نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۱، جلـــد ۲۲، بهـــار ۱۳۹۰
صفحـــه ۲-۱۲

IJIE نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

مکان‌یابی محل ساخت پل با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی در GIS

نصیر محسنی، کوروش بهزادیان* و عبداله اردشیر

کلمات کلیدی

مکان‌یابی مناسب پل،
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی،
منطق فازی،
سیستم اطلاعات جغرافیایی

چکیده:

انتخاب مکان مناسب پل روی رودخانه به معیارهای زیادی همچون اقتصادی، حمل و نقل و ژئومورفولوژی وابسته است. در این مقاله مناسب‌ترین مکان‌ها برای احداث سازه پل در یک مطالعه موردی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و منطق فازی در محیط GIS شناسایی می‌شوند. ابتدا طول رودخانه بر اساس خصوصیات مشابه به چندین بازه تقسیم‌بندی می‌شود که هر کدام، یک گزینه برای انتخاب محل ساخت پل می‌توانند باشند. سپس معیارهای اصلی مکان‌یابی معرفی و با استفاده از آنها، لایه‌های مختلف GIS تعریف می‌شوند. گزینه‌هایی که حداقل معیارهای فنی مورد نیاز برای ساخت پل را تامین ننمایند، حذف می‌شوند. گزینه‌های باقیمانده نسبت به هر یک از سه معیار تعریف‌شده وزن‌دهی می‌شوند. معیارها نیز با توجه به نظرات سه کارشناس خبره با یکدیگر مقایسه زوجی می‌شوند. بمنظور در نظر گرفتن عدم قطعیت مقایسات زوجی از منطق فازی استفاده می‌شود. سرانجام، بهترین گزینه‌ها بر اساس روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی رتبه‌بندی می‌شوند. همچنین با توجه به وجود یک پل قدیمی در منطقه، دو سناریوی وجود یا عدم وجود پل قدیمی نیز بررسی می‌شود.

۱. مقدمه

یکی از مهمترین تصمیمات پروژه‌های پلسازی بر روی رودخانه‌ها در مرحله برنامه‌ریزی، انتخاب محل مناسب پل جهت احداث پل می‌باشد. در این تصمیم‌گیری باید اهداف اصلی احداث پل بعلاوه عوامل تعیین‌کننده در انتخاب محل پل در نظر گرفته شوند تا مناسب‌ترین مکان برای احداث پل روی رودخانه شناسایی شود. در طرف مقابل، انتخاب نامناسب مکان پل بر روی رودخانه می‌تواند منجر به مشکلات زیادی از جمله صرف هزینه بالا برای ساخت پل، هزینه‌های فراوان آینده برای نگهداری از پل و اختلال در سیستم حمل و نقل شود.

بطور کلی انتخاب مکان مناسب یا مکان‌یابی یک تاسیسات خاص در یک منطقه، یکی از مسائل متداول در تصمیم‌گیری است. این مسائل خصوصاً در سال‌های اخیر توجه زیادی را بخود جلب نموده‌است و روشهای کمی و کیفی زیادی برای حل آنها پیشنهاد شده است [۱]. در این راستا، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره بعنوان یکی از روش‌های مورد توجه محققین و کارشناسان برای رتبه‌بندی و مکان‌یابی در کاربردهای مختلفی بکار رفته‌است. دربین روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP[2]) بیش از همه در حل مسائل رتبه‌بندی مورد توجه قرار گرفته‌است بگونه‌ایکه تا کنون در طی ۱۵ سال بیش از ۱۰۰۰ مرجع علمی از مطالعه ساعتی (۱۹۹۴) بنیانگذار روش AHP نام برده‌اند [۲]. کاربرد AHP در سال‌های اخیر بطور وسیع بعنوان یک ابزار سودمند در تصمیم گیری چندمعیاره برای مکان یابی محل مناسب

تاریخ وصول: ۱۳۸۹/۴/۹
تاریخ تصویب: ۱۳۹۰/۱/۲۰

نصیر محسنی، کارشناس ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Ns.mohseni@aut.ac.ir
***نویسنده مسئول مقاله: دکتر کوروش بهزادیان**، استادیار پژوهشکده محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Behzadian@aut.ac.ir
عبداله اردشیر، رئیس پژوهشکده محیط‌زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر؛ دانشیار دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Ardeshir@aut.ac.ir

[2] *Analytical Hierarchy Process*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

ساخت مواردی همچون مراکز توزیع[۳] و معادن سنگ آهک[۴] مورد استفاده قرار گرفته است. از آنجاییکه روش AHP استاندارد برای مقایسه زوجی گزینه ها و معیارها، نیازمند ارائه نظرات کارشناسان بصورت صریح و با استفاده از اعداد دقیق می‌باشد، به نظر می‌رسد کاربردهای اخیر روش AHP استاندارد دارای مشکل عدم در نظر گرفتن عدم قطعیت و خطا در نظرات کارشناسان می‌باشند.

بنابراین لازم است در روش AHP بنحوی عدم قطعیت ناشی از قضاوت انسانی در داده‌های ورودی منعکس شود [۵]. برای حل این نقطه ضعف، استفاده از منطق فازی (Fuzzy) برای درنظر گرفتن عدم قطعیت در حل مسائل مکان‌یابی پیشنهاد شده‌است. در این راستا، تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت حل مسائل تصمیم گیری سلسله مراتبی AHP توسعه پیدا نمود. برخی از کاربردهای سال‌های اخیر مدل Fuzzy-AHP در مسائل مکان‌یابی عبارتند از انتخاب مکان مناسب ایستگاه آتش‌نشانی در یک فرودگاه [۶]، انتخاب مکان مناسب مراکز خرید [۷] و همچنین مکانیابی محل ساخت یک کارخانه نساجی [۸].

اما به‌منظور بالاتربردن میزان دقت در مسائل مکان‌یابی استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[1]) نیز در کاربردهای اخیر این روش‌ها دیده می‌شود. مزایای بالقوه استفاده از ابزار GIS برای مکانیابی نه تنها کاهش زمان و هزینه صرف شده برای مکان‌یابی مناسب است، بلکه بانک داده‌ای برای نظارت و بررسی بهتر مکان مورد مطالعه فراهم را می‌نماید [۹]. همچنانکه Chang و همکاران با استفاده از ابزار GIS و تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP فازی مکان‌های مناسب برای دفن زباله‌های شهری را شناسایی نمودند [۱۰]. کاربرد GIS به همراه تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDA[2]) قادر است با یکپارچه نمودن داده‌های گرافیکی (نقشه های GIS) و مقادیر قضاوت کارشناسان (ترجیحات و عدم قطعیت نظرات کارشناسان) ارزیابی جامعی از گزینه های مناسب برای تصمیم گیری در اختیار تصمیم گیرنده قرار دهد [۱۱]. برای نمونه، برخی از کاربردهای روش GIS-MCDA در زمینه انتخاب مکان مناسب محل دفن پسماند در سالهای اخیر صورت گرفته است[۹,۱۲,۱۳,۱۴].

همانگونه که اشاره شد، مطالعات زیادی در زمینه مکانیابی ساخت با استفاده از GIS یا MCDA انجام شده است اما بطور کلی تاکنون مطالعات اندکی با استفاده از GIS یا MCDA در زمینه‌های مرتبط با پل‌های رودخانه‌ای اعم از ساخت پل یا مکان‌یابی آنها و نظایر آن دیده شده است. برای نمونه Hammad و همکاران [۱۵]، مدلی برای انتخاب نوع پل با استفاده از GIS و سیستم خبره در مرحله مطالعات مقدماتی ارائه نمودند. مهمترین معیارهای آنها عبارت بودند از هزینه ساخت، سهولت رفت و آمد و دورنمای طبیعی سازه. البته در مطالعه ایشان انتظار می‌رفت که از معیار هیدرولیکی جهت ارزیابی کلی ساخت پل روی رودخانه برای تعیین هزینه ساخت و نوع پل بهره گرفته می‌شد. کما اینکه نقشه‌ها و لایه‌های GIS در این مطالعه غیرشفاف و با دقت کم ارائه شده است. همچنین Pan رویکرد Fuzzy-AHP را برای انتخاب بهترین روش ساخت پل از بین سه روش موجود مورد تحلیل قرار داد [۱۶]. Zhao and Chen نیز مدلی بر مبنای تحلیل فازی جهت شناسایی آسیبهای محتمل وارده به سازه پل را ارائه نمودند که در برگیرنده اطلاعات سودمندی جهت آشنایی طراحان پل با عوامل گوناگون مخرب سازه پل و درک تاثیر هریک از این عوامل روی خرابی پل است [۱۷]. Wang and Elhang مدل تصمیم گیری گروهی فازی برای ارزیابی ریسک پل ارائه نمودند که این مدل فاکتورهای ریسک پل را با استفاده از ترم های زبانی مورد ارزیابی قرار می دهد [۱۸].

