انتخاب گزینه مناسب مسیرهای جاده‌ای در مناطق کوهستانی با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره

مقاله علمی – پژوهشی

علی ممبینی، گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
سید محمود جزایری مقدس*، گروه مهندسی عمران، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: m.jazayeri@iau.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۱۶- پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۷
صفحه ۴۱۴-۴۰۱

چکیده

فرآیند انتخاب مسیر به عنوان اولین گام در طراحی و مهندسی راهسازی همواره با گزینه‌های مختلفی روبرو است، که مناسب ترین آنها باید انتخاب گردد. هدف از این مطالعه بررسی معیارهای موثر و تاثیر گذار در تصمیم گیری و انتخاب گزینه مناسب برای احداث مسیر جاده ای در مناطق کوهستانی است. مطالعه موردی در این پژوهش انتخاب مسیر مناسب محور آبگنجی-مسجد سلیمان با استفاده از چهار معیار ایمنی و فنی، محیط زیست، هزینه و زمان است. بدین منظور ابتدا با استفاده از نظرات ۱۵ کارشناس ارزش وزنی هر زیر معیار در معیار اصلی تعیین و امتیاز زیرمعیارها بر اساس مطالعات و مستندات موجود از بررسی‌های اولیه تعیین شد و سپس با استفاده از روش آنتروپی شانون تعیین وزن هر معیار انجام گرفت. پس از آن با استفاده از روش وزن دهی ساده وزن نهایی هر گزینه محاسبه گردید و گزینه ٤ به عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب شد. پس از آن گزینه‌های ۳، ۱ و ۲ به ترتیب با در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در نهایت عوامل بسیاری در فرآیند انتخاب مسیر موثرند که میزان ارزش و تاثیر آنها در مسیر یکسان نیست. ملاحظات ایمنی مسیر و معیارهای فنی پروژه‌های عمرانی، تاثیر پروژه مورد نظر بر محیط زیست و همچنین ساختار فیزیکی منطقه، معیارهای تعیین کننده هزینه و مدت زمان فعالیت‌های پروژه از مواردی هستند که باید مورد توجه قرار گرفته و در تصمیم‌گیری نهایی لحاظ گردند.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتخاب مسیر، مناطق کوهستانی، آنتروپی شانون، روش وزن‌دهی ساده (SAW)

۱- مقدمه

در کشور ایران در مقایسه با سایر کشورها به سبب ویژگی‌های جمعیتی، وسعت زیاد، شهرهای پراکنده، وجود نواحی دورافتاده و حاشیه‌ای، گسستگی ارتباطات بین منطقه‌ای، شرایط خاص اجتماعی-اقتصادی و مراحل و درجات خاص توسعه، حمل ونقل به عنوان یک بخش زیربنایی، اثرات فراوانی در اقتصاد و توسعه اقتصادی دارد. لذا در کشور ما حمل ونقل و امور مربوط به آن در اقتصاد و تحولات اقتصادی اهمیت زیادی دارد که باید زیرساخت‌های لازم از جمله مسیرهای ایمن و جاده‌های استاندارد درون و برون شهری را برای ارتقاء کیفیت این سیستم فراهم ساخت (حبیبی نوخندان و کمالی، ۱۳۸۵). جاده‌ها نقشی اساسی در مدیریت، حفاظت و احیاء محیط زیست در مناطق کوهستانی دارند که با مسیریابی و طراحی اصولی آن‌ها در پروژه‌ها، می‌توان از وارد شدن بخش زیادی از خسارات احتمالی به محیط زیست و ساختار منطقه جلوگیری کرد و در عین حال فضا را برای مدیریت بهینهٔ زمان و هزینه فراهم نمود (حبیبی نوخندان و کمالی، ۱۳۸۵). طراحی و انتخاب مسیر مناسب جهت احداث در مناطق کوهستانی بسیار حائز اهمیت است و باید با بررسی دقیق شرایط، پتانسیل‌ها و محدودیت‌های

موجود در منطقه همراه است. شناسایی داده‌ها و اطلاعاتی که بر بهره‌وری‌های انسانی از محیط طبیعی موثرند، نیازمند ارزیابی دقیق توسط متخصصین در زمینه‌های مختلف است. منظور از ارزیابی، بررسی توان محیطی منطقه و طبقه‌بندی درجه‌ی مرغوبیت و مناسبت محیط برای انجام فعالیت مورد نظر است (منوری، ۱۳۸۱). توانمندی‌های محیط طبیعی و انسانی برای انتخاب گزینه مناسب شامل توان وضع موجود، توان نهفته منطقه، ملاحظات مالی و ... است که وسعتی گسترده دارند (مختارانی و زاهد، ۱۳۹۲). عوامل بسیاری در انتخاب مسیر موثرند که میزان ارزش و تاثیر آنها در طراحی مسیر یکسان نیست. ملاحظات ایمنی مسیر و معیارهای فنی پروژه‌های عمرانی، تاثیر پروژه مورد نظر بر محیط زیست و ساختار فیزیکی منطقه، معیارهای تعیین کننده هزینه و مدت زمان فعالیت‌های پروژه از مواردی هستند که باید مورد توجه قرار گرفته و در تصمیم‌گیری نهایی لحاظ گردند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با تعیین وزن و اهمیت شاخص‌ها بر اساس نظرات متخصصین حوزه‌های مختلف، می‌توانند به خوبی در انتخاب گزینه مناسب موثر واقع شده و کارآمد باشند (عطائی، ۱۳۸۹). فرآیند انتخاب مسیر به عنوان اولین گام در طراحی و مهندسی خطوط راه همواره با گزینه‌های مختلفی روبرو است، که مناسب‌ترین آنها را باید انتخاب و سایر مسیرهای ممکن را نیز اولویت بندی نمود. عوامل فنی، زمان، هزینه، ایمنی و بسیاری عوامل موثر متعدد وجود دارد که لازم است وزن واقعی هرکدام در گزینه‌های مطرح شده تعیین گردد (اکبری و صالحی پور، ۱۳۹۰). در هر پروژه مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات وجود دارند که نیازمند ارزیابی دقیق یا به عبارتی بررسی شرایط محیطی منطقه برای انجام فعالیت مورد نظر هستند (منجم، ۱۳۹٤).

در این پژوهش محدوده مطالعاتی منطقه آب گنجی- مسجدسلیمان به عنوان مطالعه موردی انتخاب گردیده است که با هدف کوتاهی نسبی مسیر دسترسی اهواز – مسجدسلیمان، کاهش زمان سفر و افزایش سطح ایمنی مسیر برای ترددکنندگان از این محور، طراحی و اجرا میگردد. در وضعیت موجود، کیفیت پایین محور به لحاظ طرح هندسی و عرض کم محور، روسازی نامناسب و در بعضی از محدوده‌های طرح وجود شیب تند و پیچ‌های خطرناک باعث ایجاد تصادفات و کاهش سطح ایمنی مسیر در این محور شده است. عیب دیگر محور موجود ملاثانی – مسجدسلیمان طول نسبتاً زیاد محور و افزایش زمان سفر و ایجاد ترافیک عبوری از این محور شده است (مهندسین مشاور زیست افزا محیط، ۱۳۹۹). لذا هدف از این مطالعه بررسی معیارهای موثر و تاثیر گذار در تصمیم‌گیری و انتخاب گزینه مناسب برای احداث مسیر جاده‌ای در مناطق کوهستانی است.

