



Providing a Fuzzy Hierarchical Analysis Model to Optimize the Management of Water Transmission and Distribution Construction Projects (Case Study: Karaj dam Water Transmission Line).

Negin Eskandari ^{1*}, Saeed Farokhizadeh ²

¹-M.A., Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

²- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technology and Engineering, Islamic Azad University, South Tehran Branch, Tehran, Iran.

Received: 2023/07/31 Accepted: 2023/11/18

Abstract:

Surface and underground water is one of the main and key sources of drinking water. One of the important parts of water processes is the transfer of water from the source of the treatment plant to the distribution network for consumption. In this regard, it is necessary to prevent the increase in the cost of transfer and construction of water transfer projects in different sectors by applying proper management and implementing basic plans. The statistical population of the research includes the employees and contractors of the Karaj Dam water transmission line project. The design of the model is to identify and determine the indicators that are used to evaluate the performance of the employees and contractors active in the Karaj water transmission line project. This identification is done using library studies as well as the opinion of technical experts. After identifying the indicators using the Fuzzy Hierarchy Analysis Process (FAHP), weight is assigned to these indicators based on their importance. The identified indicators and assigned weights will be validated using questionnaires that will be provided to experts. The results show that the 6 factors of indicators of geological conditions of the region, indicators of piping conditions, indicators of access to materials and materials needed for the project, indicators of considering the time of progress of piping operations and indicators of the implementation stages of piping are the most important effective factors in the management of the Karaj dam water transmission line project. The results of the validation of the main criteria showed that among the 6 main criteria examined, the indicators related to piping conditions with an index weight of 0.58 are the most important indicators. After that, the indicators related to the considerations and geological conditions of the region and the indicators related to the access to materials and materials required for the project, each with a weight value of 0.19, were obtained as important factors in determining the route of the Karaj dam transmission line project.

Keywords:

Risk Management, Construction Projects, Water Transfer, HSE, FMEA, Persian Gulf Bidboland.

* Corresponding Author mail: negineskandari12@gmail.com



ارائه مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت بهینه‌سازی مدیریت پروژه‌های عمرانی انتقال و

توزیع آب (مورد مطالعاتی: خط انتقال آب سد کرج)

نگین اسکندری^{۱*}، سعید فرخی زاده^۲

۱- کارشناسی ارشد، گروه علمی مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه علمی مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۷

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۵/۰۹

چکیده

آب‌های سطحی و زیرزمینی یکی از منابع اصلی و کلیدی آب شرب به شمار می‌رود. یکی از بخش‌های مهم فرایندهای آب، انتقال آب از منبع به تصفیه‌خانه و انتقال به شبکه توزیع برای مصرف است. در این راستا می‌بایست با اعمال مدیریتی صحیح و اجرای برنامه‌های اصولی از افزایش هزینه انتقال و ساخت و احداث پروژه‌های انتقال آب در بخش‌های مختلف جلوگیری کرد. جامعه آماری تحقیق شامل کارکنان و پیمانکاران جزء پروژه خط انتقال آب سد کرج است و هدف این پژوهش ارائه یک مدل تحلیل سلسله مراتبی فازی جهت بهینه‌سازی پروژه‌های آبی می‌باشد. طراحی مدل مبتنی بر شناسایی و تعیین شاخص‌هایی است که معیاری مناسب برای ارزیابی عملکرد کارکنان و پیمانکاران فعال در پروژه خط انتقال آب کرج می‌باشند. این شناسایی با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای و همچنین نظر کارشناسان فنی صورت می‌پذیرد. پس از شناسایی شاخص‌ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)، به شاخص‌ها بر اساس درجه اهمیتشان وزن اختصاص می‌یابد. اعتبار شاخص‌های شناسایی شده و اوزان اختصاص یافته با استفاده از پرسشنامه‌هایی که در اختیار خبرگان قرار می‌گیرد، سنجیده می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که ۵ عامل: شاخص‌های شرایط زمین‌شناسی منطقه، شاخص‌های شرایط لوله‌گذاری، شاخص‌های دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه، شاخص‌های مربوط به ملاحظات زمان پیشبرد عملیات لوله‌گذاری و شاخص‌های مربوط به مراحل اجرایی لوله‌گذاری مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در مدیریت پروژه خط انتقال آب سد کرج است. نتایج حاصل از اعتبارسنجی معیارهای اصلی نشان داد از میان ۵ معیار اصلی مورد بررسی، شاخص‌های مربوط به شرایط لوله‌گذاری با وزن شاخص ۰.۵۸ مهم‌ترین شاخص است. بعد از آن شاخص‌های مربوط به ملاحظات و شرایط زمین‌شناسی منطقه و شاخص‌های مربوط به دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه هر کدام با مقدار وزن ۰.۱۹ عوامل مهم در تعیین مسیر پروژه خط انتقال سد کرج به دست آمدند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل سلسله مراتبی فازی، خط انتقال، وزن دهی، معیار سنجی، لوله‌گذاری.

^۱ پست الکترونیک نویسنده مسئول: negineskandari12@gmail.com





۱- مقدمه

طراحی و مرحله انتخاب در هر پروژه‌ای بسیار مشکل‌تر از تحلیل آن است. محال است با شروع کردن از مجموعه‌ای از معیارهای طراحی (همانند آنچه در آیین‌نامه‌های مهندسی آمده است) و بدون نیاز به انجام تصمیم‌گیری‌هایی در مورد شکل و ابعاد سازه بتوان به‌طور مستقیم به طراحی یکتا از سازه یا پروژه مورد نظر رسید که معیارهای طراحی مورد اشاره را تأمین کند. برای مثال رعایت مجموعه معیارهای همخوانی - به‌جز در موارد بسیار ساده و بدیهی - به طراحی یکتا منجر نمی‌شود. در حالت کلی تعداد طرح‌هایی که معیارهای پذیرفتنی بودن طرح را تأمین می‌کنند، بسیار زیاد خواهد بود؛ و لذا انتخاب طرحی یکتا مستلزم تصمیماتی است که همه طرح‌های جایگزین به‌جز طرح مورد نظر را حذف می‌کند. بدین ترتیب مرحله طراحی، برخلاف مرحله تحلیل که امکان گزینش در آن وجود ندارد، در واقع نمایشگر فرآیندی از نوع فرآیند تصمیم‌گیری است. توزیع غیریکنواخت مکانی و زمانی آب، عدم تعادل بین عرضه و تقاضای آب (به‌ویژه افزایش تقاضای آب به دلیل محدودیت منابع آب) و تلفات بالای آب در سیستم‌های آبی شهری و کشاورزی، مدیریت منابع آب در مقیاس بزرگ را پیچیده کرده است؛ بنابراین کنترل و استفاده صحیح از منابع آبی موجود ضروری است. انتقال آب بین حوضه‌ای، نمونه‌ای از راه‌حل‌های مورد استفاده برای رفع کمبود آب به‌ویژه در بخش آب شرب در مناطق و کشورهای خشک است. از این‌رو چالش‌های مختلفی را به‌منظور مدیریت پایدار حوضه‌ها به وجود آورده است. [۱]