با این وجود در زمینه مکان‌یابی محل ساخت پل بر روی رودخانه‌ها با استفاده از روش Fuzzy-AHP تحقیقی ارائه نشده است. در این مقاله برای اولین بار کاربرد روش Fuzzy-AHP برای مکان‌یابی محل ساخت پل رودخانه‌ای با کمک ابزار GIS مورد توجه قرار گرفته است. از آنجا که در هر مساله مکان‌یابی لازم است معیارهای مربوط به خود تعریف شود، در این تحقیق معیارهای اصلی موثر تعریف گردیده و با استفاده از ابزار GIS لایه‌های مورد نیاز و داده‌های ورودی بدست آمده‌اند. استفاده از ابزار GIS در تولید داده‌های ورودی نیز سبب بالا رفتن دقت محاسبات گردیده است که از مزایای اصلی مدل مورد استفاده در مسائل مکان‌یابی پل محسوب می‌شود. در نهایت مدل Fuzzy-AHP برای مکان‌یابی بهینه محل احداث پل بر روی یک رودخانه مورد مطالعه در شمال ایران بررسی می‌گردد که در ادامه در بخش‌های روش تحقیق و ارائه و بررسی نتایج با جزئیات بیشتر توصیف می‌شوند.

۲. روش تحقیق

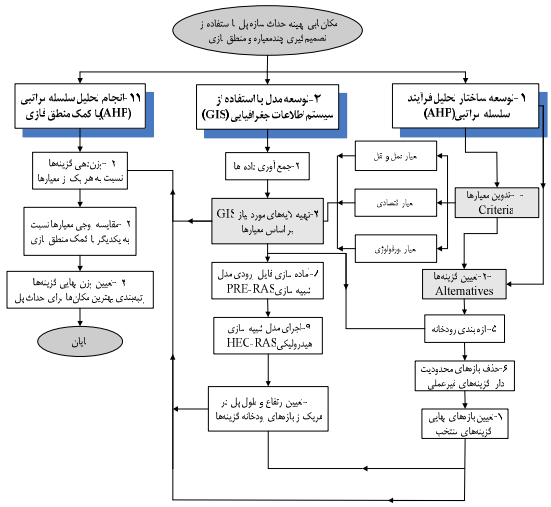
فلوچارت روش پیشنهادی برای مکان‌یابی بهینه احداث سازه پل با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در شکل (۱) نشان داده شده است. ابتدا ساختار مدل تصمیم گیری چندمعیاره سلسله مراتبی توسعه می‌یابد. همانگونه که در شکل دیده می‌شود مراحل مورد نیاز برای مکان‌یابی سازه پل در سه بخش کلی تقسیم‌بندی شده‌است. در اولین بخش، ابتدا ساختار روش تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP در دو قسمت تدوین معیارها و تعیین گزینه‌ها توسعه می‌یابد. در مدل AHP ارائه شده برای کاهش خطا از دو دیدگاه استفاده شده است: ۱- استفاده از تصمیم‌گیری گروهی که این امکان را می‌دهد که از نظرات کارشناسان با تخصص‌های گوناگون در تحلیل مدل استفاده شود. ۲- استفاده از منطق فازی تا نظرات کارشناسان با در نظر رفتن عدم قطعیت ناشی از قضاوت انسانی بیان گردد. بنحویکه مدل بر اساس این دو رویکرد در زمینه کاهش خطا، در پی آن است تا نتایج را به حالت واقعی نزدیک نماید. در بخش دوم، مدل

[1] *Geographic Information System*
[2] *Multi-criteria Decision Attribute*

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

رودخانه با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) توسعه پیدا می‌نماید. در این بخش، تهیه لایه‌های مورد نیاز در محیط GIS بر اساس معیارهای تعریف شده در بخش اول می‌باشد. در ادامه این بخش شبیه‌سازی هیدرولیکی مدل رودخانه با استفاده از HEC-RAS در محیط GIS انجام می‌شود. در نهایت طول و ارتفاع پل در گزینه‌های انتخابی بر اساس ارتفاع آب در مقاطع انتخابی رودخانه بدست می‌آید. در بخش آخر، تحلیل فرآیند سلسله مراتبی AHP با کمک منطق فازی برای بدست آوردن وزن گزینه های انتخابی روی رودخانه نسبت به معیارها و تعیین اهمیت نسبی معیارها نسبت به یکدیگر روی مدل انجام می گیرد و با استفاده از روابط بدست آمده، وزن نهایی هر گزینه تعیین می گردد که در نهایت منجر به تعیین بهترین مکانهای احداث پل روی رودخانه می شود.

در این مطالعه با توجه به شرایط موجود و ملاحظات منطقه‌ای، سه معیار اصلی برای ارزیابی در تحلیل فرآیند سلسله مراتبی مورد توجه قرار گرفت و به‌عنوان معیارهای اصلی در نظر گرفته شدند. این معیارها عبارتند از: (۱) معیار حمل و نقل؛ (۲) معیار اقتصادی؛ و (۳) معیار مورفولوژی که در ادامه به‌ترتیب توصیف می‌شوند.



شکل۱. فلوچارت روش پیشنهادی

۱-۲. معیار حمل و نقل

از منظر معیار حمل و نقل مکانی برای احداث پل مناسب می‌باشد که مجموع سفرهای روزانه ساکنین منطقه در طرفین رودخانه را حداقل نماید. بر اساس این فرضیه در این معیار، یک رابطه استنتاجی قابل استخراج می‌باشد بنحویکه در آن مجموع حداقل فاصله پیموده شده از هر یک از روستاها در یک طرف رودخانه به مراکز دسترسی عمومی در طرف دیگر رودخانه که از طریق گزینه پیشنهادی عبور می‌نمایند برای هر یک از گزینه‌ها محاسبه می‌شود. بعلاوه، تاثیر جمعیت روستاها و میزان اهمیت مکان‌های دسترسی عمومی با استفاده از یک ضریب اعمال می‌شود. بنابراین، وزن هر یک از گزینه‌های احداث پل با توجه به معیار حمل و نقل با استفاده از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$D_k = \sum_{j=1}^{N_1}\sum_{i=1}^{M_1} d_{ijk} \times \beta_{ij} + \sum_{j=1}^{N_2}\sum_{i=1}^{M_2} d'_{ijk} \times \beta'_{ij} \qquad (۱)$$

که در آن D_k = وزن مکان با پتانسیل احداث پل kام؛ d_{ijk} = فاصله جاده‌ای بین روستای iام در پایین رودخانه و مکان دسترسی jام در بالای رودخانه با استفاده از مکان احداث پل kام؛ d'_{ijk} = فاصله جاده‌ای بین روستای iام در بالای رودخانه تا مکان دسترسی jام در پایین رودخانه با استفاده از مکان احداث پل kام؛ β_{ij} = ضریب نشان دهنده تاثیر جمعیت روستای iام در پایین رودخانه و اهمیت مکان‌های دسترسی jام در بالای رودخانه؛ β'_{ij} = ضریب نشان دهنده تاثیر جمعیت روستای iام در بالای رودخانه و اهمیت مکان‌های دسترسی jام در پایین رودخانه؛ M_1 = تعداد روستاهای واقع در پایین رودخانه؛ N_1 = تعداد مکان‌های دسترسی عمومی واقع در بالای رودخانه؛ M_2 = تعداد روستاهای واقع در بالای رودخانه؛ N_2 = تعداد مکان‌های دسترسی عمومی واقع در پایین رودخانه. همچنین ضریب β_{ij} با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$\beta_{ij} = \frac{P_i}{\sum_{k=1}^{M_1} P_k} \times \frac{W_j}{\sum_{l=1}^{N_1} W_l} \qquad (۲)$$