۲- پیشینه پژوهش

فرآیند انتخاب مسیر به عنوان اولین گام در طراحی و مهندسی خطوط راه همواره با گزینه‌های مختلفی روبرو است، که مناسب ترین آنها را باید با بهره گیری از شرایط محیطی و ویژگی‌های منطقه انتخاب نمود. عوامل موثر متعدد وجود دارد که میتوان با بررسی آن‌ها به جمع بندی و اولویت‌بندی گزینه‌های موجود برای یک مسیر پرداخت. در هر پروژه مجموعه‌ای از داده‌ها و اطلاعات وجود دارند که در بهره‌وری‌های انسانی از محیط طبیعی موثر بوده و در راستای فعالیت‌های اقتصادی انسان کاربرد داشته‌اند و نیازمند ارزیابی دقیق می‌باشند. از بررسی کتب، مقالات معتبر ملی و بین المللی، گزارش‌ها و طرح‌های تفصیلی موجود تا حدودی اطلاعاتی در زمینه معیارهای موثر بر انتخاب مسیر به ویژه در مسیرهای جاده‌ای کسب شد، اما به طور ویژه مطالعات چندانی در زمینه انتخاب مسیرهای جاده ای در مناطق کوهستانی مشاهده نگردید و تنها می‌توان به تعدادی از مطالعاتی که دارای روش پژوهشی مشابه با پژوهش حاضر است، اکتفا نمود.

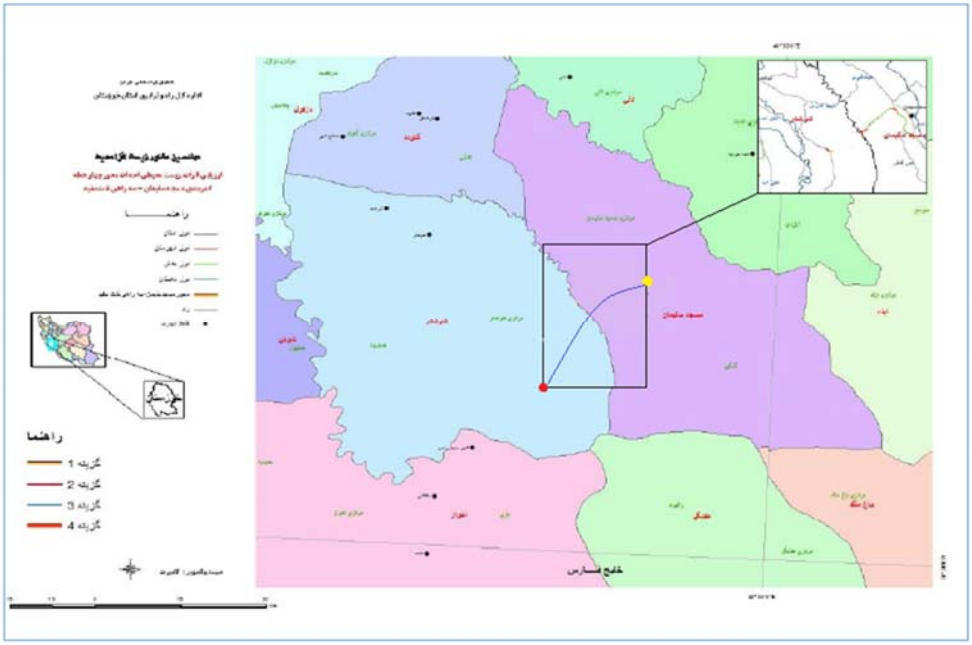
طی بررسی سوابق پژوهشی، از جمله پژوهش‌های انجام گرفته با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره پژوهش‌های پارساخو و یزدانی (۱۳۹۹)، مقیمی (۱۳۹۳) و آکای و همکاران (۲۰۱۲) از این روش در راستای انتخاب مسیر مناسب با استفاده از معیارهای موثر بهره گرفته‌اند. مرادی و همکاران (۱۳۹۹)، باقری (۱۳۹۷)، وزیری (۱۳۹۱)، امکسیز و اوکسل (۲۰۲۲)، ئوو و همکاران (۲۰۲۱) و اوستائگلو و همکاران (۲۰۲۱) از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب سایت مناسب و مکانیابی استفاده کرده‌اند. معلمی (۱۳۹۷)، رضوی (۱۳۸۷)، اولاح و همکاران (۲۰۱۸) و پادیلو و همکاران (۲۰۱٦) برای انتخاب بهترین گزینه بین چند گزینه موجود در تحقیقات خود از روش‌های تصمیم گیری چندمعیاره بهره گرفتند و در نهایت پژوهش‌های طاهری امیری و همکاران (۱۳۹۵)، جلیلی (۱۳۹۳) و گراوند (۱۳۹۳) برای انتخاب مناسبترین روش در مطالعات خود از تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده نموده‌اند.

در پژوهش حاضر نیز به دلیل اهمیت انتخاب مسیر مناسب در مناطق کوهستانی به شناسایی معیارهای موثر در انتخاب بهترین گزینه با توجه به شرایط منطقه و تاثیرات محیط زیستی بر منطقه و شرایط ایمن برای احداث جاده زمان کافی و هزینه مناسب معیارهایی تعیین و با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به وزن دهی شاخص‌های هر معیار و انتخاب بهترین گزینه پرداخته شده است.

۳- محدوده مطالعاتی پژوهش

استان خوزستان در محدوده ٤٧ درجه و ٤٢ دقیقه تا ٥٠ درجه و ٣٩ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ٢٩ درجه و ٥٨ دقیقه تا ٣٢ درجه و ٥٨ دقیقه شمالی از خط استوا قرار دارد. مسجد سلیمان با ٦٣٢٧/٩ کیلومترمربع مساحت، در شمال خاوری استان خوزستان واقع شده و مرکز آن شهر مسجد سلیمان است. این شهرستان از شمال به استان چهارمحال و بختیاری و دزفول، از شرق به استان چهارمحال و بختیاری و شهرستان ایذه، از غرب به شهرستان‌های شوشتر و اهواز و از جنوب به شهرستان رامهرمز محدود می‌شود. شهرمسجدسلیمان با ٢٧/٦ کیلومترمربع مساحت در ١٥٠ کیلومتری شمال شرقی اهواز بین ٣١ درجه و ٥٢ دقیقه عرض شمالی و ٤٩ درجه و ١٧ دقیقه طول شرقی نسبت به نصف النهار گرینویچ قرار دارد.

محور مطالعاتی با هدف کوتاهی نسبی مسیر دسترسی اهواز – مسجدسلیمان، کاهش زمان سفر و افزایش سطح ایمنی مسیر برای ترددکنندگان از این محور طراحی و در نهایت اجرا خواهد شد. محور محدوده مطالعه از محدوده تقریبی کیلومتر ٤٠ جاده ملاثانی – مسجد سلیمان از محور اصلی جدا شده و با گردش به سمت راست و عبور از رشته کوه بخش شرقی این منطقه با طی حدود ٣٢ کیلومتر در محل میدان ورودی شهر مسجد سلیمان در بخش شمالی این شهر به انتهای محدوده مورد بررسی خود خواهد رسید (مهندسین مشاور زیست افزا محیط، ١٣٩٩).



شکل ۱. محدوده محور مطالعاتی اهواز- مسجد سلیمان (مهندسین مشاور زیست افزا محیط، ۱۳۹۹)

٤- روش پژوهش

این پژوهش از نوع مطالعات کاربردی ـ تحلیلی است. به منظور شناسایی مولفه‌های مهم و موثر برای هر یک از معیارهای پژوهش از مطالعات کتابخانه‌ای بهره گرفته شد و اطلاعات لازم به روش فیش برداری جمع آوری گردید. جهت تجزیه و تحلیل اطلاعات از روش‌های آنتروپی شانون و روش ساده وزنی استفاده گردید.