با پیشی گرفتن تقاضای آب بر عرضه آن، روش‌های مختلف مدیریتی منابع آب مطرح شده و بر اساس آن پروژه‌های بزرگ زیر بنایی آب با هدف تأمین نیازهای آبیاری، کشاورزی و مصارف خانگی گسترش یافته است. این پروژه‌ها دامنه وسیعی از روش‌های مهندسی مثل ساخت سدها و انتقال آب تا مدیریت جامع انتقال آب را در بر گرفته‌اند. [۹]

در دهه‌های آینده، در صورت تکمیل تمام پروژه‌های برنامه‌ریزی شده، انتظار می‌رود افزایش ۹ برابری در حجم آب منتقل شده توسط کلان‌پروژه‌های انتقال آب وجود داشته باشد. از آنجایی که کمبود آب به یک پدیده جهانی تبدیل شده است، کلان‌پروژه‌های انتقال آب در حال حاضر به‌عنوان یک راه‌حل مهندسی برای برآوردن نیازهای روزافزون آب در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه در نظر گرفته می‌شود. [۱۰]

۲- پیشینه تحقیق

حیدری و خدادادی در پژوهشی به بررسی عوامل مؤثر در کاهش تأخیرات پروژه‌های عمرانی (مطالعه موردی: پروژه خط انتقال آب) پرداختند. امروزه تقریباً تمامی پروژه‌های عمرانی با پدیده تأخیر روبرو هستند، از جمله پروژه‌های انتقال آب که همواره با این پدیده مواجه بوده و خسارت‌های فراوانی نیز وارد کرده است. دلایل مربوط به تأخیرات به‌طور عمده در سه دسته قرار می‌گیرند: دلایل مربوط به پیمانکاران، مشاوران و کارفرمایان؛ که در این تحقیق در قالب پرسشنامه، با نظرخواهی از خبرگان، میزان تأثیر هر کدام از عوامل بررسی شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که در دسته عوامل مربوط به کارفرما این موارد بیشترین تأثیر را داشته‌اند: عدم دقت کافی در برآورد اجرای کار، ارزیابی کیفی و فنی پیمانکاران، ناتوانی کارفرما در تأمین مصالح لازم و کارهای اضافه بر پیمان. در بخش ضعف‌های مربوط به مشاوران، این موارد تأثیرگذارترین بوده‌اند: عدم دقت کافی مشاور در تهیه برآورد اولیه، ضعف و نداشتن تجربه لازم در طراحی و نظارت پروژه، ناتوانی مشاور در داوری صحیح بین کارفرما و نهائیتا در بخش ضعف‌های پیمانکار، این دو مورد تأثیر زیادی در تأخیرات پروژه داشته است: نداشتن تیم فنی و اجرایی قوی، ارزیابی ربالی نادرست پروژه. [۲]

قبادیان و همکاران در سال ۱۳۹۹ به بسط مدل طراحی بهینه خط انتقال آب (مطالعه موردی: خط انتقال سد خارج از بستر بیستون) پرداختند. آن‌ها در جهت طراحی بهینه ایستگاه پمپاژ و خط انتقال آن، یک مدل کامپیوتری بسط دادند. در این مدل کلیه هزینه‌های جاری و ثابت طرح بر پایه بهینه‌سازی به روش الگوریتم ژنتیک دودویی با حفظ محدودیت‌های سرعت و فشار کمینه می‌شود. ویژگی‌های هیدرولیکی و اقتصادی لوله‌ها و پمپ‌های حاضر در بازار ایران به‌عنوان یک بانک اطلاعاتی و فایل داده برای مدل تعریف شده است. محاسبات مربوط به شبیه‌سازی جریان غیر پایدار در محیط کاری مدل بعد از طراحی بهینه سیستم با هدف کنترل ایمنی سیستم از نقطه نظر ضربه قوچ انجام می‌پذیرد. پس از آزمودن مدل، طراحی خط انتقال و ایستگاه پمپاژ سد خارج از بستر بیستون کرمانشاه مورد واریسی قرار گرفت. نیمرخ طولی مسیر، دبی انتقالی، محدوده‌های مجاز فشار و سرعت، پارامترهای الگوریتم ژنتیک و همچنین پارامترهای اقتصادی برای مدل تعریف شد. خروجی مدل نمایانگر آن بود که برای انتقال آب با دبی ۳۵۰۰ لیتر بر ثانیه در طول ۶ ماه از سال (آذر تا اردیبهشت) از رودخانه گاماسیاب به سد خارج از بستر بیستون استفاده از لوله فولادی به قطر ۱۶۰۰



میلی متر و پمپ گریز از مرکز مدل ۵۰۰-۲۰۰-۵۰۰ کمترین هزینه را در طی ۲۰ سال عمر مفید پروژه تحمیل می‌نماید. همچنین نتایج شبیه‌سازی ضربه قوچ سیستم بهینه نشان داد مخزن هوا با شعاع ۳ متر و ارتفاع حدود ۵/۵ متر خط لوله را از نقطه نظر ضربه قوچ برآمده از قطع غیرمنتظره ایستگاه پمپاژ مصون نگه می‌دارد. [۳]

طباطبایی و همکاران شناسایی و رتبه‌بندی عوامل تعویق در پروژه خط انتقال آب دشت سیستان به روش AHP را انجام دادند. بررسی جهت تعویق در پروژه‌های ساخت و اندیشیدن درایتی در جنبه تقلیل آن‌ها در تمام دنیا و به‌طور خاص در زمینه تأمین و مدیریت منابع آبی موجود در کشور ایران به‌عنوان مسئله‌ای جدی مورد توجه است و پس از شناسایی تأخیرها، به‌کارگیری روشی مناسب برای تحلیل آن‌ها لازم و ضروری است. لذا در این پژوهش هدف آن است که با کمک روش AHP عوامل تأخیر در پروژه‌های خط انتقال آب به دشت سیستان شناسایی و تبیین شده و ضمن تعیین رابطه کمی بین معیارها و شاخص‌ها و تجزیه تحلیل شماتیک، نهایتاً الگوی رتبه‌بندی مناسبی برای ارزیابی و انتخاب بهینه در این‌گونه پروژه‌ها ارائه شود. به همین سبب بعد از مرور ادبیات وابسته به شناخت معیارها و مصاحبه با کارشناسان و متخصصان خبره، معیارهایی که در تعویق پروژه‌های آبرسانی در منطقه سیستان تأثیرگذار هستند، استخراج گردید. پس از تجزیه و تحلیل پارامترهای مؤثر در تأخیر پروژه توسط نرم‌افزارهای expert choice و SPSS عوامل عدم فراهم نمودن سرمایه کافی در زمان فراخور، عدم دقت در برآورد حجم و زمان پروژه و عدم قیمت‌دهی مناسب پیمانکار به ترتیب به‌عنوان اولویت اول عوامل مربوط به کارفرما، مشاور و پیمانکار معرفی گردیدند. همچنین از میان شاخص‌های فرعی نیز عدم تأمین سرمایه کافی در زمان مناسب، افتتاح زود هنگام پروژه‌ها به دلیل مسائل سیاسی و زمان و بودجه اندک جهت مطالعات اولیه به نوبت به‌عنوان اولویت‌های اول تا سوم تأخیر در پروژه حاضر تعیین گردیده است. [۴]

