > 1000
	9.2	**6.9**	**4.6**	**2.3**	**0.1**
تعداد دور برگردانها و تقاطعها در هر کیلومتر (W)	W = 0	1 ≤ W < 3	3 ≤ W < 6	6 ≤ W < 10	W ≥ 10
	3.7	**2.8**	**1.9**	**0.9**	**0.1**
آفتاب گیر بودن	تمام مسیر	اغلب قسمت‌ها	نیمی از مسیر	بسیار محدود	هیچ قسمت از مسیر
	1.8	**1.3**	**0.9**	**0.4**	**0.1**
V: حجم عملیات خاکی بر حسب ۱۰۰۰ متر مکعب است.					
N: برای این شاخص از سیستم طبقه بندی کریستن استفاده می شود [۲۳].					

جدول ٦. امتیازهای پارامترهای اقتصادی (وزن داده شده)

B	دامنه امتیازدهی بر اساس عوامل اقتصادی				
هزینه نگهداری مسیر و ابنیه	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	14.2	**10.6**	**7.1**	**3.5**	**0.1**
هزینه ابنیه و عملیات خاکی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	54.0	**40.5**	**27.0**	**13.5**	**0.1**
هزینه تامین نیروی انسانی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	19.5	**14.7**	**9.8**	**4.9**	**0.1**

هزینه بازسازی زیست محیطی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	3.8	**2.8**	**1.9**	**0.9**	**0.1**
هزینه تملک اراضی	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	8.5	**6.4**	**4.2**	**2.1**	**0.1**

جدول ۷. امتیازهای پارامترهای محیطی (وزن داده شده)

C	دامنه امتیازدهی بر اساس عوامل اجتماعی و زیست محیطی				
کارایی جاده (مصرف سوخت)	عالی	خوب	متوسط	ضعیف	خیلی ضعیف
	22.5	**16.9**	**11.3**	**5.6**	**0.1**
عبور از مراکز جمعیت (P)	$P \geq 5000$	$1000 \leq P < 5000$	$500 \leq P < 1000$	$0 < P \leq 500$	$P = 0$
	48.2	**36.2**	**24.1**	**12.1**	**0.1**
میزان پاکسازی زمین	هیچ	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	4.3	**3.2**	**2.2**	**1.1**	**0.1**
میزان آلودگی صوتی و هوا	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	13.0	**9.7**	**6.5**	**3.2**	**0.1**
تغییر اکوسیستم رودخانه	هیچ	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
	12.0	**9.0**	**6.0**	**3.0**	**0.1**

P: تعداد جمعیت

۵- ارزیابی کارایی سیستم SBMR در یک مطالعه موردی

به منظور ارزیابی میزان کارایی سیستم پیشنهادی یکی از پروژه های معدنی در استان کرمان مورد نظر قرار گرفت. مطالعه موردی راه دسترسی معدن مس نوچون و کارخانه تغلیظ مس واقع در شهرستان سیرجان است. مشخصات راه مورد نظر عبارت بود از راه اصلی دو طرفه به عرض ۱۱ متر با سرعت طرح ۸۰ کیلومتر در ساعت و حداقل شعاع قوس ۱۵۰ متر. مختصات ابتدا و انتهای مسیر در سیستم تصویر UTM به ترتیب برابر است با ۳۹۳۱۸۹ شرقی، ۳۳۰۷۰۶٤ شمالی و ۳۸۸۵٦۱ شرقی، ۳۳۰۹۲٦۹ شمالی. ارتفاع معدن از سطح دریا ۲٦۹۵ متر و ارتفاع کارخانه تلغیظ ۲٤٦۳ متر است. به منظور طراحی هندسی مسیر و بر اساس بررسی‌های صورت گرفته و بازدیدهای میدانی، چهار مسیر انتخاب شد تا مورد ارزیابی قرار گیرند. تمام شاخص‌های مورد نظر در سیستم SBMR برای هر چهار مسیر شناسایی، اندازه‌گیری و تخمین زده شد. طول هر کدام از مسیرهای چهارگانه به ترتیب برابر بودند با ۱۲، ۱٤، ۱٦ و ۱۸ کیلومتر. پس از استفاده از الگوریتم پیشنهادی، مسیر دوم با طول ۱٤ کیلومتر و شیب متوسط ۷ درصد و با مجموع امتیاز ۵۹ به عنوان بهترین مسیر انتخاب شد. جزییات محاسبات صورت گرفته در جداول ۸ تا ۱۰ آورده شده است.

