

شناسایی و اولویت بندی گزینه های احداث سد زیرزمینی در دشت سیلابی قره بوته زنجان با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

محمد کشاورزبخشایش^{۱*}، مهدی نوربخش^۲

دریافت مقاله: ۹۵/۰۸/۱۹ پذیرش مقاله: ۹۷/۰۳/۱۰

چکیده

هدف اصلی این مقاله، شناسایی گزینه های مناسب برای احداث سد زیرزمینی در محدوده دشت سیلابی قره بوته واقع در جنوب غربی استان زنجان است. سطح آبهای زیرزمینی این منطقه در سالهای اخیر کاهش یافته است. احداث سد زیرزمینی، می تواند تا حدودی به رفع کمبود آب در این منطقه کمک نماید. محدوده مورد مطالعه، از نظر پتانسیل احداث سد زیرزمینی مورد مطالعه قرار گرفته و ۱۳ محل برای احداث سازه شناسایی شده است. در این تحقیق، ابتدا مهمترین عوامل تاثیرگذار در احداث سد زیرزمینی، شناسایی شده است. این عوامل شامل واحدهای زمین شناسی، گسل، آبراهه، کیفیت آب، عمق سنگ بستر و حجم مخزن هستند که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی، مقایسه زوجی بین آنها صورت گرفته و بر اساس ارجحیت هریک از این عوامل به دیگری، ضریب آنها محاسبه شده است. در این روش با استفاده از تعیین معیار و زیر معیار عوامل موثر در انتخاب ساختگاه، میزان اهمیت آنها در انتخاب محل توسط یک سیستم مقایسه و رتبه بندی زوجی صورت می گیرد. به منظور مقایسه نتایج روش تحلیل سلسله مراتبی، از روش وزن دهی نیز برای اولویت بندی گزینه ها استفاده شده است. در روش وزن دهی، با در نظر گرفتن میزان اهمیت هریک از عوامل شناسایی شده، عددی به عنوان وزن (Weight) آن عامل در نظر گرفته می شود. برای زیر عاملها نیز، متناسب با درجه اهمیت عددی به عنوان نرخ (Rate) مشخص می شود. نتیجه مقایسه، بیانگر انطباق مناسب اولویت بندی گزینه ها با دوروش متفاوت است. با اینحال، به نظر می رسد که روش AHP به دلیل مقایسه زوجی عوامل، از دقت بیشتری نسبت به روش وزن دهی برخوردار است.

کلمات کلیدی: سد زیرزمینی، تحلیل سلسله مراتبی، روش وزن دهی، استان زنجان.

^۱ استادیار دانشگاه پیام نور زنجان keshavarzm@yahoo.com

^۲ مدیر اجرایی بخش آبخیزداری جهاد کشاورزی استان زنجان

*مسئول مکاتبات

۱. مقدمه

احداث سد زیرزمینی مقدار قابل ملاحظه ای در این نوع سازندها ذخیره شده است (Telmer and Best, 2014). بدلیل نقش عوامل متعدد در تعیین مناسبترین محل برای احداث ساختگاه سد زیرزمینی، روشهای مختلفی برای اعمال اولویت بندی و تعیین اهمیت هریک از این عوامل پیشنهاد شده است. استفاده از روش فازی (Opricovic, 2011)، شبکه های عصبی (Giovanni, 2008)، وزن دهی به عوامل (Paliska and Fabjan, 2010)، از جمله این روشها است. در سالهای اخیر، روش تحلیل سلسله مراتبی نیز برای مطالعاتی مانند مدیریت، محیط زیست و بهداشت که در آنها چندین متغیر با میزان تاثیر گذاری متفاوت ایفای نقش می کنند، افزایش یافته است (Saaty, 2008; Golden et al., 1989; Liu, 2004). قابلیت این روش در مدیریت منابع آب نیز به اثبات رسیده است (Srdjevic & Medeiros, 2008; Wang, 2009; Greaves, 2011). مقایسه قابلیت این روش با روشهای متداول دیگر مانند روش فازی و تحلیل SWOT^۳، از زمینه های تحقیقاتی اخیر است (Ishizaka & Labib, 2011). آناگنوستوپولوس و همکاران، با استفاده از مدل AHP به اولویت بندی مدل های مدیریت منابع آب رودخانه نستوس^۴ دریونان پرداخته و نتیجه گرفته اند که مدل AHP نسبت به مدل PROMETHEE نتایج قابل قبول تری ارائه می نماید (Anagnostopoulos et al., 2005). در این تحقیق، از روش سلسله مراتبی برای وزن دهی به عوامل موثر و تعیین مناسبترین گزینه احداث سد زیرزمینی در دشت قره بوته زنجان، استفاده شده است. این روش یکی از جامع ترین سیستم های طراحی شده برای تصمیم گیری با معیارهای چندگانه است، بطوریکه در این روش افزون بر امکان فرموله کردن مساله به صورت سلسله مراتبی، امکان در نظر گرفتن معیارهای کمی و کیفی درباره موضوع مورد نظر نیز وجود دارد (Saaty and Vargas, 2001). همچنین از روش وزن دهی به عوامل که شیوه مرسوم در مطالعات چند پارامتری به حساب می آید، به منظور کنترل و مقایسه نتایج نهایی استفاده شده است.