فرزادی و همکاران، در تحقیقی به بررسی متدولوژی ارزیابی سیلاب در پایین‌دست سدها با استفاده از منحنی‌های عمق آب- خسارت پرداختند. آن‌ها به تهیه دستورالعمل اقدام در شرایط ناگزیری (EAP) به‌عنوان یک گام اساسی برای مدیریت در شرایط بحران پرداختند. یکی از قسمت‌های مهم این طرح، انجام تحلیل‌های مورد نیاز برای پیش‌بینی ریسک سیلاب می‌باشد. در این مقاله، به ارائه متدولوژی برای ارزیابی و تحلیل ریسک ناشی از سیلاب‌های طبیعی و مصنوعی در پایین‌دست سدها و استخراج منحنی‌های شکنندگی مورد نیاز پرداخته شده است. در روش‌های متداول، از منحنی‌های استخراج شده توسط محققین قبلی در کشورهای مختلف و یا از منحنی‌های فرضی استفاده می‌شود که با توجه به عدم قطعیت بالای سازگاری این منحنی‌ها با منطقه مورد مطالعه، نتایج قابلیت اطمینان پایینی دارند. در این مطالعه، منحنی‌های عمق آب خسارت برای استفاده‌های مختلف در پایین‌دست سد شهر بیجار در استان گیلان تهیه و بومی‌سازی شده‌اند که بنیاد آنالیز خسارات احتمالی در این محدوده می‌باشد و پیشنهاد می‌شود به‌منظور سنجش خسارت در هر مطالعه موردی، از منحنی‌های شکنندگی آماده‌شده برای آن منطقه، استفاده شود. [۵]

رحمان و همکاران مدل تصمیم‌گیری چند معیاره برای برون‌مرزی نگهداری برنامه با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انجام دادند. دو مرور متون سیستماتیک انجام شد که فهرستی از ۱۵ عامل تأثیرگذار را بررسی کردند. عوامل شناسایی شده بیشتر در صنعت برون‌سپاری با انجام یک مطالعه تجربی مورد ارزیابی قرار گرفتند که منجر به فهرستی از ۱۰ عامل حیاتی موفقیت شد. ما یک چارچوب منبع‌یابی را بر اساس عوامل موفقیت حیاتی پیشنهاد می‌کنیم که می‌تواند به تصمیم‌گیرندگان در اتخاذ یک استراتژی منبع‌یابی مناسب برای برون‌سپاری خارج از کشور تعمیر و نگهداری برنامه کمک کند. به‌منظور بهبود بیشتر فرآیند تصمیم‌گیری، مدل MCDM بر اساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) توسعه یافته است. مدل MCDM با سه مطالعه موردی در شرکت‌های بین‌المللی بسیار معتبر، از جمله IBM استکهلم سوئد، Vattenfall AB استکهلم سوئد و یک شرکت مستقر در لندن بریتانیا ارزیابی می‌شود. نتایج این مطالعات موردی توسط متخصصان برون‌سپاری در سایر شرکت‌ها بررسی و تأیید می‌شود. مدل پیشنهادی به‌عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری استفاده می‌شود که رتبه‌بندی جایگزین‌های منبع‌یابی را تعیین می‌کند و مناسب‌ترین گزینه را برای تعمیر و نگهداری برنامه‌های دریایی پیشنهاد می‌کند. [۱۱]

ناتارajan و همکاران به مقایسه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی (f-AHP) برای ارزیابی پایداری یک پروژه تأمین آب پرداختند. آن‌ها مفهوم پایداری برای یک طرح تأمین آب درون دولتی با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی با اولویت‌بندی سیستماتیک جنبه‌های مختلف طراحی و عملیاتی ارزیابی کرده‌اند. این یک طبقه‌بندی سه سطحی از ویژگی‌های کلیدی مانند ۵ بعد، ۱۵ زیر معیار و ۵۰ شاخص اتخاذ شده است. بعد زیست‌محیطی (۴۱ درصد) بیشترین اهمیت را در سنجش پایداری این پروژه





دارد و پس از آن بعد اجتماعی (۲۲ درصد)، حاکمیت (۲۰ درصد)، اقتصادی (۸ درصد) و زیرساخت (۶٫۸ درصد) قرار دارند. در میان معیارهای فرعی، کیفیت در منبع بالاترین اولویت را دارد و پس از آن مقرون به صرفه بودن است. در میان شاخص‌ها، فرکانس آزمایش آب بیشترین وزن را دارد و به دنبال آن مشارکت و مشاوره عمومی است. نتایج حاکی از تأثیر مقیاس و مرحله عملکرد پروژه بر اولویت‌بندی و تصمیم‌گیری است. این مطالعه همچنین دامنه بهبود عوامل اجتماعی و حاکمیتی را با هم (از نظر شفافیت، انعطاف‌پذیری و قابلیت خدمات‌رسانی) با افزایش مشارکت عمومی توصیه می‌کند. نتایج حاصل از مطالعه می‌تواند به‌عنوان یک راهنمای ارزشمند برای برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های مشابه برای توسعه پایدار باشد. [۱۲]

نینا الماسی فر و همکاران پیشنهاد یک روش جدید برای حفاظت از بنای تاریخی «مدیریت دامنه» با استفاده از سیستم موسسه مدیریت پروژه فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و منشور ICOMOS Burra انجام دادند. مدیریت دامنه «خواص» و «عملکردها» نقش اساسی در زمان‌بندی و کنترل طیف وسیعی از متغیرها و فرآیندهای دخیل در هر پروژه به‌منظور افزایش کیفیت خروجی‌ها دارد که منجر به صرفه‌جویی در زمان می‌شود و صرفه‌جویی در بودجه قابل ذکر است. در پروژه‌های حفاظت از بناهای تاریخی، «مدیریت محدوده» یک عامل حیاتی است که هدف آن حفظ مقادیر پارامترهای تاریخی و دقت در تعداد تداخل‌ها و اشغال‌ها در سایت‌ها است. امروزه با افزایش بی‌سابقه شهرنشینی، قلمروهای این مکان‌های میراثی تخریب شده یا جایگاه خود را در فهرست میراث جهانی از دست داده‌اند. بدون شک وجود چنین شرایط بحرانی، به‌کارگیری روش‌های مدیریت محدوده برای حفظ این گونه مکان‌های باستانی و تاریخی در سراسر جهان را بیش از پیش ضروری می‌سازد. نتایج آن‌ها شامل سطوح سلسله مراتبی فرآیندهای مدیریتی است که تمامی متغیرهای مؤثر اعم از عناصر محسوس و نامشهود (عوامل مستقل) و سایر نقاط ضعف و فرصت‌های پروژه را در نظر می‌گیرد تا محدوده عملیات مورد نیاز تعیین شود که باید بر اساس منشورهای حفاظت از اماکن تاریخی برنامه‌ریزی شود. به این ترتیب می‌توان علاوه بر احیای بخش‌های ضروری و ارزشمند یک منظر فرهنگی (میراث فرهنگی یا محوطه)، از تغییرات غیر ضروری نیز جلوگیری کرد. [۱۳]

