

انتخاب ساختگاه برتر سد و نیروگاه برق آبی پیرتقی با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره (AHP)

رضوان یعقوبی^۱، جعفر رهنما^۲، فاطمه جمشیدیان^۳

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان r.yaghuobi@yahoo.com

۲- دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زاهدان

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد ریاضی کاربردی، دانشگاه فردوسی مشهد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۵/۲۳ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۲/۱۳

چکیده

سد و نیروگاه برقابی پیرتقی در فاصله ۵۰ کیلومتری شرق میانه و ۴۵ کیلومتری جنوب غرب خلخال بر روی رودخانه قزل‌اوزن در استان اردبیل ساخته خواهد شد. برای این سد دو ساختگاه تحت عنوان ۱۵ A و ۱۵ معرفتی شده است. در این مقاله با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره‌ی ای‌اچ‌پی (AHP, Analytic Hierarchy Process)، ساختگاه برتر جهت احداث سد تعیین شد. برای انتخاب ساختگاه برتر، ۸ معیار و ۲۶ زیرمعیار تعریف شده، سپس با استفاده از نرم‌افزار سوپر دسیژن (Super Decision) مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های انجام شده، در زیر معیارهای مربوط به طبقه‌بندی Q, RMR, DMR، مقادیر کمی SPI, RQD و GSI، نفوذپذیری تکیه‌گاه‌ها و بستر، مقاومت فشاری تک‌محوری، مدول‌های تغییر شکل، پایداری و شرایط جانمایی تونل‌های آب‌بر به نیروگاه، موقعیت درزه‌های اصلی و گسل‌ها در محل محور سد، حجم خاک‌برداری و سنگ‌برداری، عمق قرارگیری توده‌های نامقاوم پیروکلاستیک و تراکم بافتی مصالح پی آبرفتی، ساختگاه ۱۵ A در ماتریس مقایسه امتیازهای بالاتری را به خود اختصاص داد و به عنوان ساختگاه برتر معرفی شد.

واژگان کلیدی: رودخانه قزل‌اوزن، اردبیل، نفوذپذیری تکیه‌گاه‌ها، پی آبرفتی، ماتریس مقایسه

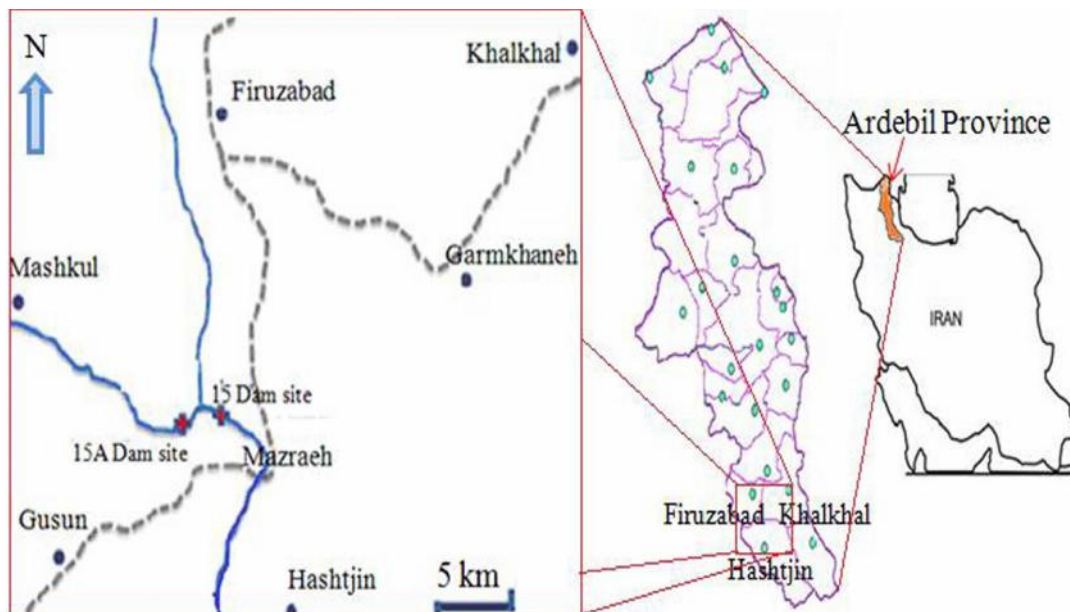
مقدمه

قرار است سد پیرتقی در فاصله ۵۰ کیلومتری شرق میانه و ۴۵ کیلومتری جنوب غرب خلخال (حوالی روستای قشلاق‌الوار) در پایین‌دست سد استور، بر روی رودخانه قزل‌اوزن در استان اردبیل ساخته شود. مطالعات مربوط به سد توسط مهندسی مشاور طوس‌آب و تحت کارفرمایی شرکت توسعه منابع آب و نیروی ایران با هدف توسعه طرح‌های برق آبی کشور در حال انجام است. لازم به ذکر است