ساخت سدهای زیرزمینی، یکی از گزینه های مطلوب استفاده از منابع آب موجود در مناطق کم آب به حساب می آید (FAO & IFAD, 2012). این نوع سدها، به دلیل تنوع، مکانیزم و عملکرد، می توانند نقش قابل توجهی در حفظ و بهره برداری بهینه از منابع آب زیرزمینی ایفا نمایند. استفاده مناسب از شرایط محیطی، کاهش میزان تبخیر آب، اثرات اندک محیط زیستی و اقتصادی بودن احداث سدهای زیرزمینی، از مهم ترین امتیازات این نوع سدها نسبت به سدهای روزمینی به شمار می رود (Hansson and Nilsson, 1986). سابقه احداث این نوع سدها در مناطق نیمه خشک در جنوب غرب آمریکا و شمال مکزیک به قرن هیجدهم می رسد و قدیمی ترین سد زیرزمینی در آفریقا در سال ۱۹۱۲ در دودوما در تانزانیا ساخته شده است (Bancy, 2006). در ایران نیز یکی از قدیمی ترین سدهای زیرزمینی جهان در میمه اصفهان و در نزدیکی کاشان، در زمان صفویه احداث شده است (گلزارپور، ۱۳۹۳). با کاهش ذخایر آبهای زیرزمینی، توجه جدی تری به احداث این نوع سدها شده است که از جمله می توان به احداث یک سد در کهنوج کرمان در سال ۱۳۷۰ اشاره نمود. همچنین مطالعاتی نیز برای احداث سدهایی در ماکو، یزد، دامغان، اردبیل، فارس، سنگانه در خراسان، مشق در آذربایجان و ماست بندی در اردستان انجام شده که تعدادی از آنها در حال اجرا است (Barkhordari, 2015).

هرچند که احداث سدهای زیرزمینی در مقایسه با سدهای روزمینی از پیچیدگی کمتری برخوردار است، ولی شناسایی و تعیین محل مناسب برای احداث ساختگاه این نوع سدها بدلیل زیرزمینی بودن سازه آن، اهمیت بیشتری نسبت به سدهای زیرزمینی دارد. در چند دهه گذشته، مطالعات زیادی برای شناسایی مناسبترین مکان برای احداث این نوع سدها انجام شده است. در پاره ای از این مطالعات، مخروط افکنه ها، دره های مدفون، دره ها و مسیله ها، به عنوان مکانهای مناسب برای احداث سدهای زیرزمینی معرفی شده اند (Ishida et al., 2003). در پاره ای از مناطق، ذخیره آب در یک سفره زیرزمینی آهکی مورد مطالعه قرار گرفته و با

³Strengths, weaknesses, Opportunities and Threats

⁴Nestos River

۲. موقعیت جغرافیایی و ویژگیهای زمین شناسی محدوده طرح

حوضه قره‌بوته در استان زنجان و شهرستان ایجرود، در محدوده $47^{\circ} 55'$ تا $48^{\circ} 3'$ طول شرقی و $36^{\circ} 19'$ تا $36^{\circ} 27'$ عرض شمالی قرار گرفته است. راه دسترسی به این محل از کیلومتر ۷۵ جاده زنجان- بیجار و سپس حدود ۱۳ کیلومتر از طریق جاده فرعی به سمت شمال است (شکل ۱). رژیم بارندگی منطقه از نوع مدیترانه ای است که حداکثر بارندگی فصلی آن در بهار روی داده که ۱۴۲ میلی-متر و معادل $36/5$ درصد از بارندگی سالانه است (جدول

جدول ۱: خلاصه ویژگیهای آب‌وهوایی استان زنجان در بازه زمانی ۱۳۸۵-۱۳۷۵ مربوط به ایستگاه هواشناسی فرودگاه زنجان

(سازمان هواشناسی استان زنجان، ۱۳۹۳)

متوسط روزهای یخبندان	جهت وزش باد غالب	متوسط رطوبت نسبی (%)	متوسط بارندگی سالیانه (mm)	حداکثر، حداقل و متوسط درجه حرارت (سانتیگراد)
۱۲۲	شمال‌غربی-جنوب شرق	۴۳-۷۰	۳۴۱	۳۹ -۲۶/۶ -۱۱/۸