لی و همکاران به‌منظور درک بهتر ترجیح مسافران و به دست آوردن درک آن‌ها از کیفیت خدمات، در مقاله‌ای یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر AHP فازی و روش زبان‌شناختی فازی ۲ تایی برای ارزیابی کیفیت خدمات در پرواز پیشنهاد کردند. این مطالعه شامل سه مرحله می‌باشد. در مرحله اول از نسخه اصلاح شده ابزار SERVQUAL استفاده شد و سلسله مراتبی از سیستم شاخص برآورد و ارزشیابی کیفیت خدمات در پرواز ساخته شد. در مرحله دوم ما از AHP فازی برای تجزیه و تحلیل ساختار مسئله برآورد و ارزشیابی خدمات در پرواز استفاده می‌کنیم. با استفاده از متغیرهای زبانی، مقایسه‌های زوجی برای معیارها و زیر معیارهای ارزیابی برای تعیین وزن معیارها و زیر معیارها انجام می‌شود. در مرحله سوم، رتبه‌بندی زیر معیارها در مقادیر زبانی برای بیان ارزیابی کیفی نظرات ذهنی مسافران ارزیابی می‌شود و سپس مقادیر زبانی به ۲ تایی تبدیل می‌شوند و از عملگر میانگین حسابی زبانی ۲ تایی استفاده می‌شود. میانگین امتیاز ۱۰۰ پاسخ‌دهنده را به دست آورد. استفاده از عملگر میانگین وزنی زبانی ۲ تایی برای محاسبه رتبه‌بندی معیارها و کیفیت کلی خدمات در پرواز جایگزین‌ها. در نهایت، ما اعتبار و امکان‌سنجی رویکرد پیشنهادی را با انجام یک مطالعه کاربردی در مورد عملکرد جامع کیفیت خدمات حین پرواز سه شرکت هواپیمایی در چین نشان دادند. [۱۴]

۳- روش تحقیق

در این بخش، روش تحقیق و نحوه اجرای تحقیق، جامعه آماری و ابزار جمع‌آوری اطلاعات و روش‌های تجزیه و تحلیل آن‌ها بیان می‌شود. روال کار مدل AHP با مشخص کردن عناصر و تصمیم‌گیری و اولویت دادن به آن‌ها آغاز می‌شود. این عناصر شامل شیوه‌های مختلف کار و اولویت دادن به ویژگی‌ها است. [۶]

۳-۱- روش پژوهش

در مجموع هر تحقیقی نخست به سبب طرح مسئله و یا ابهامی بیان می‌گردد که سؤالات بی‌شماری را در ذهن پژوهشگر ایجاد می‌کند و سبب ظهور فرضیات می‌گردد. پژوهشگر با گردآوری داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز، به ارزیابی و تحلیل آن‌ها می‌پردازد تا بتواند پاسخ آن‌ها را بدست آورد. از این‌رو گردآوری داده‌ها و نحوه ارزیابی و تحلیل آن‌ها از ارزش بالایی برخوردار است.



شناسایی علمی پیام‌ها و هدف‌های علم با روش‌شناسی درست صورت می‌گیرد. روش را می‌توان مجموعه دانشی از شیوه‌ها و تدابیر دانست که به‌صورت منظم و خردمندانه به شناسایی حقیقت یا واقعیت به جهت پیشگیری از لغزش‌ها و شکستن بت‌های دانش مطابق با روح علمی بکار می‌رود. از این‌رو با استفاده از این مجموعه قواعد می‌توان به بازیابی و پژوهش واقعیت‌ها به جهت پیدایش ناشناخته‌ها و حل دشواری‌ها پرداخت. از اصلی‌ترین بخش‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی می‌توان به تغییر موضوع یا مسئله مورد بررسی به ساختاری سلسله مراتبی اشاره نمود. در این پژوهش، عواملی که سبب ایجاد تفاوت در گزینه‌ها می‌شود، معیارها و زیر معیارها می‌باشد. ارزش هر مکان بر اساس معیارها ارزیابی می‌گردد. در روش AHP^۱ هر معیاری وزن مختص خود را دارد که باید توسط کاربر به شیوه‌های گوناگون اعمال گردد. همچنین می‌توان هر معیار را به چند قسمت کوچک‌تر تقسیم نمود و آن‌ها را با یکدیگر مقایسه و وزن‌دهی کرد. ابتدا به جمع‌آوری اطلاعات پایه مرتبط با پروژه‌های انتقال و توزیع آب که در برگیرنده ویژگی‌های فنی باشد و همچنین، بر هزینه و زمان و کیفیت اجرای پروژه انتقال آب تأثیرگذار باشد، پرداخته خواهد شد. شاخص‌های مهم و مؤثر بر پروژه خط انتقال سد کرج وزن‌دهی و بررسی شده است. [۷]

۳-۲- نمونه و جامعه آماری

جامعه آماری شامل گروهی از افراد، حوادث و یا اشیاء و... از یک جامعه می‌باشد که دارای صفات مشترکی با یکدیگر هستند و آن جامعه را معرفی می‌کنند، که از این جامعه تعدادی را به‌عنوان نمونه آماری به صورت تصادفی انتخاب می‌کنیم. جامعه آماری تحقیق شامل کارکنان و پیمانکاران جزء پروژه خط انتقال آب سد کرج است. جامعه اطلاع دهنده شامل کارکنان دفتر فنی و کارشناسان پروژه می‌باشد. به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات از نظرات کارشناسان در بخش‌های مختلف پروژه استفاده شده است. برای تحقیق حاضر تعداد ۱۸۱ نفر به‌عنوان جامعه آماری تحقیق حاضر در نظر گرفته شده است.