که انتخاب ساختگاه مناسب از بین ساختگاه‌های پیشنهادی هنوز به نتیجه نهایی نرسیده است. برای این سد، دو ساختگاه معرفی شده است. ساختگاه ۱۵ دارای مختصات جغرافیایی "۴۸°، ۱۳'، ۵۰" طول شرقی و "۳۷°، ۲۸'، ۰۳" عرض شمالی و ساختگاه A ۱۵ دارای مختصات جغرافیایی "۴۸°، ۱۳'، ۲۸" طول شرقی و "۳۷°، ۲۸'، ۰۲" عرض شمالی می‌باشند [۷] (شکل ۱). با انتخاب ساختگاه بهینه سد در مرحله مطالعاتی

مقایسه می‌شوند. اما روش بهینه‌ی انجام این کار مقایسه‌ی کمی و همزمان پارامترها و معیارهای مورد بررسی می‌باشد که این مهم توسط روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از جمله ای‌اچ‌پی قابل بررسی است [۱۳].

پروژه، که با بررسی تاثیر هم زمان تمامی معیارهای دخیل در انتخاب صورت می‌گیرد، می‌توان از بروز پاره‌ای از مشکلات و هزینه‌ها در طی مراحل اجرا و بهره‌برداری کاست [۷، ۱۱]. معیارهای موثر در انتخاب گزینه مناسب، اغلب به صورت کیفی با هم



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ساختگاه‌های پیشنهادی سد پیرتقی

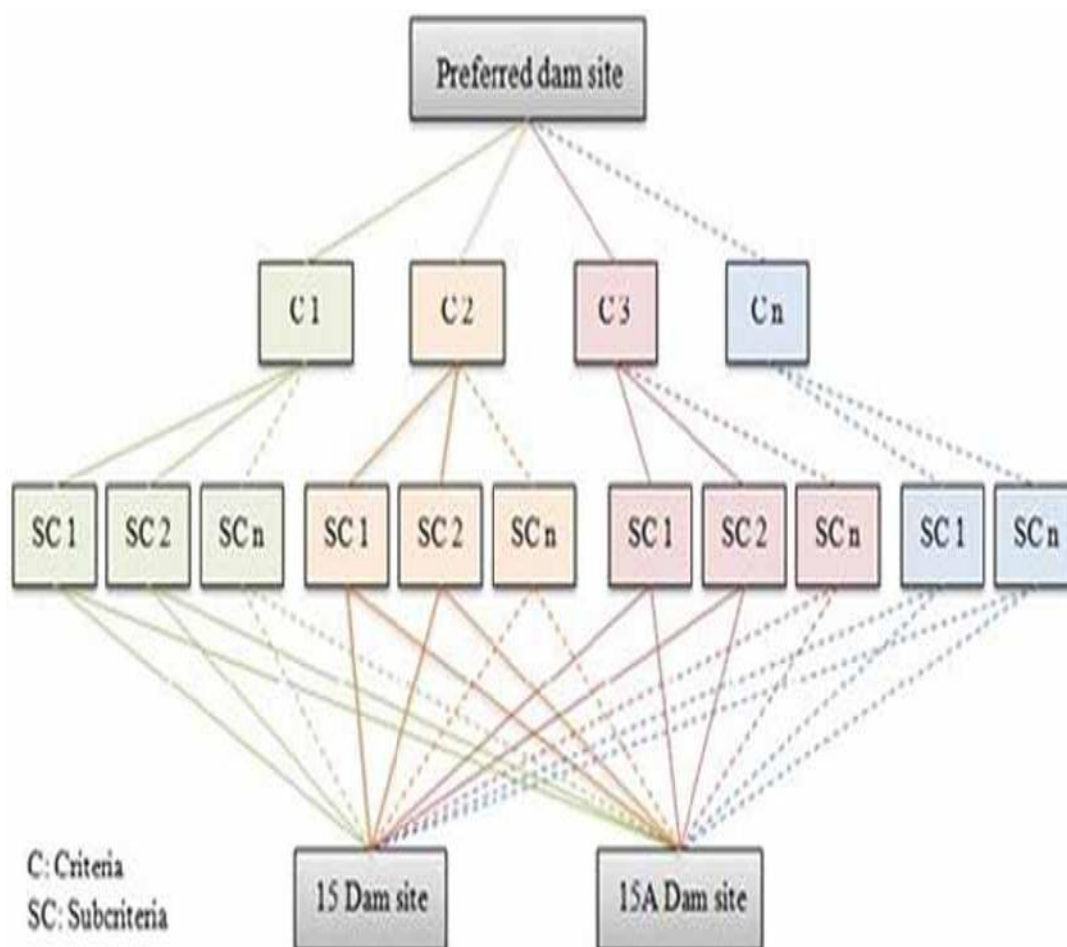
فرآیند سلسله مراتبی (AHP) در انتخاب ساختگاه