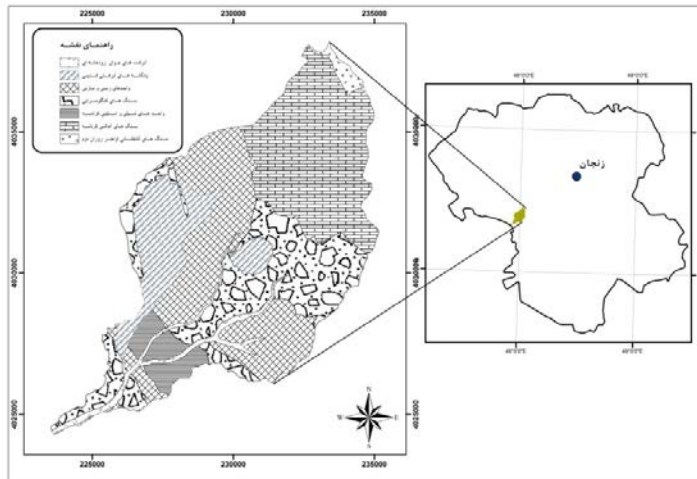
شده، یکی از اساسی‌ترین بخشهای مطالعات این سازه‌ها به حساب می‌آید (Opricovic, 2011). در مطالعه حاضر و در بررسیهای اولیه، ۱۳ نقطه محل برای احداث سد زیرزمینی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شده است (شکل ۲). انتخاب این محلها، در مرحله اول، تنها براساس شرایط ریخت‌شناسی بوده است. در بازدیدهای صحرایی، موقعیت این محل‌ها، از نظر ویژگیهای زمین شناسی و عوامل موثر دیگر نظیر حجم مخزن و راه دسترسی، مورد بررسی و شناسایی بیشتر قرار گرفته است. نتایج این مطالعات، علاوه بر شناسایی موقعیت دقیق گزینه‌ها، به تعیین مهمترین عوامل تاثیرگذار در موفقیت اجرای طرح احداث سد زیرزمینی، شده است. این عوامل عبارتند از:

از نظر زمین شناسی، این منطقه در زون ایران مرکزی قرار گرفته و ویژگی‌های ریخت شناسی عمومی آن دارای ویژگیهای این ناحیه ساختاری است. زون ایران مرکزی، بصورت نسبتاً مثلث مانند در بخش میانی کشور ایران به طوری قرار گرفته است که یک گوشه آن به آذربایجان منتهی می‌شود. تشکیلات آتشفشانی-رسوبی و آتشفشانی دوران سوم، به خصوص زمان ائوسن در ایران مرکزی، گسل‌های مختلف، چین خوردگی‌ها و روراندهای در هم، از مشخصات اساسی پهنه ایران مرکزی محسوب می‌شود (بربریان، ۱۳۶۲). تپه ماهورهایی از طبقات دوره میوسن با لایه های از سنگ آهک ماسه‌ای، مارنهای گچ‌دار، ماسه سنگ، کنگلومرا، مارن و سیلت‌های گچ و نمک دار اواخر پلیوسن، مهمترین واحدهای زمین شناسی این محدوده به حساب می‌آیند.

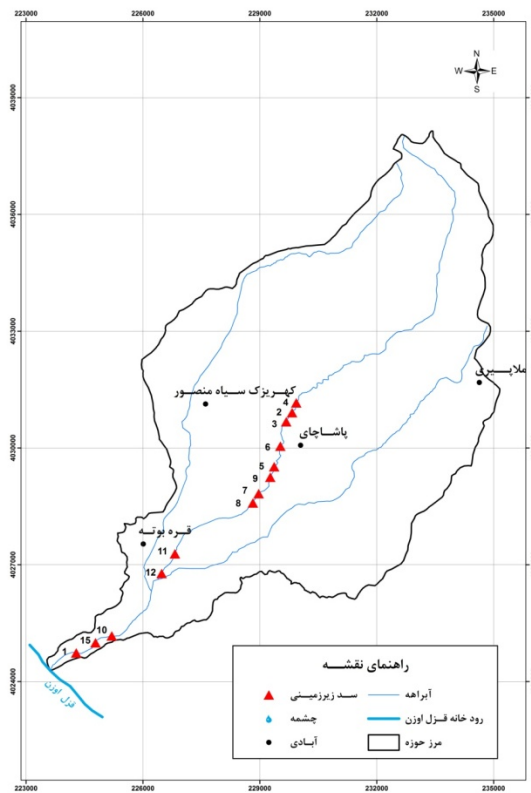
۳. شناسایی گزینه ها و عوامل موثر بر احداث سد