٤-١- گام اول: تعیین معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها

در ابتدا با مراجعه به اداره کل راه و ترابری استان خوزستان و دریافت اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه در قالب مطالعات اولیه انجام شده توسط کارشناسان سازمان مربوطه و با توجه به شرایط ویژه موجود در منطقه (منطقه حفاظت شده کرایی) چهار معیار ایمنی و فنی، محیط زیستی، هزینه و زمان به عنوان معیارهای اصلی برای بررسی انتخاب گردید. سپس با بررسی اطلاعات منطقه تعداد ٤٠ زیرمعیار برای ٤ معیار انتخاب و مورد تائید نهایی قرار گرفت. تعداد چهار مسیر با ویژگی‌های متفاوت در منطقه شناسایی گردید و به عنوان گزینه‌های مطرح شده برای بررسی در این پژوهش انتخاب و شرایط هر یک از این مسیرها با توجه به مطالعات انجام شده در سازمان متولی پروژه و برآوردهای کیفی و کمی صورت گرفته توسط متخصصین و کارشناسان در ارتباط با منطقه (مهندسین مشاور زیست افزا محیط، ۱۳۹۹؛ مهندسین مشاور جامع کار سپاهان، ۱۳۹۸) توسط نگارنده تفکیک و دسته بندی گردید.

٤-٢- گام دوم: امتیاز دهی به زیرمعیارها و تعیین وزن هر زیرمعیار در معیار

در این مرحله برای تعیین وزن هر زیرمعیار در معیار مربوط به خود از نظرات ۱۵ کارشناس در حوزه عمران، ایمنی و محیط زیست استفاده شد. طیف امتیاز دهی لیکرت (۵ امتیازی) برای تعیین امتیاز انتخاب و بی مقیاس سازی امتیازات برای تعیین وزن هر زیرمعیار در معیار مربوطه انجام گردید.

همچنین میزان اهمیت و ارجحیت هر یک از زیر معیارها در هر گزینه نسبت به گزینه دیگر بر اساس مطالعات اولیه انجام گرفته در محدوده مطالعاتی و با بهره‌گیری از مستندات و برآوردهای اولیه صورت گرفته در فاز اول مطالعاتی پروژه برای هر یک از زیرمعیارها در گزینه‌های مطرح شده تعیین گردید. تعیین امتیاز زیرمعیارها بر اساس اطلاعات اولیه کیفی و برآوردهای کمی انجام شده بر اساس شرایط موجود در منطقه انجام گرفت.

٤-٣- گام سوم: تعیین وزن هر معیار با استفاده از روش آنتروپی شانون

جهت تعیین وزن هر معیار، ابتدا با امتیازدهی کارشناسان به زیر معیارها بر اساس طیف لیکرت، ارزش هر زیر معیار در معیار مربوط به خود بدست آمد. سپس ارزش هر زیرمعیار (بدست آمده از نظر کارشناسان) در میزان اهمیت آن زیر معیار در هر یک از چهار گزینه (تعیین شده توسط محقق بر اساس مستندات و مطالعات مقدماتی پروژه) ضرب و امتیاز نهایی هر زیر معیار مشخص گردید، سپس میانگین امتیازهای زیرمعیارها به عنوان امتیاز معیار محاسبه شد. پس از تعیین میانگین امتیازها و تشکیل ماتریس تصمیم به بی مقیاس سازی امتیاز هر معیار در هر گزینه پرداخته شد. برای بی مقیاس سازی، مثبت و منفی بودن جنبه هر یک از معیارها مشخص گردید. این امر در مرحله نرمال سازی (بی مقیاس سازی) ماتریس تصمیم موثر است. نرمال سازی در معیارهای دارای جنبه منفی به صورت تقسیم مقدار مینیمم در هر ستون بر کلیه اعداد ستون و در معیارهای دارای جنبه مثبت به صورت تقسیم مقدار هر سلول در هر ستون بر میزان ماکزیمم آن ستون انجام گرفت. پس از تشکیل ماتریس تصمیم آنتروپی هر معیار با استفاده از فرمول (۱) محاسبه شد$(P(x))$ توزیع احتمال متغیر تصادفی X است)، بدین منظور ابتدا مقدار K بر اساس فرمول (۲) محاسبه شد(m) تعداد معیارها) و بر اساس فرمول (۳) درجه انحراف و بر اساس فرمول (٤) وزن نرمال شده معیارها تعیین گردید. k به عنوان مقدار ثابت مقدار Ej را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد (اصغرپور، ۱۳۸۷).

$$E_j = -K\sum_{i=1}^{m}[P_i . l_n P_i] \quad (۱)$$

$$K = \frac{1}{l_n m} \quad (۲)$$

$$d_j = 1 - E_j \quad (۳)$$
$$j = 1,2,\ldots,n$$

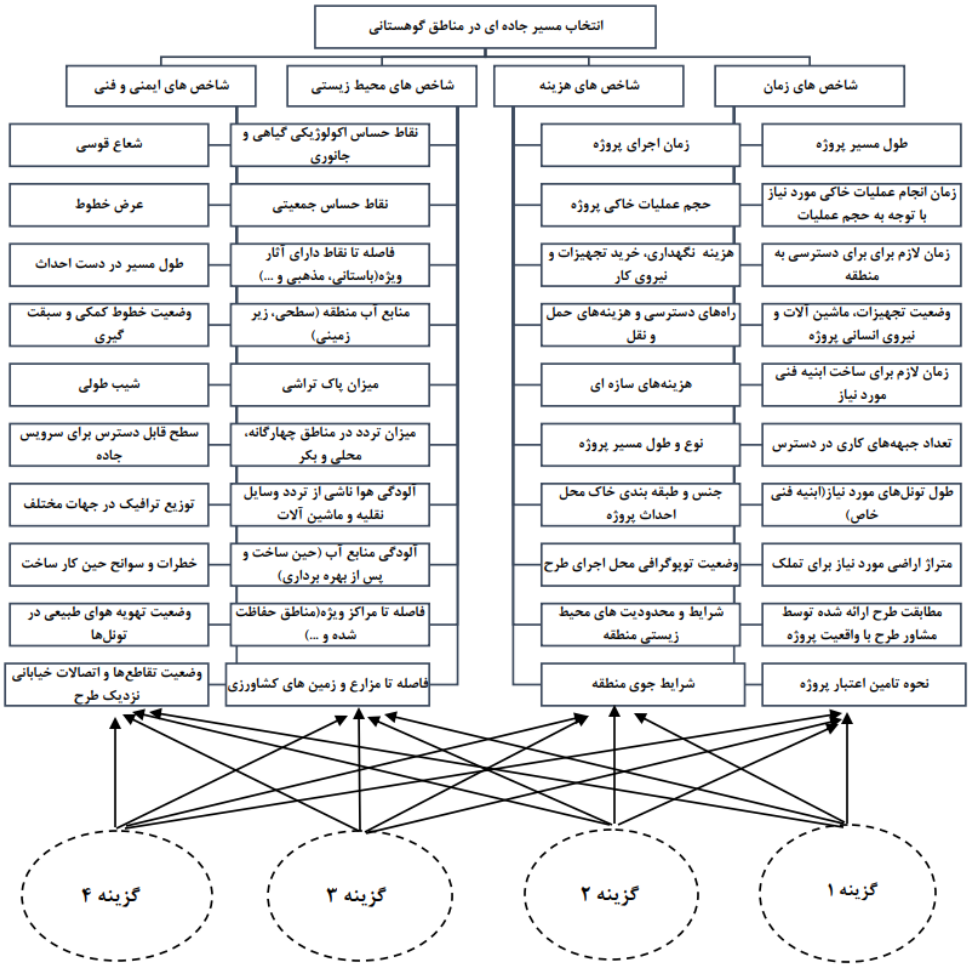
$$Wj = \frac{d_j}{\sum_{i=1}^{m} d_j} \quad (٤)$$

٤-٤- گام چهارم: تعیین وزن هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها با استفاده از روش ساده وزنی

در این مرحله از پژوهش با وزن معیارهای به دست آمده در روش آنتروپی در وزن هر معیار در هر گزینه در سلول‌های متناظر آن در ماتریس نرمال ضرب شد و پس از آن حاصل جمع مقادیر هر سطر برای هر گزینه بدست آمد و رتبه بندی نهایی گزینه‌ها بر اساس این مقادیر صورت گرفت.