شخصی برای تصمیم‌گیری یک مسئله را به شیوه‌ای منطقی ترکیب می‌نماید برای حل مسائل ارزشیابی و همچنین مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره با معیارهای کمی و کیفی بسیار کاراست [۱۳]. روش تحلیلی سلسله مراتبی به عنوان ابزاری توانمند و دارای انعطاف‌پذیری برای کاستن پیچیدگی‌های موجود در شناسایی ساختگاه مناسب و نظم بخشیدن به معیارهای ارزیابی بر مبنای میزان اهمیت آن‌ها در ساختار درخت تصمیم‌گیری شناخته شده است [۵]. تصمیم‌گیرنده می‌بایست هر زوج از معیارهای تصمیم‌گیری را با

روش ارزشیابی (AHP) که نخستین بار در سال ۱۹۸۰ توسط شخصی به نام توماس ال ساعتی ارائه شد، یکی از روش‌های مناسب برای تصمیم‌گیری به شمار می‌آید [۲]. فرآیند سلسله مراتبی با سطوح مختلف از جمله هدف اصلی، معیارهای تصمیم‌گیری و گزینه‌های مورد نظر مشخص می‌گردد [۴]. هدف اصلی و نهایی در سطح اول سلسله مراتب تصمیم، در سطح بعد معیارهای اصلی و در سطح سوم، معیارهای فرعی و در سطح آخر، گزینه‌های تصمیم (شکل ۲) قرار می‌گیرد [۶، ۱۰]. این روش که داوری‌های

مقایسه زوجی معیارها، الویت‌بندی معیارها و زیرمعیارها و وزن‌دهی به آن‌ها، ترکیب وزن‌ها تحلیل حساسیت، تعیین نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. معیارهای موثر در تعیین ساختگاه مناسب معمولاً در چندین دسته‌ی کلی طبقه‌بندی می‌شوند [17] و می‌توان آن‌ها را در قالب معیارهای مختلف و زیر معیارهای مربوطه دسته‌بندی کرد. انتخاب این معیارها و زیرمعیارها بر اساس قضاوت کارشناسی و اطلاعات در دسترس صورت گرفته است.

یکدیگر مقایسه نماید. مقایسه اهمیت نسبی هر زوج معیار تصمیم‌گیری نسبت به یکدیگر، در ابتدا به صورت کیفی انجام شده و سپس در یک مقیاس عددی کمی می‌گردد [۳، ۲، ۱۲]. این مقیاس تحت عنوان اهمیت فاکتور یا معیار (Importance of factor) مورد نیاز است که این مقیاس‌ها از قبل تعریف شده است [14,15,16]. مبنای مقایسه و اهمیت معیارها در جدول ۱ آمده است. به طور کلی مراحل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شامل ساخت درخت سلسله‌مراتبی (معین کردن هدف، معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌های مورد بررسی)



شکل ۲- نمودار درختی (AHP) در مورد ساختگاه‌های دوگانه ۱۵ A و ۱۵ سد پیرتقی

جدول ۱- مقیاس امتیازدهی در مقایسه دو به دو معیارها [۱۶]

اهمیت (قضاوت شفاهی)	امتیاز
مساوی (Equally Preferred)	۱
مساوی تا کمی بهتر (Equally to Moderately Preferred)	۲
کمی بهتر (Moderately preferred)	۳
کمی تا خیلی بهتر (Moderately to strongly Preferred)	۴
خیلی بهتر (Strongly preferred)	۵
خیلی تا خیلی خیلی بهتر (Strongly to very strongly preferred)	۶
خیلی خیلی بهتر (Very strongly preferred)	۷
خیلی خیلی بهتر تا بی نهایت بهتر (Very strongly to extremely preferred)	۸
بی نهایت بهتر (Extremely preferred)	۹