جدول ۸ امتیازهای پارامترهای فنی

A	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
شیب متوسط جاده (D)	8.5	7	7	6
	1.6	**3.2**	**3.2**	**3.2**
طول مسیر (m)	12000	14000	16000	18000
	0.1	**0.1**	**0.1**	**0.1**
قابلیت حمل و پیشروی (M)	110	155	55	25
	2.4	**2.4**	**3.6**	**3.6**
میزان پایدار سازی مسیر	متوسط	آسان	متوسط	متوسط
	8.7	**13**	**8.7**	**8.7**
حجم ابنیه (تعداد در هر کیلومتر) (B)	3	2	4	6
	28.2	**37.6**	**28.2**	**18.8**
حجم عملیات خاکی (V)	120000	480000	630000	730000
	2.3	**4.6**	**2.3**	**2.3**
تعداد دور برگردانها و تقاطعها (W)	3	2	4	6
	1.9	**2.8**	**1.9**	**0.9**
انتخاب گیر بودن	کلب ایستگاهی مسیر	کلب ایستگاهی مسیر	کلب ایستگاهی مسیر	کلب ایستگاهی مسیر
	0.9	**0.9**	**1.3**	**1.3**
∑ A =	**46.1**	**64.6**	**49.3**	**38.9**

جدول ۹. امتیازهای پارامترهای اقتصادی

B	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
هزینه نگهداری مسیر و ابنیه	متوسط	کم	متوسط	متوسط
	7.1	**10.6**	**7.1**	**7.1**
هزینه ابنیه و عملیات خاکی	زیاد	زیاد	زیاد	زیاد
	13.5	**17**	**13.5**	**13.5**
هزینه تامین نیروی انسانی	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
	3.8	**3.8**	**4.9**	**4.9**
هزینه بازسازی زیست محیطی	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
	1.9	**1.9**	**0.9**	**0.9**
هزینه تملک اراضی	زیاد	زیاد	متوسط	زیاد
	2.1	**2.1**	**4.2**	**2.1**
∑ B =	**54.4**	**51.4**	**50.6**	**28.5**

جدول۱۰. امتیازهای پارامترهای زیست محیطی

C	Variant 1	Variant 2	Variant 3	Variant 4
کارایی جاده (مصرف سوخت)	متوسط	متوسط	متوسط	خوب
	5.6	**11.3**	**11.3**	**16.9**
عبور از مراکز جمعیت (P)	200	200	700	1200
	12.1	**12.1**	**24.1**	**36.2**
میزان پاکسازی زمین	متوسط	متوسط	زیاد	زیاد
	2.2	**2.2**	**1.1**	**1.1**
میزان آلودگی صوتی و هوا	کم	متوسط	متوسط	متوسط
	6.5	**6.5**	**6.5**	**6.5**
تغییر اکوسیستم رودخانه	هیچ	هیچ	هیچ	هیچ
	11.9	**11.9**	**11.9**	**11.9**
∑ C =	**41.5**	**44**	**54.9**	**72.6**
SBMR = A+B+C =	**42.4**	**59.0**	**44.6**	**39.1**

٦- نتیجه‌گیری

روش پیشنهادی SBMR برای اولین بار و به منظور کمّی‌سازی معیارهای تصمیم‌گیری برای انتخاب بهترین گزینه مسیر برای جاده‌های دسترسی به معادن ارائه شد. در این مدل که بر اساس تحلیل سلسله مراتبی بدست آمده هجده پارامتر در سه دسته کلی با معیارهای فنی، اقتصادی و محیطی در نظر گرفته شدند. حساس‌ترین پارامتر، میزان حجم ابنیه از معیارهای فنی با درصد اهمیت ۲۳/٦ ٪ بوده و میزان پاکسازی زمین پارامتری است که کمترین حساسیت را با ۰/٤ ٪ دارد.

ساختار نهایی مدل پیشنهاد شده به صورت جداول معینی با امتیازدهی به هر پارامتر و در محدوده عددی ۰/۱ تا ۱۰۰ ارائه شده است. با کمک این سیستم می‌توان نسبت به انتخاب گزینه بهینه در جاده‌های دسترسی به معادن به صورت تحلیلی و مستدل اقدام نمود.