زیرزمینی

تعیین مهمترین عوامل موثر در انتخاب مناسب‌ترین گزینه احداث سد زیرزمینی و اولویت بندی گزینه‌های شناسایی



شکل ۱: نقشه زمین شناسی منطقه (اقتباس از نقشه های زمین شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰۰۰ زنگان، سازمان زمین شناسی کشور، باتغییر)



شکل ۲: جانمایی گزینه های پیشنهادی سد زیرزمینی

۳-۱ کیفیت آب

عرض آبراهه یکی از عواملی است که اولویت احداث سد زیرزمینی را تعیین می‌کند. همانند ساختگاه سدهای روزمینی، کم بودن عرض ساختگاه نقش قابل ملاحظه‌ای در کاهش هزینه‌های اجرایی دارد. از نظر اقتصادی، مناسب‌ترین محل، نقاطی است که بصورت یک تنگه باریک بوده و تاج سد کمترین عرض را داشته باشد.

۳-۲ زاویه قرارگیری گسل نسبت به امتداد رودخانه

شناسایی گسلها و شکستگیهای زمین شناسی، اهمیت قابل ملاحظه‌ای در انتخاب یک ساختگاه دارد. وجود گسلهای زیاد در محدوده مورد مطالعه، لزوم توجه به اثر گسلها در ساختگاه را ضروری ساخته است. از جمله گسل‌های اصلی در این منطقه می‌توان به گسل ماهنشان، آبچکان و حلب اشاره نمود. گسلها و شکستگیهای فرعی نیز در منطقه وجود دارند که در جهات مختلف نسبت به آبراهه‌های محدوده مطالعاتی قرار گرفته‌اند. این جهت‌یافتگی، تاثیر مستقیمی بر ساختگاه می‌تواند داشته باشد. اگر امتداد گسل یا ناپیوستگی، موازی با امتداد آبراهه باشد، می‌تواند موجب بروز مشکلاتی نظیر فرار آب از مخزن شود. ولی اگر متقاطع با امتداد آبراهه قرارگیرد، احتمال بروز این مشکلات کمتر خواهد شد. بهترین حالت، عمود بودن امتداد ناپیوستگی و یا گسل بر امتداد محور آبراهه است.

۴. روش تحقیق

دو روش برای اولویت‌بندی گزینه‌های احداث سد زیرزمینی در دشت قره‌بوته استفاده شده‌است. روش اول استفاده از تحلیل سلسله مراتبی و روش دوم استفاده از وزن‌دهی به عوامل مؤثر در انتخاب بهترین گزینه ساختگاه است.

۴-۱ روش تحلیل سلسله مراتبی

در این روش، تعدادی معیاروزیرمعیار به عنوان مهمترین عوامل مؤثر در اولویت بندی گزینه‌های احداث سد زیرزمینی انتخاب شده و به کمک AHP مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌است که شامل مراحل اصلی زیر است:

الف) تولید ماتریس مقایسه دوتایی: یک مقیاس اساسی را با مقادیری از ۱ تا ۹ برای تعیین میزان اولویتهای نسبی دو معیار به کار می‌گیرد. جدول ۲ میزان اهمیت معیارها براساس ماتریس مقایسه دو تایی را نشان می‌دهد.

مقدار نمکهای محلول در آب و میزان شوری یکی از مهمترین عوامل تعیین محل ساختگاه سد زیرزمینی است. هدف از ذخیره آب در منطقه بیشتر برای مقاصد کشاورزی تعریف شده و مقدار شوری کمتر از $3000 \mu\text{mohs/cm}$ قابل قبول است. اما هر چه قدر شوری آب کمتر باشد می‌توان گونه‌های زراعی بیشتری را جهت زراعت انتخاب نمود.

۳-۲ گنجایش مخزن

حجم مخزن، یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده ساختگاه سد زیرزمینی که به عواملی نظیر عرض دره، شیب دره و ضخامت رسوبات بالادست و ارتفاع دیواره سد دارد. بنابراین، هر چه مخزن دارای ظرفیت آبرگیری بیشتری باشد، گزینه انتخابی مناسب‌تری است.

۳-۳ جنس سنگ بستر و تکیه گاه ها

همانند سدهای روزمینی، جنس و نوع سنگهای ساختگاه، تاثیر قابل ملاحظه‌ای در انتخاب یک محل برای احداث سد زیرزمینی دارد. منطقه مورد مطالعه، دارای تنوع نسبتاً زیاد از نظر نوع سنگهای آن و شامل مارن و رس، کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مناطق گچی و نمکی در داخل رسوبات دوران سوم است. از این بین در وهله اول، رسوبات رسی و مارنی و سپس ماسه سنگ و کنگلومرا می‌تواند برای احداث سد زیرزمینی مناسب باشد. در حالیکه، رسوبات گچی و نمکی به دلیل انحلال پذیری و کاهش کیفیت آب، گزینه مناسبی برای احداث سد زیرزمینی نیستند.