که در آن P_i = جمعیت روستای iام در پایین رودخانه؛ $\sum_{k=1}^{M_1} P_k$ = جمعیت کل روستاهای در پایین رودخانه به نفر؛ W_j = وزن یا اهمیت مکان دسترسی jام در بالای رودخانه؛ $\sum_{l=1}^{N_1} W_l$ = مجموع وزن‌های اهمیت مکان‌های دسترسی در بالای رودخانه؛ بهمین ترتیب ضریب β'_{ij} همانند رابطه (۲) ولی بر حسب جمعیت روستاهای بالا و مراکز عمومی پایین رودخانه محاسبه می‌شوند. بدیهی است بر اساس رابطه (۱) گزینه‌های دارای وزن کمتر، مقدار حمل و نقل روزانه کمتری را برای ساکنین منطقه بمنظور دسترسی به مراکز خدماتی ایجاد می‌نمایند و از جنبه معیار حمل و نقل دارای اولویت بیشتری می‌باشند. همچنین فرضیات در نظر گرفته شده در توسعه رابطه (۱) بر این است که مردم ساکن در اطراف رودخانه برای تامین نیازهای خود از طرف دیگر رودخانه در محدوده مورد مطالعه از طریق پل پیشنهادی (در سناریوی اول) و پل پیشنهادی و پل موجود (در سناریوی دوم) استفاده می‌نمایند. بعلاوه نقش افزاینده یا کاهنده تاثیر جمعیت مناطق مسکونی و اهمیت نسبی مراکز عمومی برای ساکنین منطقه، از ضریب β استفاده شده است.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

۲-۲. معیار اقتصادی

در معیار اقتصادی عمده‌ترین موارد قابل ملاحظه عبارتند از: خرید زمین اطراف رودخانه در صورت مالکیت خصوصی، هزینه ساخت پل، هزینه ساخت جاده دسترسی پل از محل جاده‌های اصلی طرفین رودخانه. با توجه به یکسان بودن بسیاری از این موارد در کلیه مکان‌های با پتانسیل ساخت پل، تنها عامل هزینه ساخت پل و راهسازی جاده دسترسی به عنوان معیار اقتصادی در نظر گرفته می‌شود.

برای محاسبه هزینه ساخت پل و راه دسترسی، ابتدا نیاز به برآورد حجم کار و ابعاد راه دسترسی و پل مورد نظر می‌باشد. برای برآورد ابعاد تقریبی پل نیاز به دانستن ارتفاع و طول پل می‌باشد. برای دستیابی به این اطلاعات، تحلیل جریان سیلاب با دوره بازگشت مناسب ضروری می‌باشد. انجام این عمل از طریق توسعه مدل هیدرولوژیکی سیلاب در GIS امکان‌پذیر می‌باشد. تحلیل هیدرولیکی مدل به منظور محاسبه دشت سیلابی و تخمین ارتفاع و طول عرشه پل انجام می‌شود. در این تحقیق از نرم افزار HEC-RAS برای مدل سازی هیدرولیکی رودخانه استفاده شده است. با انجام تحلیل هیدرولیکی و تعیین دشت سیلابی، در نهایت طول و ارتفاع پل در هر گزینه مشخص می شود. هزینه جاده دسترسی پل به جاده اصلی طرفین رودخانه نیز با توجه به شیب زمین و اصول راهسازی برآورد می‌گردد.

همچنین بمنظور در نظرگرفتن تاثیر خاک فونداسیون محل احداث پل، در مکانهایی که خاک مناسب است از پی سطحی و در مکان‌های با خاک ضعیف از پی عمیق استفاده می‌شود. بنابراین هزینه ساخت مکان‌های با پی‌های سطحی و عمیق با توجه به نوع خاک زیر پی، متفاوت خواهند بود.

۲-۳. معیار مورفولوژی

بمنظور در نظرگرفتن شرایط مئاندر (پیچ و خم) و کنترل تغییر مکان بستر رودخانه در بازه‌های (گزینه‌های) منتخب از شاخصی به نام ضریب سینوسی استفاده می‌شود که عبارت است از خارج قسمت طول پیچان بر طول مستقیم رودخانه. در این حالت مقدار ضریب سینوسی برای قوسی که مقطع رودخانه برای احداث پل در نظر گرفته شده است محاسبه می‌شود. برای محاسبه ضریب سینوسی از دو نقطه ابتدا و انتهای هر گزینه استفاده می شود. هر چه این ضریب افزایش پیدا کند از مطلوبیت رودخانه برای احداث پل کاسته می‌شود. ضریب سینوسی برابر یک بهترین حالت ممکن از دیدگاه مورفولوژی در بازه می باشد چرا که بیانگر اینست که بازه بصورت مستقیم می باشد و هیچ مئاندری (پیچ و خم) در آن دیده نمی شود. در سایر حالات، ضریب سینوسی از عدد یک بیشتر می باشد. بنابراین، ضریب سینوسی هر گزینه برای هر قوس رودخانه محاسبه می شود. در نهایت، ضرایب سینوسی نسبت به یکدیگر نرمایزه می شوند تا وزن گزینه‌ها نسبت به معیار مورفولوژی بدست آید.

۲-۴. بازه‌بندی

برای انتخاب گزینه‌های ساخت پل ابتدا لازم است طول رودخانه به بازه‌های کوچکتری تقسیم‌بندی شود. با این وجود در این تقسیم‌بندی، یکسانی و تشابه در موارد ذیل مورد توجه قرار گرفت: (۱) خصوصیات یکسان و متشابه از جهت ژئومورفولوژی، مشخصه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی؛ (۲) کاربری اراضی در حاشیه رودخانه.

سپس، گزینه‌ها (بازه‌هاییکه) که نتواند حداقل شرایط فنی مورد نیاز برای احداث راه دسترسی و پل را تامین نماید از بین گزینه‌های موجود حذف می‌شود. معیارهای اصلی که بعنوان محدودیت‌های اجرایی در این قسمت مد نظر قرار گرفته‌اند بصورت ذیل می‌باشند: (۱) ارتفاع بسیار زیاد پایه پل با توجه به عمق زیاد دره رودخانه در مقطع مورد نظر و در نتیجه غیرقابل توجیه بودن هزینه ساخت؛ (۲) وجود خاکبرداری یا خاکریزی فوق‌العاده زیاد و غیرقابل توجیه برای جاده‌های منتهی به پل پیشنهادی؛ (۳) وجود سخره‌های با شیب زیاد در یک سمت ساحل در بازه رودخانه؛ (۴) طول بسیار زیاد عرشه پل بدلیل رعایت شیب‌های استاندارد جاده‌های منتهی به پل یا وجود دره‌های متعدد در آبراهه رودخانه در مقطع پیشنهادی پل. با حذف گزینه‌های غیرعملی برای ساخت پل، گزینه‌های نهایی (بازه‌های منتخب) برای ساخت پل بعنوان گزینه‌های با پتانسیل احداث پل بدست می‌آید.

۲-۵. لایه‌های مورد نیاز GIS و تحلیل هیدرولیکی

بمنظور انتخاب مکان مناسب پل، ابتدا بایستی نقشه‌های موردنیاز برای محاسبه اوزان گزینه‌ها نسبت به معیارها به عنوان داده‌های اولیه تهیه گردد. این اطلاعات عبارتند از: نقشه توپوگرافی منطقه، جمعیت روستاها، موقعیت روستاها و مراکز عمومی، راههای موجود در منطقه، موقعیت رودخانه در منطقه و همچنین نقشه زمین‌شناسی و کاربری اراضی حوزه که باید کلیه آنها در محیط GIS تهیه شوند. با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده در محیط GIS، تحلیل هیدرولیکی با استفاده از HEC-RAS در محیط GIS با هدف تعیین ارتفاع و طول پل در مقاطع موجود انجام می‌شود.

۲-۶. تحلیل Fuzzy-AHP

در این مطالعه از روش Fuzzy-AHP که توسط باکلی در سال ۱۹۸۵ معرفی گردید [۱۹]، استفاده می‌شود. روش AHP عموماً شامل دو رده سلسله مراتبی می‌باشد که به‌ترتیب از پایین به بالا عبارتند از: (۱) مقایسه زوجی گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها؛ (۲) مقایسه زوجی معیارها نسبت به هدف اصلی. در روش Fuzzy-

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

AHP هر یک از رده‌های سلسله مراتبی می‌توانند بصورت فازی ارائه شوند. در تحقیق حاضر، تنها برای مقایسه زوجی بین معیارها از اعداد مثلثی و ذوزنقه‌ای فازی استفاده می‌شود. همچنین برای قضاوت منصفانه و بدون جانبداری از نظرات سه کارشناس مختلف دارای تخصص‌های اقتصادی، حمل و نقل و هیدرولیک استفاده می‌شود.

در سلسله مراتب پایینی، مقایسه بین گزینه‌ها نسبت به هر یک از معیارها بصورت مقادیر وزنی بصورت ارائه شده در بخش قبل بیان می‌شود. بنابراین در این بخش مقادیر وزن‌ها بر اساس محاسبات بدست آمده و قطعی می‌باشند و نیازی به تبدیل به اعداد فازی در آنها احساس نمی‌شود.