۳-۳- گردآوری اطلاعات

در ابتدای هر پژوهش، محقق یافته‌های کتابخانه‌ای و میدانی خود را گردآوری کرده و با استفاده از روش استقرایی، در مرحله اول آن یافته‌ها را طبقه‌بندی و در مرحله بعد آن‌ها را تجزیه و تحلیل می‌کند. در آخر نیز فرضیه‌های خود را ارزیابی کرده که باعث صدور حکم نهایی می‌شود که با استناد بر آن می‌تواند پاسخ سؤالات خود را به دست آورد. [۸]

در مجموع در فاصله زمانی نزدیک به سه ماه فرصت مصاحبه با ۱۸۱ نفر از متخصصین فراهم شد، در جلسات مصاحبه پس از ارائه توضیحات در مورد موضوع و هدف تحقیق از آنان خواسته شد تا به سؤال زیر پاسخ دهند:

بهترین مسیر برای مدیریت بهینه پروژه خط انتقال آب سد کرج کدام است؟

لازم به یادآوری است که این مصاحبه به‌صورت نیمه ساخت‌یافته و نیمه هدایت‌شده انجام شده است. نتایج حاصل از انجام این مصاحبه‌ها جمع‌بندی شده، جواب‌های نزدیک به هم ادغام گردیده و خلاصه آن در جدول ۱ نشان داده شده است.

۳-۴- نحوه تجزیه و تحلیل داده‌ها

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها در این پژوهش، از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (AHP) استفاده شده است. واژه AHP مخفف عبارت Analytical Hierarchy process به معنی فرآیند تحلیل سلسله مراتبی است. انتخاب سنج‌ها یا criterion بخش اول واکاوی AHP است. این روش یکی از روش‌های پرکاربرد برای رتبه‌بندی و تعیین اهمیت عوامل است که با استفاده از مقایسات زوجی گزینه‌ها به اولویت‌بندی هر یک از معیارها پرداخته می‌شود. هدف تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی انتخاب بهترین گزینه بر اساس معیارهای مختلف از طریق مقایسه زوجی است.

^۱ Analytical Hierarchy Process





این تکنیک برای وزن‌دهی به معیارها نیز استفاده می‌شود. چون افزایش تعداد عناصر هر خوشه مقایسه زوجی را دشوار می‌کند بنابراین معمولاً معیارهای تصمیم‌گیری را به زیر معیارهایی تقسیم می‌کنند.

۴- معرفی مختصر نمونه موردی

موقعیت مکانی: سد امیرکبیر معروف به سد کرج، بر رودخانه کرج در مسیر جاده چالوس در استان البرز قرار دارد. این سد در ۲۵ کیلومتر جاده کرج- چالوس واقع شده است و دریاچه آن آب مصرفی ساکنان کرج و بخش‌هایی از تهران را تأمین می‌کند. سد کرج در بخش شمالی استان البرز و شهرستان کرج قرار دارد و میان کوهستان البرز شمالی واقع شده است. فاصله سد کرج تا تهران در حدود ۶۰ کیلومتر است.

تاریخچه: نخستین زمزمه‌های ساخت سد کرج در مسیر رودخانه کرج در سال ۱۳۲۸ آغاز شد. هدف از طراحی و ساخت این سازه، ایجاد سدی چندمنظوره برای بهره‌برداری در زمینه‌های مختلف در مسیر رودخانه کرج بود. کنترل سیلاب‌های بهاره، کاهش تلفات هنگام وقوع سیل، تأمین آب شرب تهران، آبیاری زمین‌های کشاورزی و باغ‌های کرج و تولید انرژی برق برای کاهش بار شبکه سراسری در ساعت‌های اوج مصرف، به‌عنوان دلایل اصلی لزوم احداث سد کرج مطرح شد.

شرکت‌های مهندسی عمران فرانسوی و آمریکایی از گزینه‌های مورد نظر برای انعقاد قرارداد ساخت سد کرج بودند؛ اما طراحی مهندسان آمریکایی به‌دلیل ارتفاع بیشتر ۱۰ متری در دیواره‌های بتنی این سد، مستلزم صرف ۱۰۰ میلیون تومان هزینه بیشتر نسبت به طراحی مهندسان فرانسوی بود. در نهایت ایران با شرکت فرانسوی قراردادی منعقد کرد و در سال ۱۳۳۶، کار ساخت سد کرج آغاز شد.

مراحل ساخت سد کرج چهار سال طول کشید و این سد در سال ۱۳۴۰ به بهره‌برداری رسید. در طرح نهایی سد کرج، مهندسان فرانسوی دیواری نازک‌تر از طرح مهندسان آمریکایی ارائه دادند؛ اما ارتفاع دیواره‌ها را چهار متر بیشتر کردند.

سد کرج در تاریخ سوم آبان سال ۱۳۴۰، در دوره پادشاهی پهلوی دوم افتتاح شد. این سد در زمان افتتاح، رتبه چهارم سدهای قوسی جهان را از نظر ارتفاع به دست آورد. ساخت دیواره‌های نازک بتنی با مقاومت بالا در بخش پایینی سد کرج، با کمک پیشرفته‌ترین تکنیک‌های روز امکان‌پذیر شد. ابزار و ماشین‌آلات مورد نیاز در این پروژه از طریق شرکت در مناقصه‌های جهانی و خرید از شرکت‌های ژاپنی و آمریکایی تأمین شدند و سیمان مورد استفاده در این سد نیز در کارخانه سیمان تهران تولید شد.

مشخصات سد کرج: سد کرج از دیواره‌های قوسی بلند بتنی ساخته شده است. طول تاج سد امیرکبیر ۳۹۰ متر و بلندای این سد از پی آن ۱۸۰ متر است. در طول سد کرج ۶ دریچه تخلیه آب وجود دارد که میزان آب پشت سد با استفاده از این دریچه‌ها کنترل می‌شود.

مساحت دریاچه سد کرج بیش از ۷۶۰ کیلومترمربع است و مقدار متوسط جریان آب این دریاچه به ۴۷۲ میلیون مترمکعب در سال می‌رسد. عرض سد کرج در نقطه اتصال به رودخانه در حدود ۳۰ متر است و ارتفاع این سد از رودخانه به حدود ۱۶۳ متر می‌رسد. دریچه‌های سد تنظیمی امیرکبیر با تجهیزات هیدرولیک کنترل می‌شوند.





شکل ۲- سد امیرکبیر کرج (منبع: www.kojaro.com)



شکل ۱- موقعیت مکانی سد کرج روی نقشه (منبع: fa.wikipedia.org)

۵- روش فرایند تحلیل سلسله مراتب فازی

برای بررسی مدیریت بهینه پروژه‌های عمرانی انتقال و توزیع آب از روش تحلیل سلسله مراتب فازی استفاده می‌شود. توجه به این نکته ضروری است که فرایند تحلیل سلسله مراتبی سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را به طور کامل ندارد. به بیان بهتر، استفاده از مجموعه‌های فازی با توضیحات زبانی و گاه مبهم انسانی، سازگاری بیشتری دارد، بنابراین بهتر است که با استفاده از مجموعه‌های فازی به پیش‌بینی بلند مدت و تصمیم‌گیری در دنیای واقعی پرداخت. در این تحقیق از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی چانگ (۱۹۹۶) استفاده می‌شود. در تکنیک سلسله مراتب فازی، پس از ترسیم درخت سلسله مراتب تصمیم، باید به مقایسه زوجی عناصر پرداخت. در مرحله محاسبات، با استفاده از تعاریف و مفاهیم تحلیل سلسله مراتب فازی، ضرایب هر یک از ماتریس‌های مقایسه زوجی محاسبه می‌شود که برای هر یک از سطرهای ماتریس مقایسه‌های زوجی، ارزش SK که خود یک عدد فازی مثلثی است، از رابطه ۱ به دست می‌آید. برای محاسبه هر یک از بخش‌های این رابطه‌های ۲ تا ۴ استفاده می‌شود.