۷- قدردانی

این مقاله مستخرج از یک طرح پژوهشی مستقل تحت عنوان "*سیستم جدید طراحی بهینه جاده‌های دسترسی معادن بر اساس شاخص‌های فنی و اقتصادی و پارامترهای موثر محیطی*" بوده که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد محلات انجام شده است.

۸- مراجع

-(2001), "American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)", "A policy on geometric design of highways and streets".

-Atkinson, T., (1992), "Design and layout of haul roads", Chapter 13.4 - SME Mining Engineering Handbook. 2nd edition, Society of Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc. Littleton, Colorado, pp. 1334-1342.

-Cameron, R. & Lewko, R., (1997), "Gravel specifications and crushing, sampling and stockpiling procedures", Syncrude Canada Limited, Internal Report,

-Cameron, R., Lewko, R., Golden, M., (1999), "Summary of 11 Years of Haul Road Design, Construction, Monitoring and Maintenance at Syncrude Canada Limited from 1988 to 1999 for Heavy Haulers Increasing from 170-Ton Payloads to 360-Ton Payloads", Internal Report, Syncrude Canada Limited.

-Darling, P., (2011), "Mining Engineering Handbook", Third Edition, SME.

-Deslandes, J.V. & Dickerson, A.W., (1989), "A new concept for mine haul route surface maintenance", Proc. Int. Symp. On Off-Highway Haulage in Surface Mines, Balkema, Rotterdam, pp. 247-254.

-Dwayne, D., Tannant, A., Regensburg, B., (2001), "Guidelines for mine haul road design", School of Engineering, University of British Columbia.

-Ghodsi poor, H., "Analytical Hierarchy Process (AHP)", Amirkabir University Publication, (2013).

-Hartman, H.L. & Mutmansky, J.M., , (2002). "Introductory Mining Engineering", 2nd ed. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons.

-Hustrulid, W. & Kuchta, M., (2006), "Open Pit Mine Planning and Design", London: Taylor and Francis.

-(2015), "Iran Plan & Budget Organization, Highway Geometric Design Code (No. 415)".

-(2000), "Iran Plan & Budget Organization", Rural road code (No. 196).

-Karafiath, L.L., (1988), "Rolling resistance of off-road vehicles", J. Const. Eng. and Management, ASCE, 114(3), pp. 458-471.

-Kaufman, W.W. & Ault, J.C., (1977), "Design of surface mining haulage roads – a manual", U.S. Department of Interior, Bureau of Mines, Information Circular, 8758.

-Kirsten, H.A.D., (1982), "Classification system for excavation in natural materials", The Civil Engr. in South Africa, 24, pp. 293-306.

-Kolada, R.J., (1989), "The analysis of mine haulage economics using direct rolling resistance measurements", Proc. Int. Symp. on Off-Highway Haulage in Surface Mines, Balkema, Rotterdam, pp. 239-246,

-Monenco, Inc., (1986), "Highvale Mine Haul Road Dust Control Study", Report prepared for Trans Alta Utilities Corp.

-Saaty, T, (1977), "A scaling method for priorities in hierarchic strictures", Journal of Mathematical Psychology, 15, pp. 234-281.

-Schering, D.J. & Redfield, J.S., "Effect of tire rolling loss on fuel consumption of trucks", Rolling Resistance of Highway Truck Tires, SP-546, Truck & Bus Meeting & Exposition, Indianapolis, Indiana (1982).

-Shukla, R.S., Arya, I.R. & Harit, M.C., (1989), "Design, construction and maintenance of haul roads for heavy loads", Proc. Int. Symp. on Off-Highway Haulage in Surface Mines, Balkema, Rotterdam, pp. 267-272.

-Thompson, R.J. & Visser, A.T., (2003), "Mine haul road maintenance management systems", J. S. Afr. Inst. Min. Metall. SAIMM, 103, pp. 303-312.

-Thompson, R.J. & Visser, A.T., (2006), "Selection and maintenance of mine haul road wearing course materials", Trans (A) (Min. Technol), Inst. Min. Metall. Mater. 115(4), pp. 140-153.

-Thompson, R.J. & Visser, A.T., (2000), "The evaluation of mine haul road wearing course material performance", Surface Mining - Braunkohl & Other Minerals, 52(4), pp. 409-415.