همچنین در روش Fuzzy-AHP ابتدا لازم است مقایسه‌های زوجی با استفاده از ترم‌های زبانی انجام شود. در این تحقیق از ۵ ترم زبانی که توسط Chen and Howang (۱۹۹۲) مطابق جدول ۱ پیشنهاد شده برای مقایسه زوجی فازی معیارها استفاده می‌شود [۲۰]. در ادامه برای مواجهه با رویکرد فازی دو گام مورد نیاز است: (گام اول) تبدیل عبارات زبانی به اعداد فازی که در جدول ۱ اعداد فازی مرتبط با هر یک از ترم‌های زبانی ارائه شده‌است؛ (گام دوم) تبدیل اعداد فازی به اعداد قطعی (غیرفازی) که توصیف آن به همراه تجمیع نمودن نظرات کارشناسان مختلف در ادامه توصیف می‌شود.

چنانچه ماتریس A در رابطه ذیل نشان دهنده ماتریس مقایسه زوجی در مدل Fuzzy-AHP باشد، هر المان آن با استفاده از اعداد فازی ارائه می‌شود. برای نمونه در این رابطه $x_{12,U}$ ، $x_{12,M}$ و $x_{12,L}$ به ترتیب نشان‌دهنده حد بالا، وسط و پایین مقایسه زوجی المان ۱ نسبت ۲ می باشد.

جدول ۱. اعداد فازی نسبت داده شده به ترم‌های زبانی [۲۰]

عدد فازی	شرح	قضاوت زبانی
(۰،۰،۱،۲)	معیار A نسبت به معیار B خیلی بی‌اهمیت است	خیلی بی اهمیت (VU)
(۱،۲،۵،۴)	معیار A نسبت به معیار B کم اهمیت است	کم اهمیت (LI)
(۳،۵،۷)	معیار A نسبت به معیار B دارای اهمیت برابر است	اهمیت برابر (EI)
(۶،۷،۵،۹)	معیار A نسبت به معیار B اهمیت بیشتری دارد	اهمیت بیشتر (MI)
(۸،۹،۱۰،۱۰)	معیار A نسبت به معیار B خیلی بااهمیت‌تر است	خیلی با اهمیت (VI)

$$\tilde{A}_{n\times n}=\begin{bmatrix} 1 & (x_{12L},x_{12M},x_{12U}) & \cdots\cdots & (x_{1n,L},x_{1n,M},x_{1n,U}) \\ (x_{21L},x_{21M},x_{21U}) & 1 & \cdots\cdots & (x_{2n,L},x_{2n,M},x_{2n,U}) \\ \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots & \cdots\cdots \\ (x_{n1,L},x_{n1,M},x_{21U}) & \cdots\cdots & \cdots\cdots & 1 \end{bmatrix}$$

برای نرمال نمودن اعداد فازی در ماتریس مقایسه زوجی معیارها، از روش میانگین هندسی استفاده می‌شود. با فرض اینکه هر المان ماتریس A با عدد مثلثی فازی (a,b,c) نشان داده شود، اعداد فازی نرمال شده هر معیار با استفاده از معادلات (۳) تا (۵) محاسبه می‌شود.

$$a_i=(\prod_{j=1}^{n}a_{ij})^{1/n} \qquad (۳)$$

$$a=\sum_{i=1}^{n}a_i \qquad (۴)$$

برای کلیه مقادیر i=1,2,…,n

بطریق مشابه b_i ،b ،c_i و c برای دیگر اعداد فازی بدست می آید. در نهایت مقدار عددی نرمال شده معیار i یعنی $\mu_i(z)$ برابر است با:

$$\mu_i(z)=\left(\frac{a_i}{c},\frac{b_i}{b},\frac{c_i}{a}\right) \qquad (۵)$$

برای کلیه مقادیر i=1,2,…,n

که در آن a_i میانگین هندسی المان اول اعداد فازی مربوط به مقایسه معیار i به سایر معیارها (j=1,…,n)؛ a_{ij} المان اول عدد فازی مربوط به مقایسه معیار i به معیار j می باشد. سایر المان ها بصورت مشابه تعیین می شوند. پس از تشکیل ماتریس نرمال شده معیارها، گام دوم یعنی تبدیل اعداد فازی به غیرفازی لازم است انجام شود. همچنین نظرات کارشناسان مختلف نیز در ارزیابی گروهی باید به یک نظر واحد تبدیل گردد. برای این منظور در این مقاله از روش مرکز جرم بدلیل سادگی و کارایی بالای آن بصورت ذیل استفاده می‌شود [۱۹]:

$$z_i^*=\frac{\sum_{k=1}^{K}\int(\mu_i(z).zdz)_k}{\sum_{k=1}^{K}\int(\mu_i(z)dz)_k} \qquad (۶)$$

برای کلیه مقادیر i=1,2,…,n

که در آن z^* میانگین وزنی و k تعداد کارشناسان می‌باشد. در نهایت وزن کلی j امین گزینه مربوط به معیار iام، برابر است با:

$$OW_j=\sum_{i=1}^{n}z_i^*\times w_{ij} \qquad (۷)$$

که درآن n تعداد معیارها، w_{ij} وزن نرمال شده گزینه j نسبت به معیار i و OW_j وزن کلی گزینه jام می‌باشد.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

۳. نتایج و بحث

رودخانه مورد مطالعه، بازه‌ای از رودخانه دوغ مربوط به حوزه بانیال استان گلستان و بطول ۱۵ کیلومتر می‌باشد. این رودخانه طولانی‌ترین سرشاخه رودخانه گرگانرود می‌باشد که در استان‌های گلستان و خراسان شمالی واقع می‌باشد. موقعیت جغرافیایی ابتدا و انتهای بازه رودخانه مورد مطالعه در بین طول‌های جغرافیایی ″۲۵′۲۶°۵۵ و″۳۰′۳۲°۵۵ شرقی و عرض جغرافیایی ″۱۰′۲۱°۳۷ و ″۵۰′۲۲°۳۷ شمالی قرار گرفته است. شکل (۲) نقشه حوزه مورد مطالعه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ نشان می‌دهد.

در اولین گام تعیین گزینه‌های پیشنهادی برای ساخت پل، محدوده مورد مطالعه رودخانه دوغ بر اساس معیارهای معرفی شده به ۳۰ بازه که هر کدام در داخل خود دارای شرایط یکسانی برای احداث پل می‌باشد تقسیم‌بندی می‌شود. با توجه به عدم امکان ایجاد راه یا پل با توجه به ضوابط راهسازی و پلسازی در برخی از بازه‌ها، این بازه‌ها از بین گزینه‌های موجود حذف شده‌اند. براین اساس از میان ۳۰ مقطع اولیه، ۱۶ مقطع حذف شده‌است و ۱۴ مقطع برای تحلیل باقی مانده‌است که در شکل (۳) این مقاطع یعنی گزینه‌های منتخب نشان داده شده‌است.

با توجه به وجود پلی قدیمی در مسیر رودخانه (پل کوسه در مقطع شماره ۲۰)، دو سناریو در این تحقیق در نظر گرفته می‌شوند که عبارتند از رتبه‌بندی مکان‌های مناسب پل بدون توجه به وجود پل کوسه (سناریوی اول) و همچنین رتبه‌بندی مکان‌های مناسب پل با توجه به وجود پل کوسه.

تفاوت تحلیل بین دو سناریو، در محاسبه معیار حمل و نقل برای هر گزینه می‌باشد، بدین ترتیب که در سناریوی دوم (با در نظر گرفتن پل کوسه)، در محاسبه فواصل پیموده شده بین روستاها و مراکز عمومی در طرفین رودخانه باید همواره مسیر عبوری برای هر یک گزینه‌های ساخت پل با مسیر عبوری از پل موجود (پل کوسه) مقایسه شود و مسیر کوتاه‌تر بعنوان مسیر منتخب آن روستا و مرکز عمومی در محاسبات درنظر گرفته‌شود.