نتایج

در ابتدا مجموعاً چهار معیار ایمنی و فنی، محیط زیست، هزینه و زمان بر اساس اسناد و مطالعات فاز اولیه امکان سنجی در محل مورد مطالعه انتخاب و سپس برای هر معیار ۱۰ شاخص و زیر معیار موثر تعیین و مجموعا ۴۰ شاخص به عنوان زیرمعیارهای نهایی به منظور بررسی شرایط منطقه از لحاظ معیارهای مورد نظر انتخاب شد که این معیارها و شاخص‌ها در شکل ۲ ارائه گردیده است.



شکل ۲. معیارها، زیرمعیارها و گزینه های مطرح شده برای انتخاب مسیر جاده‌ای در مناطق کوهستانی

بر این اساس اهمیت هر زیرمعیار در هر معیار توسط کارشناسان حوزه‌های مرتبط تعیین شد. سپس بر اساس شرایط موجود در منطقه به تعیین امتیاز هر یک از زیرمعیارها در هر گزینه نسبت به گزینه‌های دیگر مبادرت شد و امتیاز نهایی هر زیرمعیار در هر معیار و هر گزینه محاسبه و در جدول‌های ۱ تا ٤ ارائه گردیده است.

جدول ۱. امتیاز نهایی شاخص‌های ایمنی و فنی

ردیف	شاخص‌های ایمنی و فنی	میانگین امتیاز کارشناسان	گزینه ۱		گزینه ۲		گزینه ۳		گزینه ٤	
			اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی
۱	شعاع قوسی	۵	٤	۲۰	٤	۲۰	٤	۲۰	٤	۲۰
۲	عرض خطوط	٤/۲	٤	۱٦/۸	٤	۱٦/۸	٤	۱٦/۸	٤	۱٦/۸
۳	طول مسیر در دست احداث	۵	۱	۵	۲	۱۰	۳	۱۵	٤	۲۰
٤	وضعیت خطوط کمکی و سبقت گیری	۲/۸	٤	۱۱/۲	۳	۸/٤	۳	۸/٤	٤	۱۱/۲
۵	شیب طولی	٤/۸	٤	۱۹/۲	٤	۱۹/۲	٤	۱۹/۲	٤	۱۹/۲
٦	سطح قابل دسترس برای سرویس جاده	٤/۸	٤	۱۹/۲	۳	۱٤/٤	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
۷	توزیع ترافیک در جهات مختلف	۳/۸	۳	۱۱/٤	۱	۳/۸	۲	۷/٦	٤	۱۵/۲
۸	خطرات و سوانح حین کار ساخت	٤/۲	۲	۸/٤	۲	۸/٤	٤	۱٦/۸	۳	۱۲/٦
۹	وضعیت تهویه هوای طبیعی در تونل‌ها	۳/۸	۳	۱۱/٤	۲	۷/٦	٤	۱۵/۲	٤	۱۵/۲
۱۰	وضعیت تقاطع‌ها و اتصالات خیابانی نزدیک طرح	۳/۲	٤	۸,۱۲	۳	٦,۹	۳	۹/٦	٤	۱۲/۸
میانگین		٤/۱٦		۱۳/٥٤		۱۱/۸۲		۱٤/۳		۱٦/۲۲

جدول ۲. امتیاز نهایی شاخص‌های محیط زیستی

ش	شاخص‌های محیط زیستی	میانگین امتیاز کارشناسان	گزینه ۱		گزینه ۲		گزینه ۳		گزینه ٤	
			اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی
۱	نقاط حساس اکولوژیکی گیاهی و جانوری	٤/۸	۳	۱٤/٤	۲	۹/٦	۲	۹/٦	٤	۱۹/۲
۲	نقاط حساس جمعیتی	٤/۲	۳	۱۲/٦	۲	۸/٤	۲	۸/٤	٤	۱٦/۸
۳	فاصله تا نقاط دارای آثار ویژه (باستانی، مذهبی و ...)	٤/۸	۱	٤/۸	۲	۹/٦	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
٤	منابع آب منطقه (سطحی، زیر زمینی)	٤/۸	٤	۱۹/۲	۳	۱٤/٤	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
۵	میزان پاک تراشی	۵	۳	۱۵	۲	۱۰	۳	۱۵	٤	۲۰
٦	میزان تردد در مناطق چهارگانه، محلی و بکر	۵	٤	۲۰	۲	۱۰	۳	۱۵	٤	۲۰
۷	آلودگی هوا ناشی از تردد وسایل نقلیه و ماشین آلات	٤/۸	۲	۹/٦	۲	۹/٦	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
۸	آلودگی منابع آب (حین ساخت و پس از بهره برداری)	٤/۲	۳	۱۲/٦	٤	۱٦/۸	٤	۱٦/۸	۳	۱۲/٦
۹	فاصله تا مراکز ویژه (مناطق حفاظت شده و ...)	٤/۸	۳	۱٤/٤	۲	۹/٦	۱	٤/۸	٤	۲/۱۹
۱۰	فاصله تا مزارع و زمین های کشاورزی	۳/۲	۳	٦/۹	۲	٦/٤	۲	٦/٤	٤	۱۲/۸
میانگین		٤/٥٦		۱۳/۲۲		۱۰/٤٤		۱۱/۹۲		۱۷/۸۲

جدول ۳. امتیاز نهایی شاخص‌های هزینه

ردیف	شاخص‌های هزینه	میانگین امتیاز کارشناسان	گزینه ۱		گزینه ۲		گزینه ۳		گزینه ٤	
			اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی
۱	زمان اجرای پروژه	٤/۲	۲	۸/٤	۲	۸/٤	۳	۱۲/٦	٤	۱٦/۸
۲	حجم عملیات خاکی پروژه	٤/۸	۲	۹/٦	۱	٤/۸	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
۳	هزینه نگهداری، خرید تجهیزات و نیروی کار	٤/۲	۲	۸/٤	۲	۸/٤	۳	۱۲/٦	۳	۱۲/٦
٤	راه‌های دسترسی و هزینه‌های حمل و نقل	٤	٤	۱٦	٤	۱٦	٤	۱٦	٤	۱٦
٥	هزینه‌های سازه ای	٤/۸	۳	۱٤/٤	۳	۱٤/٤	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
٦	نوع و طول مسیر پروژه	٤/۲	۱	٤/۲	۲	۸/٤	۳	۱۲/٦	٤	۱٦/۸
۷	جنس و طبقه بندی خاک محل احداث پروژه	۳/۲	۳	۹/٦	۲	٦/٤	۲	٦/٤	۳	۹/٦
۸	وضعیت توپوگرافی محل اجرای طرح	۳/۸	۳	۱۱/٤	۲	۷/٦	۲	۷/٦	۳	۱۱/٤
۹	شرایط و محدودیت های محیط زیستی منطقه	٤/۲	٤	۱٦/۸	۲	۸/٤	۳	۱۲/٦	٤	۱٦/۸
۱۰	شرایط جوی منطقه	٤/۲	۳	۱۲/٦	۳	۱۲/٦	۳	۱۲/٦	۳	۱۲/٦
	میانگین	٤/۱٦		۱۱/۱٤		۹/٥٤		۱۲/۱۸		۱٥/۱