$$S_k = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \left[\sum_{i=1}^n M_{ij} \right]^{-1}} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$\sum_{j=1}^m M_{ij} = \left(\sum_{i=1}^m l_j, \sum_{i=1}^m m_j, \sum_{i=1}^m u_j \right) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} = \left(\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

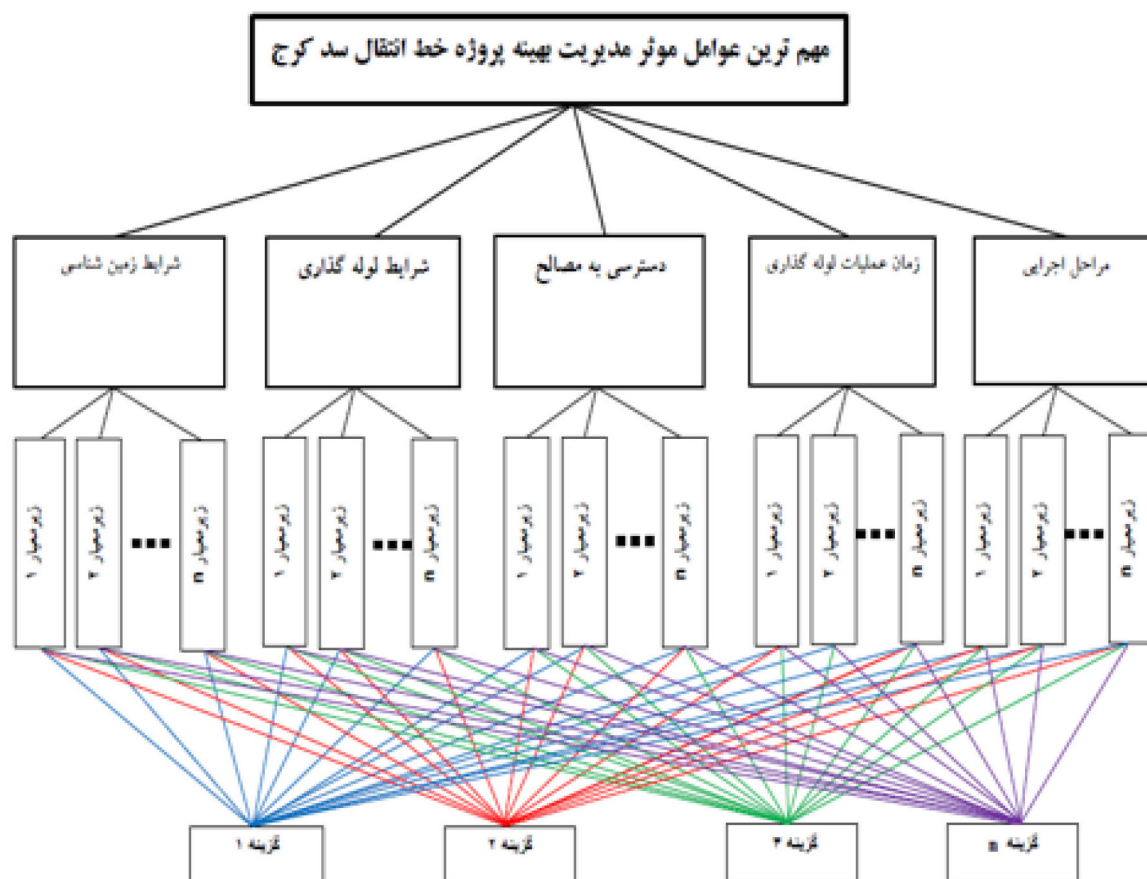
$$\left[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{ki}^j \right]^{-1} = \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad \text{رابطه ۴}$$





پس از محاسبه تمام Sk ها، در این مرحله باید، درجه‌ی بزرگی هر یک از عناصر سطوح را بر سایر عناصر آن سطح، به صورت جداگانه، محاسبه می‌کنیم.

۵-۱- ترسیم درخت سلسله مراتب فازی





۵-۲- اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل سلسله مراتبی فازی

برای انجام این پژوهش از طریق روش فرآیند سلسله مراتبی فازی با نگرش به ساختار سلسله مراتبی فازی می‌توان یافت که به ۲۳ سری پرسشنامه نیاز خواهیم داشت. جدول ذیل لیست کلیه پرسشنامه‌های مورد نیاز را تعیین کرده است.

جدول ۱- پرسشنامه‌های مورد نیاز

پرسشنامه	عنوان
۱	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به معیارهای اصلی (شرایط زمین‌شناسی منطقه، شرایط لوله‌گذاری، دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه، زمان پیشبرد عملیات لوله‌گذاری) نسبت به هدف (سطح صفر)
۲	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به زیر معیارهای زمین‌شناسی (C^1, C^2, C^3) نسبت به معیار اصلی آن (شرایط زمین‌شناسی)
۳	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به زیر معیارهای شرایط لوله‌گذاری (Q^1, Q^2) نسبت به معیار اصلی آن (شرایط لوله‌گذاری)
۴	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به زیر معیارهای دسترسی به مصالح (B^1, B^2, B^3, B^4, B^5) نسبت به معیار اصلی آن (دسترسی به مصالح)
۵	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به زیر معیارهای زمان پیشبرد عملیات لوله‌گذاری (L^1, L^2, L^3) نسبت به معیار اصلی آن (شرایط لوله‌گذاری)
۶	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به زیر معیارهای مراحل لوله‌گذاری (T^1, T^2, T^3, T^4, T^5) نسبت به معیار اصلی آن (دسترسی به مصالح)
۷	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (C^1)
۸	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (C^2)
۹	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (C^3)
۱۰	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (Q^1)
۱۱	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (Q^2)
۱۲	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (B^1)
۱۳	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (B^2)
۱۴	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (B^4)
۱۵	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (B^5)
۱۶	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^1)
۱۷	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^2)
۱۸	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^3)
۱۹	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^1)
۲۰	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^2)
۲۱	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^3)
۲۲	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^4)
۲۳	پرسشنامه مقایسه زوجی فازی مربوط به گزینه‌ها (A^1, A^2, A^3, A^4) نسبت به زیر معیار (L^5)

لازم به توضیح است که در جدول فوق پارامترهای A^1 ایمنی، A^2 زمان، A^3 هزینه، A^4 قابلیت اجرا می‌باشد. با توجه به پرسشنامه‌هایی که در اختیار افراد خبره قرار گرفت، از آن‌ها خواسته شد که با توجه به جدول ذیل به پرسشنامه‌ها پاسخ دهند.