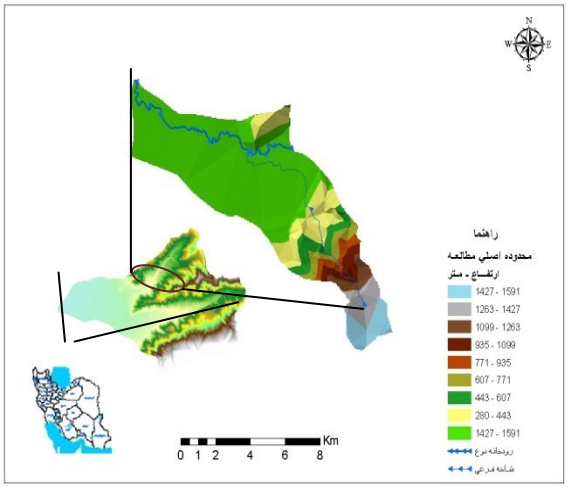
در منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۸ و ۹ روستا در بالا و پایین رودخانه، اماکن عمومی شامل یک مجتمع ورزشی در بالای رودخانه، دو مدرسه ابتدایی، یک مدرسه راهنمایی، دو داروخانه، یک درمانگاه و یک فروشگاه در پایین رودخانه می‌باشند که در شکل ۳ نشان داده شده‌است. جهت بررسی معیار حمل و نقل، از معادله (۲) برای شناسایی مقاطع دارای مسافت حمل و نقل کمتر در سناریوی اول از میان ۱۴ مقطع و در سناریوی دوم از میان ۱۳ مقطع استفاده می‌گردد.

در محاسبه وزن گزینه‌ها نسبت به معیار اقتصادی، هزینه‌های درنظرگرفته شده برای هر گزینه عبارتند از (۱) هزینه احداث راه از پل به جاده دسترسی اطراف رودخانه؛ (۲) هزینه ساخت پل بر اساس طول و ارتفاع پل و نوع فونداسیون پل بصورت عمیق و سطحی. وزن گزینه‌ها نسبت به معیار مورفولوژیکی نیز همانگونه که پیشتر بیان شد از طریق محاسبه ضریب سینوسی هر گزینه بدست می‌آید. بدین ترتیب وزن نسبی هر یک از گزینه‌ها (مقاطع منتخب) نسبت به هر یک از معیارها با توجه به روش پیشنهادی در این مقاله برای هر دو سناریو شامل وجود یا عدم وجود پل قدیمی محاسبه می‌شود که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده‌است.

یادآور می‌شود به‌منظور مقایسه گزینه‌ها بین سه معیار مذکور و بی‌بعد نمودن مقادیر وزن‌ها، این اوزان نسبت به بهترین گزینه (در اینجا مقاله کمترین مقدار در هر سه معیار) نرمال شده‌اند. به‌عنوان نمونه در سناریوی اول، در معیار اقتصادی، مقطع شماره ۲۰، بهترین مقطع از لحاظ اقتصادی می‌باشد و دارای وزن ۱ می‌باشد. دیگر مقاطع نسبت به این مقطع نرمال شده و به نسبت دارای وزن کمتر از ۱ می‌باشند.

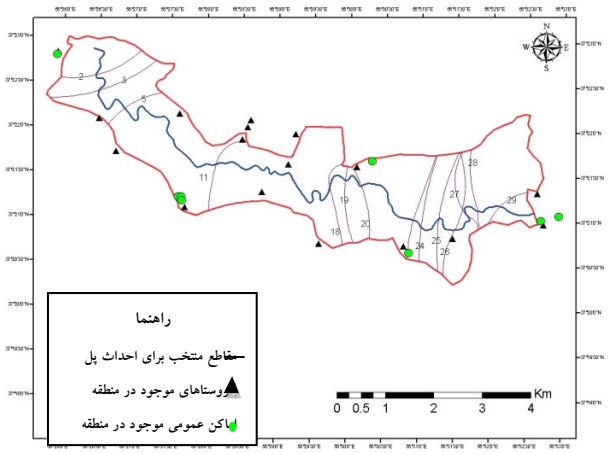
برای استفاده از نظرات کارشناسان از نظر سه کارشناس اقتصادی، حمل و نقل و هیدرولیک در مورد اهمیت سه معیار اصلی اقتصادی، حمل و نقل و مورفولوژی بهره‌گیری شده است که نتایج نظرسنجی کارشناسان بصورت ترم‌های زبانی در جدول (۲) نشان‌داده‌شده است. سپس بر اساس داده‌های جدول ۲، ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی برای هر یک از کارشناسان تشکیل می‌شود. آنگاه، با استفاده از معادلات (۳)-(۵)، بردار وزنی فازی برای نظرات هر یک از کارشناسان محاسبه می‌شود که نتیجه آن در جدول (۳) ارائه شده است.

در ادامه، اعداد فازی هر یک از معیارها برای قضاوت سه کارشناس بر اساس روش مرکز جرم (رابطه ۶) تجمیع و به یک عدد غیرفازی تبدیل می‌شوند که نتایج مربوطه در جدول (۴) برای هر معیار نمایش داده شده است. در نهایت وزن نهایی هر گزینه را بر اساس رابطه (۷) با توجه به نتایج حاصل شده در جداول ۴ و ۶ برای هر گزینه بدست می‌آید که نتایج نهایی در جدول ۷ ارائه شده‌است.



شکل ۲. نمایی از منطقه مورد مطالعه مربوط به رودخانه دوغ

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]



شکل ۳. موقعیت روستاها، اماکن عمومی و مقاطع منتخب برای احداث پل

جدول ۲. مقایسه زوجی معیارها از دیدگاه سه کارشناس

نام کارشناس	مقایسه معیارها		
	اقتصادی به حمل‌و نقل	حمل و نقل به مورفولوژی	مورفولوژی به اقتصادی
کارشناس اقتصادی	VI	MI	LI
کارشناس حمل و نقل	LI	VI	LI
کارشناس هیدرولیک	LI	LI	VI

جدول ۳. بردار وزنی فازی معیارها از دیدگاه سه کارشناس

کارشناس	معیار		
	اقتصادی	حمل و نقل	مورفولوژی
اقتصادی	۱/۲۷۰/۵۵۰/۲۹.	۰/۷۵۰/۲۱۰.	۰/۷۲۰/۲۵۰/۰۸.
حمل و نقل	۰/۸۰۰/۳۴۰/۱۴.	۱/۰۸۰/۵۲۰/۲۸.	۰/۴۹۰/۱۴۰.
مورفولوژی	۰/۴۹۰/۱۴۰.	۰/۸۰۰/۳۴۰/۱۴.	۱/۰۸۰/۵۲۰/۲۸.

جدول ۴. مقادیر وزن‌های غیرفازی شده معیارها

معیار	z^*
اقتصادی	۰/۵۰۴۱
حمل و نقل	۰/۴۶۳۴
مورفولوژی	۰/۴۲۹۶

بمنظور تشریح بهتر نتایج مدل، محاسبات مربوط به قضاوت کارشناس اول نسبت به معیارها با جزئیات بیشتر تشریح می‌شود. ماتریس مقایسه زوجی معیارها بر اساس ترم‌های زبانی طبق جدول (۲) برای کارشناس اقتصادی بصورت زیر است:

$$A_{3\times3}=\begin{array}{c} \\ eco \\ trans \\ morph \end{array}\begin{array}{c} \begin{array}{ccc} eco & trans & morph \end{array} \\ \begin{bmatrix} EI & VI & MI \\ VU & EI & MI \\ LI & LI & E`I \end{bmatrix} \end{array}$$

که در آن eco=معیار اقتصادی؛ trans=معیار حمل و نقل و morph=معیار موفولوژی می‌باشد. در اولین مرحله در ماتریس مقایسه زوجی فازی، اعداد فازی مطابق جدول ۱ جایگزین ترم‌های زبانی می‌شود که برای کارشناس اول (کارشناس اقتصادی) بصورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$A_{3\times3}=\begin{bmatrix} (3,5,7) & (8,9,10,10) & (6,7.5,9) \\ (0,0,1,2) & (3,5,7) & (6,7.5,9) \\ (1,2.5,4) & (1,2.5,4) & (3,5,7) \end{bmatrix}$$