جدول ٤. امتیاز نهایی شاخص‌های زمان

ردیف	شاخص‌های زمان	میانگین امتیاز کارشناسان	گزینه ۱		گزینه ۲		گزینه ۳		گزینه ٤	
			اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی	اولیه	نهایی
۱	طول مسیر پروژه	٤/۸	۱	٤/۸	۲	۹/٦	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
۲	زمان انجام عملیات خاکی مورد نیاز با توجه به حجم عملیات	٤/۸	۲	۹/٦	۱	٤/۸	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
۳	زمان لازم برای دسترسی به منطقه	٤/۲	٤	۱٦/۸	۳	۱۲/٦	۳	۱۲/٦	٤	۱٦/۸
٤	وضعیت تجهیزات، ماشین آلات و نیروی انسانی پروژه	۳/۸	۱	۳/۸	۲	۷/٦	۳	۱۱/٤	٤	۱٥/۲
٥	زمان لازم برای ساخت ابنیه فنی مورد نیاز	٥	۲	۱۰	۱	٥	۳	۱٥	٤	۲۰
٦	تعداد جبهه‌های کاری در دسترس	٤/۸	۲	۹/٦	۲	۹/٦	۳	۱٤/٤	٤	۱۹/۲
۷	طول تونل‌های مورد نیاز (ابنیه فنی خاص)	٥	۳	۱٥	٤	۲۰	۳	۱٥	۳	۱٥
۸	متراژ اراضی مورد نیاز برای تملک	۳/۲	٤	۱۲/۸	٤	۱۲/۸	٤	۱۲/۸	٤	۱۲/۸
۹	مطابقت طرح ارائه شده توسط مشاور طرح با واقعیت پروژه	٤/۲	٤	۱٦/۸	٤	۱٦/۸	٤	۱٦/۸	٤	۱٦/۸
۱۰	نحوه تامین اعتبار پروژه	٤/۸	٤	۱۹/۲	٤	۱۹/۲	٤	۱۹/۲	٤	۱۹/۲
	میانگین	٤/٤٦		۱۱/۸٤		۱۱/۸		۱٤/٦		۱۷/۳٤

با توجه به نیاز به نرمال سازی اعداد در مرحله تشکیل ماتریس تصمیم، در این مرحله تنها به محاسبه میانگین عددی اکتفا گردید و میانگین امتیاز نهایی هر معیار در هر گزینه در جدول ٥ و تعیین وزن نرمال در جدول ٦ ارائه گردیده است.

جدول ۵. ماتریس تصمیم بر اساس میانگین امتیاز معیارها در هر گزینه

معیار / گزینه	ایمنی و فنی	محیط زیست	هزینه	زمان
گزینه ۱	۱۳/۵٤	۱۳/۲۲	۱۱/۱٤	۱۱/۸٤
گزینه ۲	۱۱/۸۲	۱۰/٤٤	۹/۵٤	۱۱/۸
گزینه ۳	۱٤/۳۰	۱۱/۹۲	۱۲/۱۸	۱٤/٦
گزینه ٤	۱٦/۲۲	۱۷/۸۲	۱۵/۱	۱۷/۳٤
جمع	۵۵/۸۸	۵۳/٤۰	٤۷/۹٦	۵۵/۵۸

جدول ٦. بی مقیاس سازی ماتریس تصمیم و تعیین وزن معیارها در هر گزینه

معیار / گزینه	ایمنی و فنی	محیط زیست	هزینه	زمان
گزینه ۱	۰/۲٤۲۳	۰/۲٤۷٦	۰/۲۳۲۳	۰/۲۱۳۰
گزینه ۲	۰/۲۱۱۵	۰/۱۹۵۵	۰/۱۹۸۹	۰/۲۱۲۳
گزینه ۳	۰/۲۵۵۹	۰/۲۲۳۲	۰/۲۵٤۰	۰/۲٦۲۷
گزینه ٤	۰/۲۹۰۳	۰/۳۳۳۷	۰/۳۱٤۸	۰/۳۱۲۰
جمع	۱	۱	۱	۱

پس از بی مقیاس سازی هر معیار، مقدار **K** بر اساس فرمول ۲ برای چهار گزینه محاسبه و مقدار ۰/۷۲۱۳ به دست آمد. این مقدار در فرمول آنتروپی به صورت منفی لحاظ می‌گردد. سپس با استفاده فرمول ۱، آنتروپی هر معیار محاسبه و درجه انحراف بر اساس فرمول ۳ و وزن نرمال شده بر اساس فرمول ٤ تعیین شد. این مقدار برای چهار معیار ایمنی و فنی، محیط زیست، هزینه و زمان محاسبه و در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۷. محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش آنتروپی شانون

معیارها		ایمنی و فنی	محیط زیست	هزینه	زمان	جمع
آنتروپی هر معیار	Ej	۰/۹۹۵٤	۰/۹۸۵۱	۰/۹۸۹۹	۰/۹۹۰٤	
درجه انحراف	dj	۰/۰۰٤٦	۰/۰۱٤۹	۰/۰۱۰۱	۰/۰۰۹٦	۰/۰۳۹۲
وزن نرمال شده	Wj	۰/۱۱۷۷	۰/۳۷۸۹	۰/۲۵۸٦	۰/۲٤٤۹	۱/۰۰۰۰
رتبه		٤	۱	۲	۳	

جدول ۸ ماتریس وزن معیارها (محاسبه شده با روش آنتروپی)

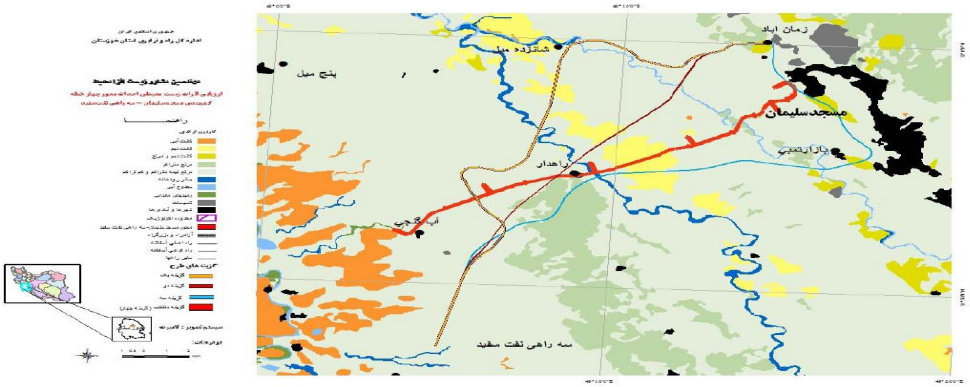
	ایمنی و فنی	محیط زیست	هزینه	زمان
وزن نرمال شده	۰/۱۱۷۷	۰/۳۷۸۹	۰/۲۵۸٦	۰/۲٤٤۹

پس از تعیین میزان آنتروپی و وزن نرمال شده هر معیار، برای محاسبه وزن نهایی هر گزینه از روش ساده وزنی (SAW) استفاده شد. به این صورت که بعد از نرمال سازی، اعداد ماتریس وزن دار به دست آمده از روش آنتروپی برای محاسبه وزن‌های هر معیار در هر گزینه وزن نرمال شده هر معیار در جدول ۸ در ستون متناظر در ماتریس نرمال در جدول ٦ ضرب و نتایج در جدول ۹ ارائه شده است. سپس از ماتریس وزن دار در جدول ۹ حاصل جمع سطری گرفته شد و بر اساس آن رتبه‌بندی گزینه‌ها ارائه گردید.