جدول ۲- راهنمای پرسشنامه

کد	عبارات کلامی	عدد فازی	کد	عبارات کلامی	عدد فازی
۱	اهمیت برابر	(۱،۱،۱)	۶	اهمیت زیاد تا خیلی زیاد	(۵،۶،۷)
۲	اهمیت کم تا متوسط	(۱،۲،۳)	۷	اهمیت خیلی زیاد	(۶،۷،۸)
۳	اهمیت متوسط	(۲،۳،۴)	۸	اهمیت خیلی زیاد تا کاملاً زیاد	(۷،۸،۹)
۴	اهمیت متوسط تا زیاد	(۳،۴،۵)	۹	اهمیت کاملاً زیاد	(۸،۹،۱۰)
۵	اهمیت زیاد	(۴،۵،۶)			

بعد از جمع‌آوری اطلاعات پرسشنامه با توجه به فرمول‌های ۱ تا ۴ Sk ها را محاسبه کرده و سپس به محاسبه وزن هر کدام از پارامترها می‌پردازیم که در نهایت وزن نهایی پارامترهای اصلی در جدول ذیل آورده شده است.

جدول ۳- وزن نهایی ۵ شاخص اصلی

ردیف	شاخص‌های بیان شده	وزن محاسبه شده
۱	شاخص‌های شرایط زمین‌شناسی منطقه	۰.۱۹
۲	شاخص‌های شرایط لوله‌گذاری	۰.۵۸
۳	شاخص‌های دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه	۰.۱۹
۴	شاخص‌های به ملاحظات زمان پیشبرد عملیات لوله‌گذاری	۰.۰۳
۵	شاخص‌های مراحل اجرایی لوله‌گذاری	۰.۰۱

هم‌چنین وزن نهایی هرکدام از زیر معیارها را به دست آوردیم:

جدول ۴- برخی از حوزه‌های شناسایی شده مربوط به گروه شاخص‌های مربوط به ملاحظات و شرایط زمین‌شناسی منطقه

ردیف	زیر معیارهای شناسایی شده	وزن محاسبه شده
۱	وجود گسل در منطقه	۰.۱۹
۲	نشست بستر ترانشه	۰.۱۳
۳	برخورد به خاک رسی در مسیر	۰.۱۲
۴	بازندگی و رواناب منطقه	۰.۱۱
۵	توده سنگ ضعیف	۰.۰۸

جدول ۵- برخی از حوزه‌های شناسایی شده مربوط به گروه شاخص‌های مربوط به شرایط لوله‌گذاری

ردیف	زیر معیارهای شناسایی شده	وزن محاسبه شده
۱	ایمنی ماشین‌آلات و تجهیزات	۰.۱۵
۲	وضعیت لایه‌های خاک	۰.۰۴
۳	ریزش خاک داخل ترانشه	۰.۱۱
۴	حریق	۰.۰۶
۵	آب‌گرفتگی ترانشه	۰.۱۲



جدول ۶- برخی از حوزه‌های شناسایی شده مربوط به گروه شاخص‌های مربوط به دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه

ردیف	زیر معیارهای شناسایی شده	وزن محاسبه شده
۱	تأمین و خرید لوله	۰.۳۵
۲	تأمین تجهیزات تست	۰.۱۹
۳	کیفیت زیرسازی و تراکم خاک بستر	۰.۱۱
۴	راندمان ماشین‌آلات و دسترسی	۰.۱۱
۵	استفاده از خاک سرندی	۰.۱

جدول ۷- برخی از حوزه‌های شناسایی شده مربوط به گروه شاخص‌های مربوط به ملاحظات زمان پیشبرد عملیات لوله‌گذاری

ردیف	زیر معیارهای شناسایی شده	وزن محاسبه شده
۱	توقف طولانی مدت عملیات لوله‌گذاری	۰.۱۴
۲	پاک‌سازی مسیر از گیاهان و ریشه	۰.۱۴
۳	تنظیم شیب کف ترانشه	۰.۱۳
۴	بسترسازی و ریختن و متراکم کردن خاک بستر	۰.۱۴
۵	خاک‌ریزی بعد از لوله‌گذاری	۰.۱۳

جدول ۸- حوزه‌های شناسایی شده مربوط به گروه شاخص‌های مربوط به مراحل اجرایی لوله‌گذاری

ردیف	طبقه تخصیص یافته با شاخص بیان شده	وزن محاسبه شده
۱	تمیزکاری محدوده پروژه	۰.۲۴
۲	توان مورد نیاز برای حفر ترانشه در زمین‌های مختلف	۰.۲۸
۳	گمانه‌های شناسایی خاک مسیر	۰.۲۰
۴	نصب اتصالات و تست	۰.۲۸

۷- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در مطالعات کتابخانه‌ای این تحقیق علمی پژوهشی به‌منظور ارائه مدل جهت بهینه‌سازی مدیریت پروژه‌های انتقال آب خط انتقال سد کرج به منابع داخلی و خارجی مراجعه گردید.

پس از آن، جهت تعیین ویژگی‌های یک مدل، مصاحبه‌ای با ۱۸۱ نفر از کارشناسان فنی شاغل در پروژه صورت گرفت و در مجموع ۵ معیار اصلی که هر یک شامل زیر معیارهایی بودند، شناسایی گردید. با توجه به فراوانی تکرار شاخص‌ها و همچنین تعداد سؤالات پرسیده شده در خصوص هر معیار وزنی به آن تخصیص داده شد و پس از تعیین سازگاری شاخص‌ها، از طریق میانگین حسابی نرمالیزه گردید. جهت اعتبارسنجی مدل پرسشنامه‌ای طراحی و در اختیار جامعه آماری تحقیق قرار داده شد تا اهمیت هر یک از معیارها و زیر معیارهای شناسایی شده را تعیین نمایند. نتایج پایان‌نامه حاضر عبارت‌اند از:

- نتایج نشان می‌دهد که ۵ عامل شاخص‌های شرایط زمین‌شناسی منطقه، شاخص‌های شرایط لوله‌گذاری، شاخص‌های دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه، شاخص‌های به ملاحظات زمان پیشبرد عملیات لوله‌گذاری و شاخص‌های به مراحل اجرایی لوله‌گذاری