برای نرمال نمودن ماتریس فازی فوق، ابتدا ماتریس‌های حد پایین، وسط و بالای المان‌های ماتریس A بصورت زیر تشکیل می‌شود:

$$A_L=\begin{bmatrix} 3 & 8 & 6 \\ 0 & 3 & 6 \\ 1 & 1 & 3 \end{bmatrix} \qquad A_M=\begin{bmatrix} 5 & 9.5 & 7.5 \\ 0.5 & 5 & 7.5 \\ 1 & 2.5 & 5 \end{bmatrix}$$

$$A_U=\begin{bmatrix} 7 & 10 & 9 \\ 2 & 7 & 9 \\ 1 & 4 & 7 \end{bmatrix}$$

برای ماتریس حد پایین (A_L) مقادیر a_i و a مطابق روابط ۳ و ۴ بصورت ذیل محاسبه می‌گردد:

$$a_1=(3\times8\times6)^{1/3}=5.16 \qquad a_2=(0\times3\times6)^{1/3}=0$$

$$a_3=(1\times1\times3)^{1/3}=1.44$$

$$a=5.16+0+1.44=6.59$$

به همین صورت برای ماتریس حد متوسط (A_M) مقادیر b_i، b و برای ماتریس حد بالا (A_U) مقادیر c_i، c محاسبه می‌شود. در نتیجه مقادیر فازی $\mu_i(z)$ برای کارشناس اول (اقتصادی) بر اساس مقادیر محاسبه شده و رابطه ۵ برای معیارهای اقتصادی، حمل و نقل و مورفولوژی به ترتیب برابر است با (۰/۰،۲۹/۱،۵۵/۲۷)، (۰/۰،۲۱/۷۵و۰) و (۲۵/۷۲و۰/۰۸و۰/۰). بعنوان نمونه عدد ۰/۲۹ از تقسیم a_i (۵/۱۶) بر c (۱۸/۷) بدست می آید. بدین ترتیب این مراحل برای تعیین مقادیر وزنی فازی معیارها برای هر سه کارشناس محاسبه می‌شود (جدول ۳). در نهایت بر اساس رابطه ۶ برای هر معیار مقادیر فازی هر سه کارشناس با یکدیگر تجمیع شده و مقادیر غیرفازی شده معیارها محاسبه می‌شود (جدول ۴).

یادآور می‌شود در رابطه ۶ برای محاسبه انتگرال ارائه شده با توجه به اینکه اعداد فازی بصورت مثلثی و معادلات درجه ۱ می‌باشند، کافی است ابتدا معادلات مربوطه در انتگرال بصورت معادلات درجه ۱ حل شوند و سپس برای جواب انتگرال، مقادیر عددی

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

محدوده‌های آن جایگزاری و مقدار آن محاسبه شود. چنانچه در ماتریس مقایسه زوجی $A= (a_{ij})_{n*n}$ مقادیر $a_{ij}=w_i/w_j$ و $a_{ii}=1$ و $a_{ij}=1/a_{ji}$ برای مقادیر $i,j=1,\ldots,n$ است، اگر برای هر $i, j, k=1,\ldots,n$ شرط $a_{ij}=a_{kj}\times a_{ik}$ برقرار باشد آنگاه ماتریس A کاملا سازگار می‌باشد، در غیراین صورت ناسازگار خواهد بود. در روش AHP میزان ناسازگاری (Inconsistency) ماتریس مقایسات زوجی تا یک حد مشخصی قابل قبول است.

در این مقاله برای محاسبه میزان ناسازگاری از روش پیشنهادی توسط ساعتی (۱۹۹۴) استفاده می‌شود که بطور خلاصه گام‌های اساسی آن عبارت است از: (۱) محاسبه بردار وزن W ماتریس مقایسه زوجی A: ابتدا هر یک از عناصر ماتریس مقایسه زوجی نسبت به ستون خود در ماتریس نرمال می‌شود و سپس میانگین حسابی عناصر سطری در ماتریس نرمال شده هر یک از عناصر بردار وزنی W را نشان می‌دهند. (۲) محاسبه λ: (طبق تعریف برای هر ماتریس مربعی رابطه $A\times W=\lambda.W$ بر قرار می باشد که λ و W مقدار ویژه و بردار ویژه ماتریس A می باشند.

در حالتیکه ماتریس A ناسازگار باشد رابطه بصورت $\lambda_{max}.W=A\times W$ نوشته می‌شود که λ_{max} بزرگترین مقدار مشخصه ماتریس A می‌باشد) ابتدا مقدار $A\times W$ تعیین شده و سپس از تقسیم هر یک از عناصر بردار حاصله بر عناصر متناظر بردار W بردار λ_{max} بدست می‌آید.

متوسط عناصر بردار λ_{max} مشخص کننده مقدار λ_{max} نهایی می‌باشد. (۳) محاسبه شاخص ناسازگاری (I.I.) مطابق رابطه ۸. (۴) محاسبه نرخ ناسازگاری (I.R.) مطابق رابطه ۹. یادآور می‌شود در این رابطه میزان I.I.R شاخص تصادفی (شاخص سازگاری از یک ماتریس مقایسه زوجی بصورت تصادفی تولید شده) است که بر حسب بعد ماتریس (n) مقایسه زوجی بر اساس جدول ۵ تعیین می‌شود. ساعتی (۱۹۹۴) پیشنهاد می‌نماید که چنانچه میزان I.R.<0.1 باشد، سطح قابل قبولی از سازگاری در مقایسه زوجی وجود دارد.

$$I.I=\frac{\lambda_{max}-n}{n-1} \qquad (۸)$$

$$I.R=\frac{I.I}{I.I.R} \qquad (۹)$$

جدول ۵. شاخص‌های ناسازگاری تصادفی (I.I.R) [۲۱]

بعد ماتریس (n)	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
I.I.R	۰	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۹

برای محاسبه سازگاری، ماتریس مقایسه زوجی مربوط به نظر کارشناس اقتصادی، حمل و نقل و هیدرولیک بر اساس جدول (۲) تشکیل می گردد. در ساخت این ماتریس از سه ترم EI، MI و LI استفاده شده است. این سه ترم به ترتیب با سه عدد ۵، ۷/۵ و ۹/۵ نشان داده می شود.

از آنجا که عناصر روی قطر اصلی بنا به تعریف در ماتریس A برابر واحد می باشند، برای تبدیل ماتریس تشکیل داده شده در بالا به ماتریسی به عناصر قطر اصلی واحد، کلیه عناصر ماتریس بر عدد ۵ تقسیم می‌شوند. طبق روش ارائه شده و بر اساس رابطه (۸) شاخص ناسازگاری (I.I.) برای نظرات سه کارشناس به ترتیب برابر ۰/۰۲۲۹، ۰/۰۰۱۵ و ۰/۰۰۱۵ خواهد بود. از آنجاییکه شاخص تصادفی برای ماتریس سه بعدی طبق جدول ۵ برابر ۰/۵۸ است، نرخ ناسازگاری نظرات کارشناس اقتصادی، حمل و نقل و هیدرولیک طبق رابطه ۹ برابر با ۰/۰۳۹۶، ۰/۰۰۲۷ و ۰/۰۰۲۷ خواهد بود. چنانچه ملاحظه می شود نرخ ناساگاری کلیه آنها کمتر از ۰/۱ است و در نتیجه سازگاری ماتریس قابل قبول می‌باشد.

در نهایت وزن کلی هر یک از گزینه‌ها با استفاده از رابطه (۷) بدست می‌آید که این اوزان نهایی به همراه رتبه هر مقطع برای احداث پل در جدول ۷ ارائه می‌شود.

بر این اساس از سناریوی اول نتایج زیر استنباط می‌گردد: (۱) مقطع شماره ۱۸ دارای بیشترین اولویت برای احداث پل نسبت به دیگر مقاطع می‌باشد؛ (۲) مقاطع ۱۸، ۲۰ و ۱۹ بترتیب سه مقطع برتر برای احداث پل بوده و اختلاف نسبتاً زیاد وزن نهایی این سه مقطع با مقاطع دیگر نشان‌دهنده برتری این مقاطع می‌باشد؛ (۳) مقطع پل کوسه (شماره ۲۰) بعنوان دومین مقطع مناسب شناسایی شد و احراز این رتبه نشان‌دهنده اینست که بهترین مقطع برای احداث پل نبوده است؛ (۴) از میان پنج مقطع برتر، سه مقطع ۱۸، ۱۹ و ۲۰ در مجاورت هم و با فاصله ۵۰۰ متر از یکدیگر واقع شده‌اند. این مقاطع بترتیب مقاطع اول، سوم و دوم می‌باشند و این بیانگر برتری نسبی محدوده در برگیرنده این سه مقطع نسبت به سایر نواحی در منطقه می‌باشد.