معیارها و زیر معیارهای مورد بررسی در انتخاب گزینه برتر

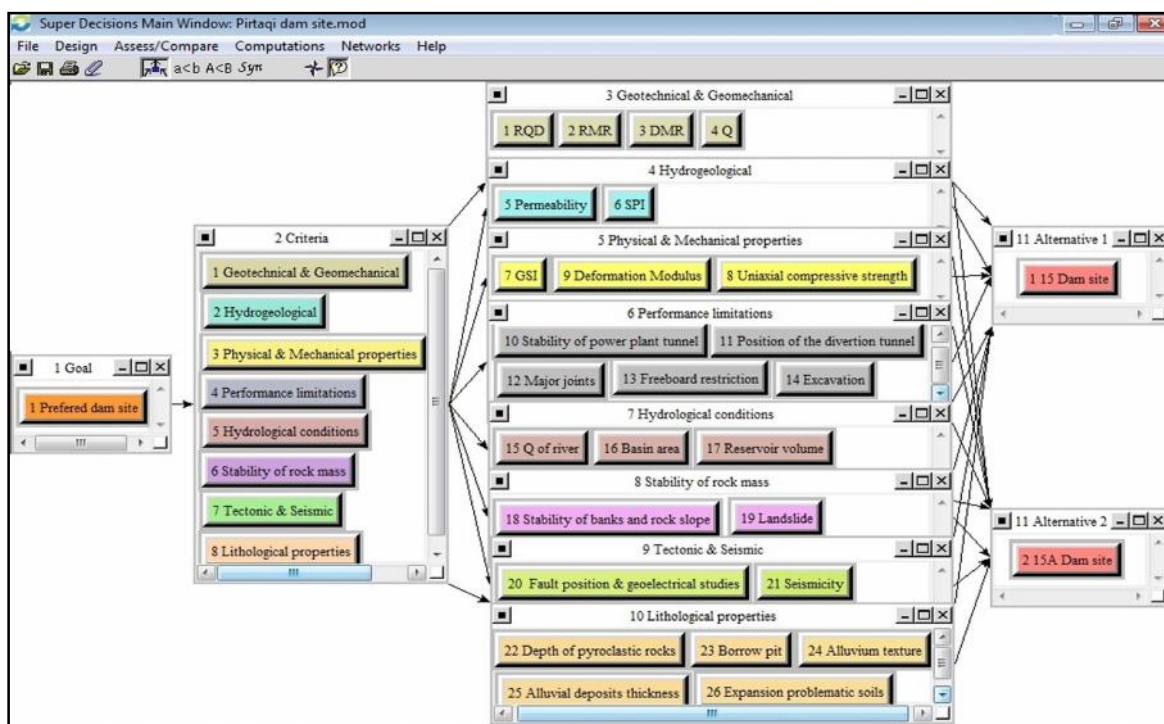
نیروگاه، شرایط جانمایی تونل‌های انحراف آب موقعیت درزه‌های اصلی نسبت به محور سد، ارتفاع سد، میزان خاک برداری و سنگ برداری در احداث سرریز. **معیار ۵:** شرایط هیدرولوژیکی ساختگاه‌ها. **زیر معیارها:** آورد سالیانه رودخانه در محل محور مساحت حوضه آبریز تا محل محور، حجم مخزن. **معیار ۶:** پایداری دامنه‌های سنگی. **زیر معیارها:** پایداری دامنه‌های سنگی در یک ساختگاه می‌تواند شامل زیرمعیارهای متفاوتی باشد که در اینجا به نتایج حاصل از نرم‌افزار راک‌پک تری (Rock pack) با استفاده از نتایج حاصل از این نرم‌افزار احتمال وقوع انواع لغزش‌های صفحه‌ای، گوه‌ای و دایره‌ای در هر یک از ساختگاه‌ها به تفکیک تکیه‌گاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند و موقعیت زمین لغزش‌هایی که در محدوده ساختگاه‌های ۱۵ و A ۱۵ به وقوع پیوسته‌اند، اکتفا کرده‌ایم. **معیار ۷:** زمین ساخت و لرزه‌خیزی منطقه. **زیر معیارها:** مطالعات

معیار ۱: شرایط ژئومکانیکی و ژئوتکنیکی توده‌های سنگی و سنگ بکر. **زیر معیارها:** امتیازهای مربوط به RQD (Rock Quality Designation) و رده بندی‌های Tunneling Quality index), RMR (Rock Mass Rating) NGI (Norwegian Geotechnical Institute) یا Q (Rock و DMR (Dam Mass Rating) که به صورت جداگانه در هر کدام از تکیه‌گاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. **معیار ۲:** شرایط هیدروژئولوژیکی توده‌های سنگی. **زیر معیارها:** مقادیر نفوذپذیری و میزان SPI (Secondary Permeability Index) در هر کدام از تکیه‌گاه‌ها و بستر. **معیار ۳:** ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ و توده‌های سنگی. **زیر معیارها:** مقدار GSI (Geology Strength Index) مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ، مدول‌های تغییر شکل پذیری توده‌های سنگی و پارامترهای ژئومکانیکی سنگ بکر. **معیار ۴:** محدودیت‌های اجرایی. **زیر معیارها:** پایداری تونل‌های آب بر