- در میان حوزه‌های شناسایی شده مربوط به گروه شاخص‌های مربوط به ملاحظات و شرایط زمین‌شناسی منطقه وجود گسل در منطقه با وزن محاسبه شده ۰.۱۹ و نشست بستر ترانشه با وزن محاسبه شده ۰.۱۳ و برخورد به خاک رسی در مسیر با وزن محاسبه شده ۰.۱۲ مهم‌ترین عوامل مؤثر انتخاب شدند.
- شاخص‌های مربوط به شرایط لوله‌گذاری آب‌گرفتگی ترانشه با وزن محاسبه شده ۰.۱۲ و ایمنی ماشین‌آلات و تجهیزات با وزن محاسبه شده ۰.۱۵ و ریزش خاک داخل ترانشه با وزن محاسبه شده ۰.۱۱ مهم‌ترین عوامل مؤثر انتخاب شدند.
- شاخص‌های مربوط به دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه تأمین و خرید لوله با وزن محاسبه شده ۰.۳۵ و تأمین تجهیزات تست و بازرسی خط لوله با وزن محاسبه شده ۰.۱۹ و راندها ماشین‌آلات با وزن محاسبه شده برابر ۰.۱۱ و دسترسی آسان به تجهیزات جانبی با وزن ۰.۱۱ مهم‌ترین عوامل مؤثر انتخاب شدند.
- در بخش شاخص‌های مربوط به ملاحظات زمان پیشبرد عملیات لوله‌گذاری، توقف طولانی مدت عملیات لوله‌گذاری و بسترسازی و ریختن و متراکم کردن خاک بستر با وزن محاسبه شده ۰.۱۴ و تنظیم شیب کف ترانشه و خاک‌ریزی بعد از لوله‌گذاری با وزن ۰.۱۳ پارامترهای اصلی و مؤثر این بخش انتخاب شدند.
- در بخش شاخص‌های گروه شاخص‌های مربوط به مراحل اجرایی لوله‌گذاری توان مورد نیاز برای حفر ترانشه در زمین‌های مختلف با وزن ۰.۲۸ و نصب اتصالات و تست با وزن ۰.۲۸ و تمیزکاری محدوده پروژه با وزن محاسبه شده ۰.۲۴ مهم‌ترین عوامل این بخش انتخاب شدند.
- نتایج حاصل از اعتبارسنجی معیارهای اصلی نشان داد از میان ۵ معیار اصلی مورد بررسی، شاخص‌های مربوط به شرایط لوله‌گذاری با وزن شاخص ۰.۵۸ مهم‌ترین شاخص است. بعد از آن شاخص‌های مربوط به ملاحظات و شرایط زمین‌شناسی منطقه و شاخص‌های مربوط به دسترسی به مواد و مصالح مورد نیاز پروژه هرکدام با مقدار وزن ۰.۱۹ عوامل مهم در تعیین مسیر پروژه خط انتقال سد کرج به دست آمدند.

۸- پیشنهادات

- استفاده از منابع متریکال در دسترس‌تر برای مدیریت بهتر پروژه خط انتقال.
- بررسی روش تحقیق حاضر برای مکان‌یابی سدهای خاکی و بتنی.
- استفاده از روش PMBOK برای شناسایی ریسک‌های موجود در این پروژه در آینده.
- استفاده از روش این تحقیق در ارائه مدل پروژه‌های ریلی و جاده‌ای در سطح کشور در پژوهش‌های آتی.
- بررسی انتخاب بهینه در پروژه‌های خط انتقال نفت و گاز و مقایسه با نتایج تحقیق حاضر.
- توصیه می‌شود با توجه به پویایی سریع تحولات نرم‌افزاری و فناوری، این تحقیق در دوره‌های آتی تکرار و نتایج مقایسه شود.

۹- منابع و مآخذ

۹-۱- فارسی

- [۱] تیموری یگانه، "مروری بر طرح‌های انتقال آب بین حوضه‌ای در جهان و تأثیر آن بر عوامل محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی" (۱۴۰۱)
- [۲] مهدیه حیدری، یاسر رضایی خدادادی "بررسی عوامل مؤثر در کاهش تأخیرات پروژه‌های عمرانی (مطالعه موردی: پروژه خط انتقال آب)"، چهارمین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی عمران، معماری، هنر و طراحی شهری (۱۴۰۱)
- [۳] رسول قبادیان، سارا حشمتی، سید احسان فاطمی "توسعه مدل طراحی بهینه خط انتقال آب (مطالعه موردی: خط انتقال سد خارج از بستر بیستون)"، فصلنامه تحقیقات مهندسی سازه‌های آبیاری و زهکشی، دوره: ۲۱، شماره: ۸۱، (۱۳۹۹).
- [۴] طباطبایی، رامین و محمدقاسمی، مهدی و حیدری، علی و سالخورده حقیقی، "شناسایی و اولویت‌بندی عوامل تأخیر در پروژه خط انتقال آب



- [5] فرزادی، مبین و بهبهانی، محمود رضا و پورحسن زارع، محمد علی و نیک سخن، محمدحسین، "متدولوژی ارزیابی ریسک سیلاب در پایین دست سدها با استفاده از منحنی های عمق آب- خسارت"، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست، تهران، (۱۳۹۷)
- [6] ساعتی، توماس، ال، "تصمیم سازی برای مدیران"، ترجمه علی اصغر توفیق، تهران، انتشارات سازمان مدیریت صنعت، (۱۳۷۸).
- [7] قدسی پور، سید حسن "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP"، تهران: دانشگاه صنعتی امیر کبیر، (۱۳۸۹)
- [8] حافظنیا، محمدرضا. "مقدمه ای بر روش تحقیق در علوم انسانی"، (۱۳۹۶).

۹-۲- انگلیسی

- [9] Allan T. IWRM/IWRAM "a new sanctioned discours Occasional" Paper ۵۰. (۲۰۰۳).
- [10] Shumilova O. "a potential solution for the water-food energy nexus Front Environ" Sci, ۶:۱۵۰ (۲۰۱۸).
- [11] Rahman, H. U., Raza, M., Afsar, P., Alharbi, A., Ahmad, S., & Alyami, H. "Multi-criteria decision making model for application maintenance offshoring using analytic hierarchy process". Applied Sciences, ۱۱(۱۸), ۸۵۵۰. (۲۰۲۱).
- [12] Natarajan, N., Vasudevan, M., Dineshkumar, S. K., & Anuja, R. "Comparison of analytic hierarchy process (AHP) and fuzzy analytic hierarchy process (f-AHP) for the sustainability assessment of a water supply project". Journal of The Institution of Engineers (India): Series A, ۱۰۳(۴), ۱۰۲۹-۱۰۳۹. (۲۰۲۲).
- [13] Almasifar, N., Canbolat, T. Ö., Akhavan, M., & González-Lezcano, R. A. "Proposing a new methodology for monument conservation "SCOPE MANAGEMENT" by the use of an analytic hierarchy process project management institute system and the ICOMOS Burra Charter". Sustainability, ۱۳(۲۳), ۱۳۱۷۴. (۲۰۲۱).
- [14] Li, W., Yu, S., Pei, H., Zhao, C., & Tian, B. "A hybrid approach based on fuzzy AHP and ۲-tuple fuzzy linguistic method for evaluation in-flight service quality". Journal of Air Transport Management, ۶۰, ۴۹-۶۴. (۲۰۱۷).