۳-۴ عمق سنگ بستر

هرچه رسوبات مخزن ضخامت بیشتری داشته‌باشند، ظرفیت آن بیشتر بوده و یک امتیاز برای ساختگاه محسوب می‌شود. اجرا و ساخت سد زیرزمینی در دره‌هایی که عمق کمتری دارند ساده‌تر از دره‌های با عمق بیشتر و عرض کم است. اجرای سد زیرزمینی در محل‌هایی با عمق سنگ‌بستر بیشتر از $3/5$ و کمتر از 20 متر توصیه شده است (معاونت برنامه‌ریزی، ۱۳۹۳).

۳-۵ طول تاج سد

ماتریس مقایسه دوتایی، سپس ضرب نمودن دومین معیار در دومین ستون و الخ، سرانجام جمع نمودن این مقادیر در سطرها و ۲) تعیین بردار توافق به وسیله تقسیم بردار وزنی بر وزنهای معیار که قبلاً تعیین شده‌اند.

ب) محاسبه وزنهای معیار: این مرحله شامل: ۱) جمع کردن مقادیر هرستون ماتریس مقایسه دوتایی؛ ۲) تقسیم هر مولفه ماتریس بر مجموع ستون مربوط به آن و ۳) محاسبه میانگین مولفه‌ها در هر ردیف از ماتریس نرمال شده.

ج) تخمین نسبت توافق: که شامل: ۱) تعیین بردار مجموع وزنی بوسیله ضرب کردن وزن اولین معیار در اولین ستون

جدول ۲: جدول تناسب ۹ کمیت ساعتی، برای مقایسه دو دویی (Bowen, 1990)

ارزش	تناسب پارامتر
۱	پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت یکسانی دارد.
۳	پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت متوسطی دارد.
۵	پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت زیادی دارد.
۷	پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت نسبتاً زیادی دارد.
۹	پارامتر A در مقایسه با پارامتر B اهمیت خیلی زیادی دارد.
۲،۴،۶،۸	ارزش های مابینی

در این روش به منظور استانداردسازی نقشه‌های تحلیل سلسله مراتبی، ابتدا تک تک معیارهای مورد بررسی، مقایسه شده و میزان اهمیت نسبی هر جفت نسبت، با توجه به امتیازبندی جدول ۱ تعیین و در یک ماتریس وارد می‌گردد. پس از آن، وزنها و نسبت توافق (CR) محاسبه می‌شود. چنانچه $CR < 0.1$ باشد، مقایسه‌ها قابل قبول و وزنهای محاسبه شده استخراج می‌گردند. در صورتیکه $CR \geq 0.1$ باشد، با اعمال تغییراتی در ماتریس مقایسه دوتایی، برای حد قابل قبول تنظیم می‌گردد. به منظور تهیه یک مدل در تحلیل سلسله مراتبی، مراحل زیر انجام می‌شود:

۴-۱-۱ ساختن سلسله مراتب

هر تصمیم‌گیری در این نرم افزار با یک مدل در قالب یک سلسله مراتبی یا درختی آغاز می‌شود. ساده‌ترین حالت، یک سلسله مراتبی با دو سطح یعنی معرفی معیارها و گزینه‌ها است. هر یک از معیارها می‌توانند به زیر معیارها تقسیم شوند. در شکل ۳ نمونه‌ای از یک ساختار درختی سلسله-مراتبی به صورت فرضی ارائه شده است.

روش‌های وزن‌دهی افزودنی ساده (Simple Additive Weighting Model) از متداول‌ترین فنون در تصمیم‌گیری چند معیار هم‌کافی هستند. این روش بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است. تصمیم‌گیرنده بطور مستقیم بر مبنای اهمیت نسبی هر معیار مورد بررسی، وزنهایی به معیارها می‌دهد. سپس با ضرب کردن وزن نسبی در مقدار آن پارامتر، یک مقدار نهایی برای هر گزینه بدست می‌آید. گزینه‌هایی که بیشترین مقدار را داشته باشند، مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر خواهند بود. مقدار هر گزینه به وسیله‌ی رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$A_i = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (1)$$