انتخاب ساختگاه برتر سد و نیروگاه برق آبی پیرتقی با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره AHP

مورد بررسی قرار گرفته‌اند. لازم به ذکر است که معیارها و زیر معیارهای مربوطه به ترتیب الویت و بر اساس قضاوت کارشناسی مرتب شده‌اند و الویت بندی هر کدام از این معیارها و زیر معیارها به دلیل عدم تشابه شرایط مورفولوژیکی، ژئوتکنیکی لیتولوژیکی زمین‌ساختی هیدرولوژیکی، اجتماعی اقتصادی و ... در پروژه‌ها و طرح‌های مختلف متفاوت خواهد بود. در این مقاله به جهت انجام فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره از نرم‌افزار سوپر دسیژن استفاده شده است. هر کدام از معیارها و زیر معیارهایی که تشریح شدند (۸ معیار و ۲۶ زیر معیار) به ترتیب الویت در مجموعه‌های مشخص برای نرم افزار تعریف و ارتباطات میان آن‌ها نیز تعیین گردید.

ژئوالکتریکی، موقعیت گسل‌ها در محدوده محور سد و مقادیر پارامترهای جنبش نیرومند زمین و لرزه‌خیزی منطقه. **معیار ۸:** شرایط لیتولوژیکی تکیه‌گاه‌ها و بستر. **زیر معیارها:** عمق قرارگیری توده‌های پیروکلاستیکی نامقاوم، دسترسی به منابع قرضه و وسعت منابع در دسترس، تراکم بافتی مصالح پی آبرفتی، ضخامت آبرفت بستر و گسترش خاک‌های مشکل آفرین. هر کدام از این زیر معیارها با انجام مطالعات کتابخانه‌ای، آزمایشگاهی و صحرایی به صورت کمی یا کیفی مورد ارزیابی و محاسبه قرار گرفته‌اند. سپس با استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره به بررسی و مقایسه ساختگاه‌ها پرداخته شده است. معیارهای مذکور به همراه زیر معیارهای مربوطه در شکل ۳ نشان داده شده است که در مجموع ۸ معیار و ۲۶ زیر معیار در مورد ساختگاه‌های پیشنهادی



شکل ۳- نمودار سلسله مراتبی ساختگاه‌ها به همراه معیارها و زیر معیارها در محیط نرم‌افزار سوپر دسیژن (در این تصویر هر کدام از زیر معیارها به رنگ معیار مربوطه نمایش داده شده‌اند)

ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر

می‌گردد. پس از تعیین وزن نسبی معیارهای تصمیم‌گیری، مجموع مقادیر هر یک از ستون‌های ماتریس‌های مقایسه زوجی به عنوان نتیجه‌ی ماتریس در ردیف جداگانه قرار می‌گیرد [۶]. در این مقاله ماتریس مقایسه زوجی معیارهای مورد مطالعه توسط نرم افزار سوپر دسیژن در مورد تک تک معیارها تعریف و ایجاد شده است (شکل ۴).

مقایسات زوجی به تصمیم‌گیرنده این امکان را می‌دهد که فارغ از هر گونه مزاحمت خارجی سایر معیارها بر روی مقایسه دو معیار تمرکز کند. به علاوه اطلاعات ارزشمندی در مورد مسئله تحت بررسی فراهم می‌آورد و باعث بهبود عامل منطقی بودن فرآیند تصمیم‌گیری می‌گردد [۸،۹]. در این مرحله یک ماتریس برای "نتایج مقایسه زوجی معیارها" ایجاد

Criteria	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
11. 2 Hydrogeological	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	6 Stability of rock mass
12. 2 Hydrogeological	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	7 Tectonic & Seismic
13. 2 Hydrogeological	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	8 Lithological properties
14. 3 Physical & Mechanical properti~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	4 Performance limitations
15. 3 Physical & Mechanical properti~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5 Hydrological conditions
16. 3 Physical & Mechanical properti~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	6 Stability of rock mass
17. 3 Physical & Mechanical properti~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	7 Tectonic & Seismic
18. 3 Physical & Mechanical properti~	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	8 Lithological properties
19. 4 Performance limitations	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	5 Hydrological conditions
20. 4 Performance	>=9.5	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	>=9.5	No comp.	6 Stability of rock

شکل ۴- نمایی از ماتریس مقایسه زوجی معیارها. در این شکل معیارها بر حسب جدول ۱ مورد مقایسه قرار گرفته و با اعداد کمتر از ۹/۵ ارزش‌گذاری می‌شوند. مقایسه بر مبنای معیارهای سمت چپ انجام گرفته است و به همین دلیل اعدادی که در همان سمت و به رنگ مشابه آن‌ها می‌باشد، مشخص شده است.