نتایج حاصل از تحلیل سناریوی دوم عبارتند از: (۱) مقطع شماره ۵ در فاصله هفت و نیم کیلومتر از پل کوسه (مقطع شماره ۲۰) دارای رتبه اول میان ۱۳ مقطع می‌باشد و بعنوان بهترین مقطع برای احداث پل بعنوان پل کمکی در کنار پل کوسه شناخته می‌شود؛ (۲) چهار مقطع برتر بترتیب مقاطع ۵، ۲۹، ۱۸ و ۱۱ می‌باشند که از نقطه‌نظر اهمیت نسبی بهم نزدیک بوده ولی با مقاطع دیگر از نقطه‌نظر وزنی فاصله محسوسی دارند؛ (۳) فواصل مکانی ۵ مقطع برتر نسبت به یکدیگر بغیر از فاصله نسبی دو مقطع ۱۸ و ۱۹ زیاد می‌باشد و بنابراین محدوده‌ای با برتری زیاد در منطقه شناسایی نمی‌شود و این نشان‌دهنده پراکندگی مقاطع برگزیده در طول منطقه مورد مطالعه می‌باشد؛ (۴) در سناریوی دوم، مشابه سناریوی

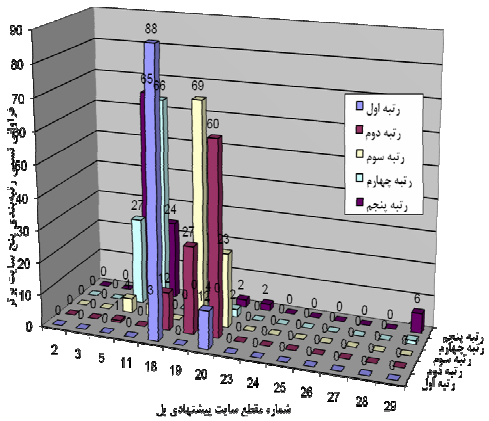
[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

اول، چهار مقطع ۱۸، ۱۱، ۵ و ۱۹ جزء برترین مقاطع می‌باشند که این نشان‌دهنده اهمیت این چهار مقطع از نقطه نظر معیارهای ارزیابی شده در مدل است. در انتها برای اطمینان و صحت سنجی از نتایج رتبه‌بندی مکان‌های انتخاب سایت، تحلیل حساسیت نتایج مدل نسبت به پارامترهای مدل که دارای عدم قطعیت بیشتری بودند انجام گرفت.

بر این اساس مدل Fuzzy-AHP تحت شرایط دامنه‌های متفاوت عدم قطعیت نسبت به پارامترهای مدل مورد آزمایش قرار گرفت. پارامترهای مورد آزمایش و میزان درصد عدم قطعیت آنها عبارتند از: جمعیت روستاها (P_i) با دامنه ٪۱۰± عدم قطعیت، اهمیت مراکز عمومی (W_i) با دو دامنه ٪۳۰± و ٪۴۰± عدم قطعیت و بالاخره وزن مقادیر غیرفازی شده معیارها (z^*) با دو دامنه ٪۳۰± و ٪۴۰± عدم قطعیت.

بدین ترتیب مدل Fuzzy-AHP در حالت سناریوی اول برای ترکیبات مختلف پارامترهای عدم قطعیت با استفاده از شبیه‌سازی مونت کارلو ۱۰،۰۰۰ مرتبه اجرا گردید. نتایج حاصله بصورت فروانی نسبی رتبه‌بندی پنج مقطع برتر در دو ترکیب متفاوت عدم قطعیت پارامترها در جدول ۸ و شکل ۴ ارائه شده است.

همانگونه که مشخص است نتایج نشان می‌دهد که رتبه‌بندی سایت‌های پل‌ها (خصوصاً مقاطع برتر) در شرایط مختلف عدم قطعیت داده‌های ورودی، با درصد اطمینان‌پذیری بالایی پایدار می‌باشد. بعنوان نمونه مطابق شکل ۴ مقطع پیشنهادی پل شماره ۱۸ در ۸۸ درصد حالات شبیه‌سازی شده در مدل Fuzzy-AHP رتبه اول را بدست آورده و در ۱۲ درصد حالات رتبه دوم را کسب نموده‌است.



شکل ۴. فروانی نسبی پنج مقطع پل برتر حاصل از ۱۰،۰۰۰ شبیه‌سازی در حالت عدم قطعیت ٪۲۰± جمعیت روستاها، ٪۴۰± اهمیت نسبی مراکز عمومی و ٪۴۰± وزن مقادیر غیرفازی شده معیارها

جدول ۶. وزن گزینه‌ها نسبت به معیارها در سناریوی اول و دوم

ردیف	شماره مقطع	وزن‌های سناریوی اول			وزن‌های سناریوی دوم		
		معیار اقتصادی	معیار حمل و نقل	معیار مورفولوژی	معیار اقتصادی	معیار حمل و نقل	معیار مورفولوژی
۱	۲	۰/۶۹۸	۰/۴۸۲	۰/۶۰۶	۰/۷۱۱	۰/۹۵۳	۰/۶۰۶
۲	۳	۰/۶۱۱	۰/۴۸۸	۰/۸۶۲	۰/۶۲۲	۰/۹۴۵	۰/۸۶۲
۳	۵	۰/۸۹۲	۰/۶۱۴	۱	۰/۹۰۷	۱	۱
۴	۱۱	۰/۷۴۵	۰/۸۰۴	۱	۰/۷۵۸	۰/۹۷۸	۱
۵	۱۸	۰/۸۵	۰/۹۶۸	۱	۰/۰۸۶۵	۰/۸۹۲	۱
۶	۱۹	۰/۷۶۵	۰/۹۹۸	۰/۹۰۹	۰/۷۷۸	۰/۸۹۷	۰/۹۰۹
۷	۲۰	۱	۱	۰/۶۸۴	–	~	–
۸	۲۳	۰/۵۹۲	۰/۸۱۵	۰/۹۴۳	۰/۶۰۲	۰/۸۹۲	۰/۹۴۳
۹	۲۴	۰/۶۲۸	۰/۷۹۶	۰/۸۴۷	۰/۶۳۹	۰/۸۹۱	۰/۸۴۷
۱۰	۲۵	۰/۴۶۴	۰/۷۲۹	۰/۵۱۲	۰/۴۷۳	۰/۸۹۲	۰/۵۱۲
۱۱	۲۶	۰/۵۴۷	۰/۷۱۷	۰/۶۷۱	۰/۵۵۶	۰/۸۹۲	۰/۶۷۱
۱۲	۲۷	۰/۶۹	۰/۶۹۰	۰/۷۶۹	۰/۷۰۲	۰/۹۰۶	۰/۷۶۹
۱۳	۲۸	۰/۶۳۳	۰/۷۰۳	۰/۵۸۸	۰/۶۴۴	۰/۹۲۵	۰/۵۸۸
۱۴	۲۹	۰/۹۸۲	۰/۵۹۳	۰/۸۰۴	۱	۰/۹۵۵	۰/۸۰۴

جدول ۷. وزن نهایی ۱۴ گزینه بر اساس سناریوی اول و ۱۳ گزینه بر اساس سناریوی دوم

ردیف	شماره مقطع	وزن‌های کلی سناریوی اول	رتبه	وزن‌های کلی سناریوی دوم	رتبه
۱	۲	۰/۸۳۵	۱۳	۱/۰۶۰	۱۰
۲	۳	۰/۹۰۵	۱۰	۱/۱۲۲	۷
۳	۵	۱/۱۶۴	۵	۱/۳۵۰	۱
۴	۱۱	۱/۱۷۸	۴	۱/۲۶۵	۴
۵	۱۸	۱/۳۰۷	۱	۱/۲۷۹	۳
۶	۱۹	۱/۲۳۹	۳	۱/۱۹۸	۵
۷	۲۰	۱/۲۶۱	۲	~	~
۸	۲۳	۱/۰۸۱	۷	۱/۱۲۲	۶
۹	۲۴	۱/۰۵۰	۸	۱/۰۹۹	۹
۱۰	۲۵	۰/۷۹۲	۱۴	۰/۹۴۰	۱۳
۱۱	۲۶	۰/۸۹۶	۱۲	۰/۹۸۲	۱۲
۱۲	۲۷	۰/۹۹۸	۹	۱/۱۰۴	۸
۱۳	۲۸	۰/۸۹۷	۱۱	۱/۰۰۶	۱۱
۱۴	۲۹	۱/۱۱۵	۶	۱/۲۹۲	۲

جدول ۸. فراوانی نسبی (درصد) رتبه‌بندی پنج مقطع برتر در ۱۰،۰۰۰ مرتبه شبیه‌سازی روش Fuzzy-AHP در حالات مختلف عدم قطعیت پارامترهای مدل