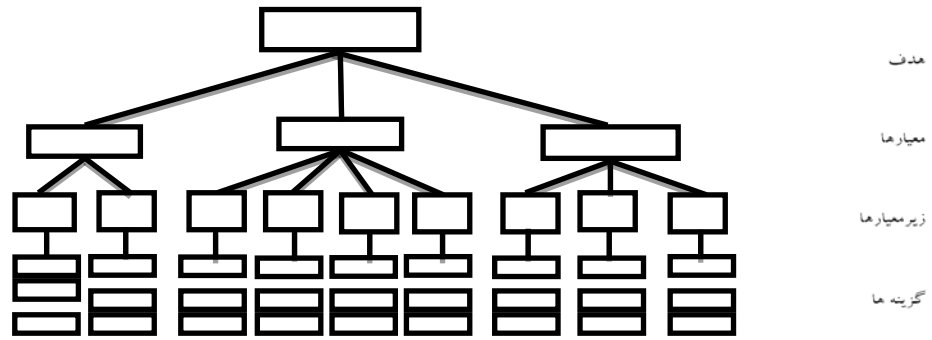
وزن شاخص W_j ، A_i : مقدار که مکان A_i به خود پذیرفته است. به عبارت دیگر این مقدار می‌تواند بیانگر درجه مناسب بودن مکان در ارتباط با شاخص A_i باشد، N : تعداد کل شاخص‌ها، A_i : مقدار است که در نهایت به مکان A_i تعلق می‌گیرد به گونه‌ای که جمع جبری وزنهایی محاسبه شده هر معیار برابر یک شود.

استفاده شده‌است. این نرم افزار ویژه محاسبات فازی و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره طراحی شده‌است. اولین نسخه این نرم‌افزار، سال ۲۰۰۴ توسط یک شرکت امریکایی عرضه شده‌است (Expertchoice.com) و دارای چند قابلیت از جمله اولویت تصمیم‌گیری و محاسبه وزنهای نهایی و آنالیز حساسیت است. در این تحقیق میان ۶ عامل، ۵۴ مورد مقایسه دوتایی صورت گرفته و وزن نهایی عوامل بر حسب اولویت آنها محاسبه شده‌است. نسبت توافق برای داده‌های این تحقیق بسیار کمتر از ۰/۱ و در حد ۰/۰۲ به-دست آمده که قابل قبول است.

تکنیک AHP برای هر یک از اجزای درخت اعم از اینکه گزینه باشند یا معیار، امتیازی را بدست می‌آورد. به هرکدام از اجزای این درخت، چه گزینه‌ها و چه معیارها و زیر معیارها در اصطلاح آیتم (Item) گفته می‌شود. در روش AHP برای هر یک از گزینه‌ها یک امتیاز به‌دست‌آورده و رتبه‌بندی می‌شوند. گزینه‌ای که بیشترین امتیاز را کسب کرده‌باشد بهترین گزینه برای انتخاب شدن است. در جدول ۳ معیارها و زیرمعیارهای موردبررسی، ارائه شده است. در مطالعه حاضر از نرم‌افزار اکسپرت‌چویس به منظور تحلیل و نتیجه‌گیری در فرآیند تحلیل سلسله مراتبی،

جدول ۳: معیار و زیرمعیارهای مورد بررسی در روش تحلیل سلسله مراتبی

ردیف	معیار	زیرمعیار
۱	کیفیت آب (μmohs/cm)	۱۰۰۰-۲۰۰۰ ۲۰۰۰-۳۰۰۰ ۳۰۰۰-۴۰۰۰ بیش از ۴۰۰۰
۲	گنجایش مخزن (متر مکعب)	کمتر از ۱۰۰۰۰۰ ۱۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰ ۵۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰ بیش از ۱۰۰۰۰۰۰
۳	جنس سنگهای ساختمانی و سنگ بستر	رس و مارن ماسه سنگ کنگلوئرها گچ و نمک
۴	عمق سنگ بستر (متر)	۰-۱۰ ۱۰-۲۰ ۲۰-۳۰ بالاتر از ۳۰
۵	عرض آبراهه یا طول تاج سد (متر)	۰-۵۰ ۵۰-۱۰۰ ۱۰۰-۱۵۰ ۱۵۰-۲۰۰ بیش از ۲۰۰
۶	وضعیت گسلها و شکستگیها و زاویه قرار گیری آنها نسبت به محور آبراهه	غیر مرتبط با گسل مقاطع با امتداد گسل موازی با امتداد گسل



شکل ۳: ساختار یک مدل در نرم افزار اکسپرت چویس

۴-۱-۲- انجام مقایسات دو دویی (زوجی)