محاسبه وزن معیارها

برای محاسبه وزن معیارها نسبت به هم و برآورد وزن ساختگاه‌ها در مورد هر کدام از معیارها، از روش تقریبی (میانگین حسابی) استفاده شده است. برای دستیابی به این امر، ابتدا باید ماتریس‌های مقایسه زوجی ساختگاه نسبت به معیار را نرمالایز کرده (یعنی تقسیم هر عنصر از ماتریس به مجموع ستون متناظر آن) و متوسط عناصر هر سطر از ماتریس را محاسبه نموده و در ستون میانگین‌ها به عنوان وزن میانگین آن معیار یادداشت کنیم [۱]. که این اعداد به عنوان وزن ساختگاه‌ها برای هر معیار می‌باشد و طی آن ماتریس‌های محاسبه ارزشیابی ساختگاه نسبت به هر معیار به دست می‌آید. به همین ترتیب ماتریس محاسبه ارزشیابی معیارها برای انتخاب ساختگاه به دست می‌آید. وزن نهایی هر گزینه نیز از مجموع حاصل ضرب وزن معیارها در وزن ساختگاه‌ها نسبت به معیارها به دست می‌آید.

محاسبه نرخ سازگاری ماتریس‌ها

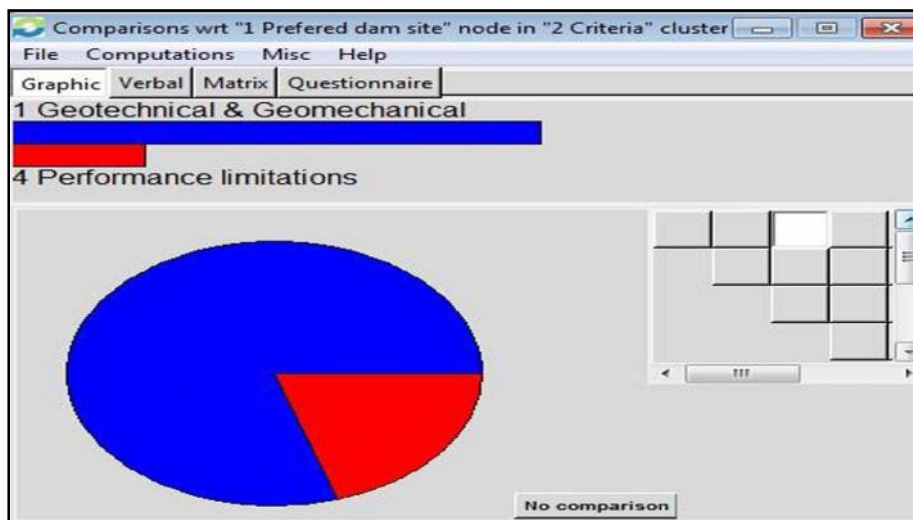
با توجه به این که ماتریس‌های مقایسه زوجی ساختگاه‌ها نسبت به هر معیار ماتریس‌هایی 2×2 هستند، به خودی خود سازگار می‌باشند ولی باید نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر (که ماتریسی 8×8 می‌باشد) را محاسبه نمود. در این مرحله بر اساس روش ای‌اچ‌پی، لازم است ضریب همخوانی یا همان ضریب سازگاری تعیین شود. با استفاده از این نرم افزار و بر اساس جدول ۱ ماتریس مقایسه زوجی برای تک تک معیارها و زیر معیارها نوشته شد که شامل ۶۴ درایه می‌باشد و در کل ۶۷۶ مقایسه میان معیارها و زیر معیارها بر اساس جدول ۱ و به صورت زوجی انجام گرفته است که توضیحات مربوط به این مقایسات از حوصله این نوشتار خارج است و تنها بخشی از این ماتریس که مربوط به مقایسه زوجی معیارها می‌باشد، در شکل ۵ آمده است.

Inconsistency	Hydrogeological	3 Physical & Mechanical properties	4 Performance limitations	5 Hydrological conditions	6 Stability of rock mass
Geotechnical & Geomechanical	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0
Hydrogeological		3.0	3.0	4.0	5.0
3 Physical & Mechanical properties			2.0	3.0	5.0
4 Performance limitations				2.0	3.0
5 Hydrological conditions					3.0

شکل ۵- نمایی از تعیین الویت در ماتریس مقایسه زوجی معیارها، اعداد درج شده در ماتریس میزان الویت هر کدام از معیارها نسبت به دیگری و جهت فلش، معیار دارای اولویت را نشان می‌دهد.