جدول ۹. ماتریس نرمال شده وزن دار

	ایمنی و فنی	محیط زیست	هزینه	زمان	جمع	رتبه
گزینه ۱	۰/۰۲۸۵	۰/۰۹۳۸	۰/۰٦۰۱	۰/۰۵۲۲	۰/۲۳٤٦	۳
گزینه ۲	۰/۰۲٤۹	۰/۰۷٤۱	۰/۰۵۱٤	۰/۰۵۲۰	۰/۲۰۲٤	٤
گزینه ۳	۰/۰۳۰۱	۰/۰۸٤٦	۰/۰٦۵۷	۰/۰٦٤۳	۰/۲٤٤۷	۲
گزینه ٤	۰/۰۳٤۲	۰/۱۲٦٤	۰/۰۸۱٤	۰/۰۷٦٤	۰/۳۱۸٤	۱

با توجه به نتایج حاصل از محاسبه وزن معیارها و گزینه‌ها در جدول ۹ در گزینه ۱ معیار محیط زیست با وزن ۰/۰۹۳۸ بیشترین تاثیر را دارا بوده و پس از آن به ترتیب معیارهای هزینه با وزن ۰/۰٦۰۱، زمان با وزن ۰/۰۵۲۲ و ایمنی و فنی با وزن ۰/۰۲۸۵ قرار دارند. در گزینه ۲ معیار محیط زیست با وزن ۰/۰۷٤۱ بیشترین میزان تاثیر و پس از آن معیارهای زمان با وزن ۰/۰۵۲۰، هزینه ۰/۰۵۱٤ و ایمنی و فنی با وزن ۰/۰۲٤۹ قرار گرفته‌اند. در گزینه ۳ معیار محیط زیست با وزن ۰/۰۸٤٦ بیشترین تاثیرگذاری را داشته و پس از آن معیارهای هزینه با وزن ۰/۰٦۵۷ و زمان با وزن ۰/۰٦٤۳ و ایمنی و فنی با وزن ۰/۰۳۰۱ هستند. در نهایت در تعیین وزن گزینه چهارم موثرترین معیار محیط زیست با وزن ۰/۱۲٦٤ و معیار هزینه با وزن ۰/۰۸۱٤، زمان با وزن ۰/۰۷٦٤ است و ایمنی و فنی با وزن ۰/۰۳٤۲ در اولویت بعدی تاثیرگذاری در این گزینه قرار دارند. در جمع بندی کلی و محاسبه وزن هز گزینه با استفاده از وزن معیارها بیشترین وزن مربوط به گزینه ٤ با وزن ۰/۳۱۸٤ است. پس از آن گزینه‌های ۳، ۱ و ۲ به ترتیب با اوزان ۰/۲٤٤۷، ۰/۲۳٤٦ و ۰/۲۰۲٤ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. در نهایت با توجه به وزن نهایی گزینه‌ها، گزینه ٤ به عنوان بهترین و مناسب‌ترین گزینه برای احداث در منطقه موردنظر انتخاب گردید.



شکل ۳. موقعیت گزینه منتخب (مسیر آب‌گنجی- مسجدسلیمان) (مهندسین مشاور زیست افزا محیط، ۱۳۹۹)

۵- نتیجه‌گیری

فرآیند انتخاب مسیر وضعیتی را فراهم مینماید تا بتوان با انجام هزینه کمتر میزان دسترسی بیشتری را ایجاد نمود و عوارض نامطلوب محیطی را کاهش داد. عوامل بسیاری در فرآیند انتخاب مسیر تاثیرگذارند که از این میان می‌توان به عواملی نظیر میزان دسترسی، عوارض طبیعی، ضوابط طرح هندسی، وضعیت زمین شناسی، جنس پی جسم و ساختمان‌ها، وجود مصالح و تجهیزات مناسب، شرایط نگهداری راه، زیبایی راه، حفظ محیط طبیعی، حفظ محیط انسانی و مخارج ساختمان راه اشاره نمود. بررسی این موارد در مسیرهای کوهستانی که از دامنه کوه و تپه‌های بلند و دره‌های گود تشکیل شده‌اند و دارای برش‌های عمیق و پل‌های بزرگ و خاکریزهای بلند هستند و با بررسی‌های تکمیلی برای احداث ابنیه فنی خاص مانند تونل در مسیر نیز همراه هستند. در مناطق کوهستانی برای گذر نیاز به دورزدن در قسمت‌های مختلف کوه‌ها است که این امر موجب افزایش طول مسیر شده و با تخریب محیط زیست طبیعی، افزایش هزینه و زمان احداث پروژه نیز همراه است. در این پژوهش مسیر اهواز- مسجد سلیمان به عنوان مطالعه موردی برای جاده‌های کوهستانی بررسی و ٤ گزینه با ویژگی‌های متفاوت در منطقه مطرح گردید و بر اساس چهار معیار ایمنی و فنی، محیط زیست، هزینه و زمان پروژه مناسب ترین گزینه انتخاب گردید.

بررسی احداث مسیر در محور اهواز- مسجد سلیمان با هدف کاهش زمان سفر، افزایش ایمنی راه و کاهش تصادفات جاده‌ای در منطقه، کاهش مصرف سوخت و آلاینده‌های زیست محیطی و توسعه گردشگری و دسترسی آسان به منطقه صورت پذیرفت. همچنین با توجه به قرار گرفتن گزینه‌های مطرح شده در منطقه حفاظت شده کرایی، میزان کمتر حضور مسیر در این منطقه را میتوان عامل موثری در تعیین وزن گزینه دانست.

در انتخاب مسیر راه، عوامل بسیاری را باید در نظر گرفت و همین زیادی عوامل درگیر است که کار انتخاب مسیر را مشکل و وقت‌گیر و پرهزینه می‌سازد. احداث راه تغییرات عمده‌ای در محیط طبیعی و اقتصادی و اجتماعی وارد می‌سازد که محدود به تامین رفت و آمد وسایل نقلیه نیست. وسعت این تغییرات در محیط طبیعی فوق‌العاده زیاد است تا جایی که ممکن است روند گسترش و بافت محیط اطراف را دگرگون میسازد. عوارض طبیعی که هنوز هم یکی از عمده‌ترین تعیین کننده‌های مسیر راه‌های کوهستانی هستند. با وجود آنکه عوارض طبیعی در بسیاری از قسمت‌های راه‌های کوهستانی مهم ترین و اثرگذارترین عامل تعیین کننده مسیر است ولی نباید مسیر راه‌های کوهستانی هم بدون توجه به عوامل دیگر تعیین گردد و مخصوصاً نباید از تغییراتی که در مسیر در محیط اجتماعی و انسانی و طبیعی اطرف خود ایجاد می‌کند، غافل شد. مشکل کار مسیرگذاری در این است که عموماً بهتر ساختن مسیر با توجه به یکی از عوامل، مسیر را از نظر عوامل دیگر بدتر می‌سازد. مثلاً برای حفظ یک منطقه با ارزش طبیعی، مسیر باید این منطقه را دور بزند. اما چنین دور زدنی مستلزم هزینه زیادی است و علاوه بر این طول مسیر را زیادتر می‌سازد و بنابراین هزینه ترافیک را بالا می‌برد و زمان رفت و آمد را طولانی‌تر می‌کند. لذا استفاده از تونل با کوتاه کردن مسیر و حفظ محیط طبیعی منطقه و همچنین حفظ ایمنی در جاده‌های کوهستانی در بسیاری از موارد توصیه میگردد. در بعضی از پروژه‌ها ممکن است ساخت تونل هزینه زیادی را به لحاظ وسعت یا تعداد تونل به پروژه تحمیل نماید، اما حفظ محیط زیست و ایمنی در منطقه از اولویت بالاتری نسبت به هزینه برخوردار هستند. به طور کلی در نتایج به دست آمده در این پژوهش معیار محیط زیست بیشترین وزن را در گزینه ها به خود اختصاص داده است که این مسئله به دلیل شرایط خاص منطقه و وجود منطقه حفاظت شده کرایی در محدوده مسیر است. به عبارتی انسان به طور مداوم در تعامل با محیط زیست است و از آن تاثیر پذیرفته و برآن تاثیر میگذارد، با توجه به لزوم حفاظت از محیط زیست طبیعی در راستای توسعه پایدار، تاثیرپذیری محیط زیست از پروژه‌های عمرانی از مباحث مهمی است که می‌تواند در انتخاب یک مسیر به عنوان عامل محدود کننده عمل نماید. لذا در نظر گرفتن شرایط محیط زیستی یک منطقه پیش از احداث یک مسیر و در صورت لزوم در نظر گرفتن تمهیدات لازم برای وارد شدن کم ترین تاثیر منفی بر محیط زیست از سوی یک پروژه می‌تواند تاثیر به سزایی بر تصمیم گیری درباره انتخاب مناسب‌ترین گزینه برای احداث یک مسیر ایجاد نماید.