برای تعیین ضریب اهمیت شاخص‌ها، روش‌های مختلفی وجود دارد که معمول‌ترین آنها، مقایسه دو دویی است. این مقایسه به دو روش انجام می‌شود. در روش اول، مقایسه دو دویی فقط توسط یک نفر انجام می‌گیرد و معیارها دو به دو با یکدیگر مقایسه می‌شوند و درجه اهمیت هریک از آنها نسبت به دیگری مشخص می‌شود که به آنها وزن نسبی گفته می‌شود (Bowen, 1990). با تلفیق وزنهای نسبی، وزن نهایی هرگزینه مشخص می‌شود. در روش دوم، نظر تمامی تصمیم‌گیرندگان درمورد مقایسه زوجی شاخصها، معیارها و زیر معیارها در نظر گرفته شده و توسط نرم‌افزار، این نظرات ترکیب و وزن هرکدام از آنها که حاصل نظرات تمامی افراد است، بدست می‌آید. در این مقاله از روش اول، استفاده شده است. در این روش به هر مقایسه دو دویی، یک عدد از ۱ تا ۹ اختصاص داده می‌شود و تصمیم‌گیرنده از قضاوت‌های شفاهی استفاده می‌کند. اگر اهمیت عنصر A بر B برابر N باشد، اهمیت عنصر B بر A برابر $\frac{1}{N}$ خواهد بود.

پس از تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها، ضریب اهمیت گزینه‌ها تعیین می‌شود. در این مرحله ارجحیت هر یک از گزینه‌ها، در ارتباط با معیارها و زیر معیارها مورد داوری و قضاوت قرار گرفته است. فرایند به‌دست آوردن ضریب اهمیت هریک از گزینه‌ها نسبت به معیارها، مانند تعیین ضریب اهمیت معیارها نسبت به هدف است. در هر دو حالت، قضاوت‌ها بر مبنای مقایسه دو دویی معیارها و بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی صورت پذیرفته و ماتریس مقایسه دو دویی معیارها ثبت شده‌اند. از طریق نرم‌الیزه

کردن ردیف این ماتریس‌ها، ضرایب مورد نظر به‌دست آمده است. در میان معیارهای انتخاب شده، معیار جنس سنگهای ساختمانی و سنگ بستر از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و بیشترین وزن را به خود اختصاص داده است و سایر معیارها در رده های بعدی قرار گرفته‌اند (جدول ۴).

۴-۱-۳- بررسی سازگاری در قضاوت‌ها

یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، تعیین امکان برای سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است که با استفاده از ضریبی به نام ضریب ناسازگاری ۵ معرفی می‌شود که در عمل باید کمتر از ۰/۱ باشد (جدول ۵). استفاده از این ضریب به تجزیه و تحلیل تصمیم قبل از اتخاذ تصمیم‌نهایی کمک می‌کند (خورشیددوست و عادل، ۱۳۸۸). اگر نرخ ناسازگاری کوچکتر یا مساوی ۰/۱ باشد، سازگاری سیستم قابل قبول است و اگر بیشتر از ۰/۱ باشد بهتر است تصمیم‌گیرنده در قضاوت‌های خود تجدید نظر کند

جدول ۴: مقایسه زوجی معیارها (ناسازگاری کمتر از ۰/۰۲)

معیارها	جنس سنگهای ساختمانی	گنجایش مخزن	عمق سنگ بستر	طول تاج سد	زاویه قرار گیری گسلها نسبت به محور آبراهه	کیفیت آب	وزن نهایی
جنس سنگهای ساختمانی و سنگ بستر	-	۲	۳	۳	۳	۳	۰/۳۵۰
گنجایش مخزن	-	-	۲	۳	۳	۲	۰/۲۳۱
عمق سنگ بستر	-	-	-	۲	۲	۲	۰/۱۵۰
عرض آبراهه یا طول تاج سد	-	-	-	-	۱	۱	۰/۱۰۰
زاویه قرار گیری گسلها نسبت به محور آبراهه	-	-	-	-	-	۱	۰/۰۹۴
کیفیت آب	-	-	-	-	-	-	۰/۰۷۵

۴-۱-۴- تعیین وزن نهایی گزینه‌ها

بعد از مقایسه زوجی و محاسبه وزن های نسبی گزینه ها و معیارها، لازم است تا وزن نهایی هرگزینه محاسبه گردد. وزن نهایی معیارها توسط نرم افزار ExpertChoice محاسبه شده‌است. وزن نرمال زیر معیارها، از ضرب کردن وزن نهایی محاسبه شده معیارها، در مقدار وزن اولیه زیر معیارها بدست می‌آید. در نهایت تعیین میزان اهمیت یا ارجحیت هر یک از عوامل، بر اساس وزن نهایی معیارها و وزن نرمال زیرمعیارها، انجام می‌گیرد (جدول ۶). پس از مشخص کردن وزن نهایی و نرمال معیارها و زیر معیارها، اولویت بندی نهایی توسط نرم افزار Expert Choice انجام گرفته- است (جدول ۷). براساس محاسبات انجام شده، اولین اولویت به دست آمده با روش AHP مربوط به گزینه شماره ۱۳ و آخرین اولویت مربوط به گزینه های شماره ۹، ۱۰ و ۱۲ با یک درجه (۰/۰۵۵) اهمیت است. ضریب وزنی اولویت اول برابر ۰/۱۲۳ و این مقدار برای اولویت های آخر برابر ۰/۰۵۵ است.