ناسازگاری کمتر از ۰/۱ یعنی معادل ۰/۰۶۲۷ می باشد که نشان می دهد ماتریس سازگار بوده و الویت دهی ها و وزن دهی ها به صورت مطلوب صورت گرفته است [۸ و ۹]. ماتریس های مقایسه زوجی زیر معیارهای مربوط به هر معیار نیز به همین صورت تشکیل و نرخ سازگاری هر کدام محاسبه شده است. در انتها به آنالیز ماتریس ها و نتایج حاصله پرداخته و نتیجه نهایی انتخاب ساختگاه در شکل ۸ آمده است.

در مرحله بعد یک ماتریس شامل نتایج مقایسه زوجی معیارها ایجاد و در نهایت وزن نسبی معیارهای تصمیم گیری از آن به دست آمد (شکل ۶). ماتریس های ۲×۲ مربوط به مقایسه زوجی ساختگاه ها نسبت به هر معیار سازگار بوده، اما نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر (که ماتریسی ۸×۸ می باشد) محاسبه شده است (شکل ۷). همانطور که از نتایج حاصل از نرم افزار و در شکل ۷ مشاهده می شود مقدار نرخ



شکل ۶- نمایی از محاسبات گرافیکی وزن نسبی معیارها نسبت به یکدیگر. در این شکل به عنوان نمونه وزن نسبی معیار اول نسبت به معیار هشتم نشان داده شده است.

Priorities		
The inconsistency index is 0.0627. It is desirable to have a value of less than 0.1		
1 Geotechnical & Geomechanical		0.320963
2 Hydrogeological		0.238108
3 Physical & Mechanical properties		0.150239
4 Performance limitations		0.101713
5 Hydrological conditions		0.072600
6 Stability of rock mass		0.046441
7 Tectonic & Seismic		0.045448
8 Lithological properties		0.024489

شکل ۷- محاسبه نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر

Here are the overall synthesized priorities for the alternatives. You synthesized from the network Super Decisions Main Window: Pirtaqi dam site.mod

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
1 15 Dam site	<div style="width: 30%; background-color: blue;"></div>	0.656211	0.396212	0.132071
2 15A Dam site	<div style="width: 60%; background-color: blue;"></div>	1.000000	0.603788	0.201263

شکل ۸- نتیجه نهایی آنالیز حاصل از نرم افزار سوپر دسیژن

نتیجه گیری

شرایط لرزه خیزی، مقادیر پارامترهای ژئومکانیکی سنگ بکر، پایداری دامنه‌های سنگی و تکیه‌گاه‌ها ضخامت آبرفت بستر و دسترسی به منابع قرضه و وسعت منابع در دسترس دارای امتیازات مشابه بودند. خاک‌های مسئله‌دار و مشکل آفرین نیز در هیچ کدام از ساختگاه‌ها گسترش نداشت. با توجه به معیارها و زیرمعیارهای مورد بررسی در دو ساختگاه پیشنهادی قضاوت‌های کارشناسی، الویت دهی‌ها و مقایسات لازم در محیط نرم افزار سوپر دسیژن انجام شد. سرانجام نتیجه آنالیز به صورت ارجحیت‌ها در ستون نرمالز (Normals)، نمایش داده شد. از آنجا که عدد بزرگتر نشان دهنده ارجحیت بالاتر گزینه‌های مورد نظر می‌باشد، ساختگاه A ۱۵ به عنوان ساختگاه برتر معرفی گردید.

تشکر و قدردانی

از شرکت مهندسی مشاور طوس آب به دلیل در اختیار گذاردن پاره‌ای از اطلاعات قدردانی می‌گردد.

در فرآیند انجام مقایسات انجام شده شرایط هر کدام از تکیه‌گاه‌ها به صورت جداگانه مورد توجه قرار گرفت. بر اساس بررسی‌های انجام شده، در زیر معیارهای مربوط به طبقه‌بندی RMR Q DMR، مقادیر کمی GSI SPI RQD نفوذپذیری تکیه‌گاه‌ها و بستر، مقاومت فشاری تک محوری مدول‌های تغییر شکل، پایداری و شرایط جانمایی تونل‌های آب بر به نیروگاه، موقعیت درزه‌های اصلی و گسل‌ها نسبت به محور سد، حجم خاک برداری و سنگ برداری، عمق قرارگیری توده‌های نامقاوم پیروکلاستیک و تراکم بافتی مصالح پی آبرفتی ساختگاه A ۱۵ در ماتریس مقایسه امتیازهای بالاتری را به خود اختصاص داد. آورد سالیانه رودخانه و مساحت حوزه آبریز تا محل محور و حجم مخزن در ساختگاه ۱۵ به لحاظ تولید برق در نیروگاه، دارای امتیازهای بالاتری بودند. از طرفی اعمال محدودیت در ارتفاع سد در این گزینه (ساختگاه ۱۵) وجود ندارد و زمین لغزش‌های محدوده محور دارای شدت و وسعت بیشتری می‌باشد. این دو ساختگاه به لحاظ