پس از معیار محیط زیستی معیارهای هزینه، زمان و ایمنی در اولویت های بعدی قرار گرفتند. معیارهای هزینه و زمان از اهمیت و ارزش نسبتا یکسانی در فرآیند انتخاب مسیر برخوردار هستند که در این پژوهش نیز وزن به دست آمده برای معیارها حاکی از این موضوع است. معیار هزینه از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر انتخاب مسیر مناسب در مناطق کوهستانی است. زیرا احداث یک مسیر نیازمند فرآیندهای مختلفی است که باید توسط منابع مالی تامین گردد. بنابراین برآورد اولیه هزینه یک پروژه و تامین منابع مالی لازم از موارد بسیار مهم است. همچنین این معیار متاثر از زمان اجرای پروژه است و با افزایش طول پروژه

افزایش‌میابد، هزینه‌های مربوط ساخت ابنیه فنی و ابنیه خاص شامل پل‌ها و تونل‌ها، تجهیزات لازم برای انجام پروژه، هزینه‌های تعمیر و نگهداری و حمل و نقل، حجم عملیات خاکی مورد نیاز، جنس خاک و وضعیت توپوگرافی منطقه و سهولت دسترسی به محل پروژه و همچنین شرایط جوی منطقه نیز بر میزان هزینه یک پروژه تاثیرگذار است. بنابراین در نظر گرفتن میزان هزینه یک پروژه قبل از احداث از ملزومات مهم برای امکان سنجی انجام یک طرح است. در واقع معیار زمان و هزینه دو معیار مرتبط در پروژه های عمرانی هستند که از یکدیگر تاثیر می‌پذیرند. به عبارتی افزایش زمان یک پروژه می‌تواند افزایش هزینه را به دنبال داشته باشد.

لذا معیار زمان نیز از عوامل مهم تعیین کننده در انتخاب یک مسیر است. این معیار متاثر از طول پروژه می‌باشد که با توجه به افزایش آن زمان انجام پروژه نیز افزایش‌میابد. تعداد ابنیه فنی و ابنیه خاص شامل پل‌ها و تونل‌های در نظرگرفته شده در مسیر برای ساخت، آماده و در دسترس بودن تجهیزات لازم برای انجام پروژه، میزان راه‌های دسترسی به محل انجام پروژه و حجم عملیات خاکی مورد نیاز که با طول مسیر مرتبط است نیز بر معیار زمان تاثیرگذار است. تعداد جبهه‌های کاری در دسترس پروژه، میزان واقعیت طرح با محیط واقعی در منطقه و تامین اعتبار لازم برای انجام فرآیند پروژه از دیگر مسائل مهم در تعیین معیار زمان و اهمیت این معیار در انتخاب مسیر مناسب است. در نهایت حفظ ایمنی و شرایط فنی استاندارد در پروژه‌های احداث مسیر به ویژه در مناطق کوهستانی که دارای شرایط ویژه‌ای به لحاظ ایمنی هستند از عوامل مهم و تعیین کننده در انتخاب یک مسیر محسوب میگردد؛ زیرا هدف از احداث یک جاده در منطقه کوهستانی عمدتا کاهش مسیر تردد و ایجاد شرایط بهتر برای استفاده انسان می‌باشد. لذا حفظ امنیت جانی و مالی نیروهای دخیل در فرآیند پروژه در زمان ساخت و استفاده کنندگان از مسیر پس از بهره برداری در گرو توجه ویژه به ملاحظات ایمنی و فنی در انتخاب مسیر است. دلیل وزن کمتر معیار ایمنی نسبت به سایر معیارها را نیز می‌توان ناشی از این موضوع دانست که به این معیار بعد از بهره برداری بیشتر باید مورد توجه واقع گردد. پس از تائید ساختار راه به لحاظ ایمنی و فنی در فرآیند انتخاب مسیر، در مرحله بهره برداری توجه به مسئله ایمنی، تعمیرات و نگاه داری راه لازم و ضروری است. بنابراین در راستای کاهش اثرات منفی به ویژه اثرات محیط زیستی (به دلیل شرایط خاص منطقه و قرار گرفتن مسیر در منطقه حفاظت شده کرایی) در زمان ساخت و بهره برداری از مسیر به منظور افزایش ایمنی و حفظ محیط طبیعی میتوان راهکارهایی را مطرح نمود که در زمینه آلاینده های محیطی و کاهش اثر بر جانوران و گیاهان منطقه مواردی از قبیل آب پاشی مداوم زمین قبل از انجام عملیاتی نظیر خاکبرداری، خاکریزی، خالی کردن بار مصالح و عملیاتی، ممانعت از ایجاد پارکینگ در منطقه حفاظت شده کرایی، استفاده از موتورهای الکتریکی به جای ژنراتور، محدودیت فعالیت در ساعات شب و رعایت ساعات آرامش و حریم مناطق مسکونی، عدم فعالیت شبانه در منطقه برای حفظ امنیت زیستگاه جانوران در شب خصوصاً اینکه با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، کنترل کلیه آلاینده‌های کارگاهی و ممانعت از نشت در منابع آب سطحی، جلوگیری از تخریب بیش از حد ناهمواری‌ها و جلوگیری از ناپایداری با احداث گابیون بوسیله تور سیمی و سنگ و یا احداث دیوار با استفاده از سنگ و بتن و ... ، زمان بندی پروژه در خارج از زمان تولید مثل و نوزادپروری جانوران، اصلاح راه‌های ارتباطی در منطقه حفاظت شده کرایی جهت کنترل و پایش با نظر اداره کل حفاظت محیط زیست استان خوزستان، ایجاد نشانه‌های هشدار و گیت‌های کنترل ورود و خروج افراد در منطقه حفاظت شده کرایی، عدم ایجاد کمپ در منطقه حفاظت شده کرایی، احیای منطقه از طریق کاشت نهال و بذر پاشی و ...؛ در زمینه ایمنی در منطقه مواردی از قبیل نصب علایم هشدار عملیات عمرانی در دو طرف جاده در فاصله مناسب از محل اجرای طرح برای هشدار به رانندگان برای کاهش سرعت، حمل و نقل در ساعاتی با بار ترافیکی کمتر در جاده، استفاده افراد از وسایل حفاظت شخصی حین فعالیت، استفاده پرسنل از وسائل ایمنی شخصی و گوشی‌های محافظ، اعلام تاریخ و زمان انفجار به مردم بومی حداقل یک روز پیش از عملیات انفجار، نصب تابلوی هشدار زمان انفجار برای اطلاع کارگران و بومیان منطقه و ...؛ در زمینه کاهش زمان و هزینه پروژه مواردی از قبیل ایجاد تغییرات کمی و کیفی در اندازه، حجم و اهداف غیرضروری پروژه (در صورت امکان)، اجرای موازی فعالیت‌ها، استفاده از گروه‌های اجرایی متعدد، افزایش منابع اجرایی فعالیت‌های بحرانی از طریق انتقال منابع از فعالیت‌های غیر بحرانی و ... مدنظر قرار می‌گیرد.

٦-مراجع

-اصغر پور، محمد جواد. (۱۳۸۷). تصمیم گیری‌های چندمعیاره. تهران، *انتشارات دانشگاه تهران.*

-اکبری، علی اکبر. و صالحی پور، امیر (۱۳۹۰). کنترل آماری شاخص‌های عملکرد و زمان و هزینه در پروژه‌های عمرانی. قصلنامه علمی و پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی، سال دهم، شماره ۲۷، ۱٦۱-۱۳۹.