شماره مقطع پل پیشنهادی	عدم قطعیت: ٪۲۰± جمعیت روستاها، ٪۴۰± اهمیت نسبی مراکز عمومی و ٪۴۰± وزن مقادیر غیرفازی شده معیارها					عدم قطعیت: ٪۲۰± جمعیت روستاها، ٪۳۰± اهمیت نسبی مراکز عمومی و ٪۳۰± وزن مقادیر غیرفازی شده معیارها				
	رتبه اول	رتبه دوم	رتبه سوم	رتبه چهارم	رتبه پنجم	رتبه اول	رتبه دوم	رتبه سوم	رتبه چهارم	رتبه پنجم
مقطع ۱۸	۸۸	۱۲	۰	۰	۰	۹۵	۵	۰	۰	۰
مقطع ۲۰	۱۲	۶۰	۲۳	۲	۲	۵	۷۹	۱۶	۰	۰
مقطع ۱۹	۰	۲۷	۶۹	۴	۰	۰	۱۶	۸۴	۰	۰
مقطع ۱۱	۰	۰	۳	۶۶	۲۴	۰	۰	۰	۷۷	۲۳
مقطع ۵	۰	۱	۴	۲۷	۶۵	۰	۰	۰	۲۳	۷۷

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

۴. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه انتخاب بهترین مکان برای ساخت پل روی رودخانه بود. در این راستا ملاحظات سازه‌ای بهمراه ملاحظات هیدرولیکی رودخانه بعنوان عوامل تاثیرگذار در نظر گرفته شد. با شناخت معیارهای دخیل در مکان‌یابی پل، لایه‌های GIS هر یک از معیارها تولید گردید. دو سناریو مبنی بر دو دیدگاه وجود یا عدم وجود پل قدیمی در مسیر رودخانه مطرح گردید. معیارهای تاثیرگذار باتوجه به هر دو دیدگاه بررسی شد و درختواره تحلیل سلسله مراتبی تشکیل گردید. برای از بین بردن عدم قطعیت در داده‌های ورودی و قضاوت شخصی در مورد اهمیت معیارها، از روش فازی استفاده گردید. در نهایت با استفاده از روش Fuzzy-AHP ارائه شده توسط باکلی بهترین مکان‌ها برای احداث پل رتبه‌بندی شدند.

در سناریوی اول اگرچه پل کوسه (مقطع ۲۰) از نظر معیار اقتصادی و حمل و نقل در رتبه اول قرار داشت، اما مقطع ۱۸ بدلیل برتری محسوس در معیار مورفولوژی بعنوان برترین گزینه برای احداث پل روی رودخانه دوغ از میان ۱۴ مقطع شناسایی شد. در سناریوی دوم، بر خلاف سناریوی اول، با توجه به اینکه مقطع ۲۹ از نظر معیار اقتصادی نسبت به مقطع ۵ برتری داشت، اما برتری مقطع ۵ در معیار حمل و نقل و بخصوص در معیار مورفولوژی سبب شد تا این مقطع بعنوان بهترین مقطع بین ۱۳ مقطع انتخاب گردد. می‌توان اینگونه نتیجه گرفت که ارجحیت محسوس یک مقطع نسبت به سایر مقاطع در یک معیار تضمینی برای بهتر بودن مقطع برای احداث پل نمی‌باشد و بایستی کلیه معیارهای دخیل با استفاده از روش‌های تحلیلی مناسب نظیر Fuzzy-AHP درنظر گرفته شوند تا انتخاب بهترین گزینه صورت گیرد. همچنین استفاده از منطق فازی برای بیان نظریات سه کارشناس اقتصادی، حمل و نقل و هیدرولیک بصورت اعداد فازی می‌تواند تسهیلات زیادی را در ارزیابی کارشناسان بوجود آورد و در مجموع سودمند واقع شود.

از آنجاییکه انتخاب بهترین مکان احداث پل روی رودخانه دارای اهمیت بسیاری می‌باشد، روش کاربردی مقاله بر مبنای Fuzzy-AHP می‌تواند برای مسائل مکان‌یابی سایر سازه‌ها نیز بکار رود.

مراجع

[1] Ko, J.; "*Solving a Distribution Facility Location Problem Using an Analytic Hierarchy*", Process Approach, Gwangju, Korea, 2005.

[2] Rietveld, P., Ouwersloot, H.; "*Ordinal Data in Multicriteria Decision Making, a Stochastic Dominance Approach to Sitting Muclear Power Plants*", European J. Oper. Res, 56, 249-262, 1992.

[3] Ozer, I.; "*Multi-Criteria Group Decision Making Methods Using AHP and Integrated Web-Based Decision Support System*", M.Sc. Thesis, University of Ottawa, Canada, 2007.

[4] Dey, P.K., Ramcharan, E.K., "*Analytical Hierarchy Process Helps Select Site for Limestone Quarry Expansion in Barbados"*, Journal of Environmental Management, 88, 2008, pp. 1384-1395.

[5] Buyukozkan, Gulcin., *"A Fuzzy Multi-Criteria Decision Approach For Software Development Strategy Selection*", International Journal of General Systems, Vol. 33 (2-3) , 2003, pp. 259-280.

[6] Tzeng, G.H., Chen, Y.W., "*Optimal Location of Airport fire Station: a Fuzzy Multi-Objective Programming and Revised Generic Algorithm Approach*" Transportation Planning and Technology, 23(1). 1999, pp. 37-55.

[7] Kuo, R.J., Chi, S.S., Kao, S.S., *"A Decision Support System for Locating Convenience Store Location Through Integration of Fuzzy AHP and Artificial Neural Network*",Computers in Industry, 2002.

[8] Kahraman, C., Ruan, D., Dogan, I.., "*Fuzzy Group Decision-Making for Facility Location Selection*", Information Sciences, 157, 2003, pp. 135-153.

[9] Moeinaddini, M., Khorasani, N., Danehkar, A., Darvishsefat, A.A., zienalyan, M., *"Siting MSW Landfill Using Weighted Linear Combination and Analytical Hierarchy Process (AHP) Methodology in GIS Environment (Case Study: Karaj)* ", Waste Management 30, 2010, pp. 912–920.

[10] Chang, N.B., Parvathinathan, G., Breeden, J.B., *"Combining GIS with Fuzzy Multicriteria Decision-Making for Landfill Siting in a Fast-Growing Urban Region*", Journal of Environmental Management, 2007.

[11] Boroushaki, S., Malczewski, J., *"Implementing an Extension of the Analytical Hierarchy Process Using Ordered Weighted Averaging Operators with Fuzzy Quantifiers in ArcGIS"*, Computers & Geosciences, 34, 2007, pp. 399 – 410.

[12] Guiqin, W., Li, Q., Guoxue, L., Lijun, C., *"Landfill Site Selection using Spatial Information Technologies and AHP: A Case Sstudy in Beijing",* China Journal of Environmental Management 90, 2009, pp. 2414–2421.

[13] Sharifi, M., Hadidi, M., Vessali, E., Mosstafakhani, P., Taheri, K., Shahoie, M., Khodamoradpour, M., *"Integrating Multi-Criteria Decision Analysis for a GIS-Based Hazardous Waste Landfill Sitting in Kurdistan Province, Western Iran*", Waste Management 29 , 2009, pp. 2740–2758.

[14] Geneletti, D., *"Combining Stakeholder Analysis and Spatial Multicriteria Evaluation to Select and Rank Inert Landfill Sites"*, Waste Management 30, 2010, pp. 328–337.

[15] Hammad, Y., Itoh, T., Nishido, Bridge Planning Using GIS and Expert System Approach, Journal of Computing in Civil Engineering 7(3) 4272, 1993.

[16] Pan, N.F., "*Fuzzy AHP Approach for Selecting the Suitable Bridge Construction Method",* Automation in construction 17, 2008, pp. 958-965.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]

[17] Zhao, Z.C., Chen, *A Fuzzy System for Concrete Bridge Damage Diagnosis,* Computers and Structures 80, 2002, 629–641.

[18] Wang,Y.M., Elhag, T.M.S., *A Fuzzy Group Decision Making Approach for Bridge Risk Assessment*, Computers & Industrial Engineering 53, 2007, pp. 137–148.

[19] Buckley, J.J., *Fuzzy Hierarchical Analysis*. Fuzzy Sets and Systems, 17, 1985, pp. 233-247.

[20] Chen, S.J., Hwang, C.L., Hwang, F.P., *Fuzzy Multiple Attributes Decision Making Methods and Applications*, Springer, Berlin, 1992.

[21] Saaty, T.L., ''*Highlights and Critical Points in the Theory and Application of the Analytical Hierarchy Process*.'' Eur. JOper. Res.,74, 426–447, 1994.

[Downloaded from www.iust.ac.ir on 2024-08-13]