منابع

- ۱- آذر، ع.، (۱۳۸۱)، "تحلیل پوششی داده‌ها و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مطالعه‌ای تطبیقی"، فصلنامه مطالعات مدیریت شماره ۲۵، ص ۷۰ تا ۷۹.
- ۲- آریانزاد، م.، سجادی، ج.، (۱۳۸۱)، "تحقیق در عملیات ۲ (پژوهش عملیاتی ۲ و ۳)"، انتشارات دانشگاه علم و صنعت ۳۸۶ ص.
- ۳- حبیبی، ک.، (۱۳۸۶)، "تهیه مدلی یکپارچه به وسیله تلفیق روش تصمیم‌گیری در شهرسازی"، مجموعه مقالات دومین همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، ص ۲ تا ۵.
- ۴- خیرخواه زرکش، م.، ر.، ناصری، ح.، ر.، داوودی، م. ه. سلامی، ه.، (۱۳۸۷)، "استفاده از روش تحلیلی سلسله مراتبی در الویت بندی مکان‌های مناسب احداث سد زیرزمینی، مطالعه موردی: دامنه‌ی شمالی کوه‌های کرکس- نطنز"، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۷۹، ص ۹۳ تا ۱۰۱.
- ۵- سمیعی، ع.، و رئیس، ا.، (۱۳۷۹)، "ارزیابی چند معیاره پروژه‌های منابع آب از دیدگاه توسعه پایدار در ایران"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سد سازی، جلد ۲، ص ۱۹۸ تا ۲۰۸.
- ۶- شمسایی، ا.، و حسن پور، ج.، (۱۳۸۲)، "بررسی جنبه‌های زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی احداث نیروگاه‌های برق آبی" مجموعه مقالات کنفرانس ملی نیروگاه‌های آبی کشور تهران انتشارات فراست، چاپ اول، جلد ۲، ص ۸۴۷ تا ۸۵۶.
- ۷- قدسی پور، ح.، (۱۳۸۱)، "فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم، ۳۲۱ ص.
- ۸- قدسی پور، ح.، (۱۳۸۴)، "مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ چهارم، ۲۲۰ ص.
- ۹- قدرت نما، ق.، (۱۳۷۲)، "ارزیابی‌های چند معیاره در طرح‌های توسعه منابع آب"، مجله آب و توسعه، شماره ۲ ص ۱۱ تا ۲۳.
- ۱۰- مردی، م.، (۱۳۷۹)، "برنامه‌ریزی توسعه منابع آب و برق طرح های برق آبی زنجیره‌ای جنوب کشور و چالش‌های پیش رو"، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سد سازی، جلد ۲ ص ۱۳۳ تا ۱۴۸.
- ۱۱- نصیری، ا.، (۱۳۸۶)، "کاربرد تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی با GIS در کاربری اراضی شهری"، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، ۸ ص.
- ۱۲- وحیدیان کامیاد، ع.، و آخوندی روشناوند، ن.، (۱۳۸۸) "ساختار ریاضیات فازی برای روش AHP"، چهارمین کنفرانس ریاضی کاربردی ایران، دانشگاه سیستان و بلوچستان زاهدان.
- 14- Aguilar-Lasserrea, A. A., Bautistaa, M. A. B., Ponsichb, A., & Huertaa, M. A., (2009) "An AHP-based decision-making tool for the solution of multiproduct batch plant design problem under imprecise demand", *Computers & Operations Research*, Vol. 36., pp 711 – 736.
- 15-Chakhar, S., (2003), "Enhancing Geographical Information Systems Multi-Criteria Evaluation Functions", *Journal of Geographic Information and Decision Analysis*, Vol. 7 (2), pp 47 – 71.
- 16-Saaty, T. L., (1994), "How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process", *Institute of Operation Research and the Management Sciences*, Vol. 24(6)., pp 19–43.
- 17-Tilt, B., Braun, Y., & He, D., (2009) "Social impact of large dam projects: A comparison of international case studies and implications for best practice", *Journal of Environmental Management*, Vol. 90, pp 5249–5257.