-باقری، بهرام (۱۳۹۷). ارائه یک مدل برای مکان یابی بنادر مبتنی بر تکنیک‌های تصمیم گیری چندمعیاره – مطالعه موردی سواحل مکران. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: نسیم نهاوندی، تهران: *دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها، دانشگاه تربیت مدرس.*

-پارساخو، آیدین و یزدانی، مهرسا (۱۳۹۹). تعیین مناسب‌ترین مسیر پیشنهادی از طریق تحلیل سلسله مراتبی AHP معیارهای ارزیابی شبکه جاده های جنگلی در سامانه اطلاعات جغرافیایی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره سه، ۲۳٦-۲۲۷.

-جلیلی، سمیه (۱۳۹۳). ارزیابی روش‌های بهینه حفاری و نگهداری خط ۳ قطار شهری تهران بر اساس شرایط ژئوتکنیکی مسیر. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر بشیر گنبدی، *دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.*

-حبیبی نوخندان، مجید و کمالی، غلامعلی (۱۳۸۵). آب و هوا و ایمنی جاده‌ها. تهران، انتشارات وزارت راه و ترابری. *معاونت آموزش و تحقیقات فناوری، پژوهشکده حمل و نقل.*

-رضوی، محمد ناظم (۱۳۸۷). تدوین فرآیند تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب نوع وسیله حمل و نقل همگانی با استفاده از روش AHP مطالعه موردی: منطقه اطراف بازار تهران. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: علی خدایی، تهران. *دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر(پلی تکنیک تهران).*

– طاهری امیری، محمدجواد، همتیان، میلاد.، حقیقی، فرشیدرضا. و رضاییان، معصومه (۱۳۹۵). انتخاب روش‌های بهینه تعمیر و نگهداری برای روسازی‌های شمال کشور با توجه به نوع خرابی‌های موجودو تخصیص بهینه اقدامات اصلاحی برای آنها، *فصلنامه علمی پژوهشی حمل و نقل*، دوره ۹، شماره ٤، ۱٦۲-۱٤۷.

-عطائی، محمد (۱۳۸۹). تصمیم‌گیری چند معیاره. *انتشارات دانشگاه شاهرود.*

-گراوند، محمد (۱۳۹۳). بررسی و ارزیابی فنی و اقتصادی گزینه‌های مختلف روسازی در راه‌های اصلی و راه‌های با حجم ترافیک کم و ارائه روش بهینه جهت انتخاب انواع آن. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: منصور فخری، تهران. *دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی.*

-مختارانی، نادر. و زاهد، فاطمه (۱۲۹۲). تعیین الگوی ممیزی زیست محیطی راه‌های کشور. *مهندسی حمل و نقل*، سال چهارم، شماره سوم، ۲٦۲-۲٤۷.

-معلمی، زاهده (۱۳۹۷). ارزیابی مقایسه‌ای عملکرد ترافیکی تبدیل تقاطع‌های شهری به توربو میدان. پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: فرشیدرضا حقیقی، *دانشکده فنی و مهندسی*، دانشگاه شمال.

-مقیمی، راحیل (۱۳۹۳). مسیریابی خطوط سریع‌السیر ریلی با استفاده از GIS و تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: روزبه شاد، مشهد. *دانشکده فنی و مهندسی.* دانشگاه فردوسی مشهد.

-منجم، سعید (۱۳۹٤). راهسازی، تهران. *نشر انگیزه.*

-منوری، مسعود (۱۳۸۱). راهنمای ارزیابی اثرات زیست محیطی بزرگ راه‌ها. *نشر کتاب فرزانه*، چاپ اول.

-مهندسین مشاور جامع کار سپاهان (۱۳۹۸). مطالعات امکانسنجی و توجیه اولیه احداث جاده میانبر مسجدسلیمان-اهواز. *وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه و شهرسازی استان خوزستان.*

-مهندسین مشاور زیست افزا محیط (۱۳۹۹). گزارش ارزیابی اثرات زیست محیطی طرح احداث محور چهاربانده آبگنجی-مسجدسلیمان. *وزارت راه و شهرسازی، اداره کل راه و شهرسازی استان خوزستان.*

-وزیری، بهمن (۱۳۹۱). ارزیابی مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت انتخاب ساختگاه سدمخزنی کندوله (استان کرمانشاه). پایان نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: محمد ابراهیم بنی حبیب، بیرجند. *دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بیرجند.*

-Akay, A.E., Wing, M.G., Sivrikaya, F. (2012). A GIS-based decision support system for determining the shortest and safest route to forest fires: a case study in Mediterranean Region of Turkey. *Environ Monit Assess*, No. 184, 1391–1407.

-Ullah, K., Hamid, S. Mehmood Mirza, F. and Shakoor, U. (2018). Prioritizing the gaseous alternatives for the road transport sector of Pakistan: A multi criteria decision making analysis. *Energy*, Vol. 165, Part B, 1072-1084.

-Uovu, W., He, F., Zhou, J., Wu, Ch., Liu, F., Yao, T. and Xu, Ch. (2021). Optimal site selection for distributed wind power coupled hydrogen storage project using a geographical information system based multi-criteria decision-making approach: A case in China. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 299, 126905, 2021.

-Ustaoglu, S., Sisman**,** A. and Aydınoglu, C. (2021). Determining agricultural suitable land in peri-urban geography using GIS and Multi Criteria Decision Analysis (MCDA) techniques. *Ecological Modelling*, Vol. 455, 10961.

doi.org/10.1007/s10661-011-2049-z

-Emeksiz, C. and Yüksel, A. (2022). A. suitable site selection for sustainable bioenergy production facility by using hybrid multi-criteria decision making approach, case study: Turkey. *Fuel*, Vol. 315,123214,

doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123214

-Moradi, S., Yousefi. H., Noorollahi, Y. and Rosso, D. (2020). Multi-criteria decision support system for wind farm site selection and sensitivity analysis: Case study of Alborz Province. Iran, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 29, 100478 (In Persion)

-Padillo. A., Ruiz, D., Torija, A. and Ángel, R. (2016). Selection of suitable alternatives to reduce the environmental impact of road traffic noise using a fuzzy multi-criteria decision model. *Environmental Impact Assessment Review*, Vol.61, 8-18.

Selecting the Appropriate Option of Road Routes in Mountainous Areas Using Multi-Criteria Decision Model

Ali Mombeini, Department of Civil Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

Seyed Mahmood Jazayeri Moghadas, Department of Civil Engineering, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.

E-mail: m.jazayeri@iau.ac.ir

Received: January 2024 - Accepted: June 2024

ABSTRACT

The route selection process as the first step in road design and engineering is always faced with various options, the most appropriate of which should be selected. The purpose of this study is to investigate the effective and influential criteria in decision-making and choosing the right option for building a road in mountainous areas. A case study in this research is the selection of the appropriate route of the Abgonji-Masjed soleyman axis using four safety and technical criteria, environment, cost and time. For this purpose, firstly, using the opinions of 15 experts, the weight value of each sub-criterion in the main criterion was determined and the score of the sub-criteria was determined based on the available studies and documents from the preliminary investigations, and then the weight of each criterion was determined using Shannon's entropy method. After that, using the simple weighting method, the final weight of each option was calculated and option 4 was chosen as the most appropriate option. After that, options 3, 1 and 2 were placed in the next ranks respectively. In the end, many factors are effective in the process of choosing a path, whose value and impact are not the same in the path. Road safety considerations and technical regulations of construction projects, the impact of the project on the environment as well as the physical structure of the area, the criteria that determine the cost and duration of the project are among the things that should be considered in the final decision.

Keywords: Multi-Criteria Decision Making, Route Selection, Mountainous Areas, Shannon Entropy, Simple Weighting Method (SAW)