۴-۲- روش وزن دهی

در مطالعه حاضر، به منظور مقایسه نتایج روش AHP به کار رفته با نتایج شیوه‌های مرسوم این نوع مطالعات، از روش وزن‌دهی به عوامل موثر و اولویت‌بندی گزینه‌های پیشنهادی سد زیرزمینی استفاده شده‌است. در این روش، عوامل اصلی تاثیر گذار مشخص شده و سپس به تناسب اهمیت هر یک از آنها وزن‌دهی می‌شوند (جدول ۶).

۴-۲- روش وزن دهی

در مطالعه حاضر، به منظور مقایسه نتایج روش AHP به کار رفته با نتایج شیوه‌های مرسوم این نوع مطالعات، از روش وزن‌دهی به عوامل موثر و اولویت‌بندی گزینه های پیشنهادی سد زیرزمینی استفاده شده‌است. در روش وزن-دهی، عوامل اصلی تاثیر گذار مشخص شده و سپس به تناسب اهمیت هر یک از آنها وزن‌دهی می‌شوند که وزن هریک از عوامل با حرف W نشان داده شده‌است. هر یک از عوامل اصلی دارای زیر عامل های متناسب با خود هستند که به آنها نیز امتیاز داده می‌شود. امتیاز زیر عامل‌ها، نرخ گفته‌شده و با R نشان داده می‌شود. برای نرخ‌ها در بازه‌های مختلف و به تناسب اهمیت امتیاز تعلق می‌گیرد که امتیاز بالاتر دارای اهمیت بیشتری است. مجموع وزن‌ها در یک ستون و مجموع امتیاز نرخها در مجموع اوزان برای هریک از گزینه‌ها نیز در ستون بعدی محاسبه شده‌است. مجموع کل نرخها از ضرب مجموع اوزان در وزن عامل تعیین شده و وزن هر یک از گزینه ها بدست می‌آید (جدول ۷). شاخص ارزش (Value Index) هر گزینه بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود.

$$VIVI = \frac{\sum Ri \cdot Wi}{\sum Wi} \quad (1)$$

گزینه ۵ اولین اولویت و گزینه ۱۱ در رده آخرین اولویت قرار گرفته است. سایر گزینه‌ها به تناسب شاخص‌های به-دست‌آمده، در داخل رده‌بندی جای گرفته‌اند. ضریب وزنی اولین اولویت برابر ۷/۷ و آخرین اولویت برابر ۲/۷ با نسبت ۲/۸۵ است.

که در آن $\sum Ri$ مجموع نرخ‌ها و $\sum Wi$ مجموع وزن عوامل را مشخص می‌نماید. VI نیز بیانگر شاخص ارزش نهایی است (جدول ۸). اگر شاخص ارزش نهایی به دست آمده به ترتیب نزولی بررسی شوند، اولویت‌بندی گزینه به روش وزن‌دهی به دست می‌آید (جدول ۹). براساس این روش

جدول ۵: مقادیر ناسازگاری نسبی (Dey and Ramcharan, 2008)

۱۵	۱۴	۱۳	۱۲	۱۱	۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	N
۱/۵۹	۱/۵۷	۱/۵۶	۱/۴۸	۱/۵۱	۱/۴۹	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۲	۱/۲۴	۱/۱۲	۰/۹	۰/۵۸	۰	IR

جدول ۶: وزن نهایی معیارها و وزن اولیه و نرمال زیرمعیارهای آنها

معیار	وزن نهایی	زیرمعیار	وزن اولیه	وزن نرمال		
جنس سنگهای ساختگاه و سنگ بستر	۰/۳۵۰	رس و مارن	۰/۵۲۸	۰/۱۸۵		
		ماسه سنگ	۰/۲۷۱	۰/۰۹۵		
		کنگولمر	۰/۱۴۹	۰/۰۵۲		
		گچ و نمک	۰/۰۵۳	۰/۰۱۹		
گنجایش مخزن	۰/۲۳۱	>۱۰۰۰۰۰	۰/۵۲۳	۰/۱۲۱		
		۵۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰	۰/۲۶۱	۰/۰۶۰		
		۱۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰	۰/۱۲۶	۰/۰۲۹		
		<۱۰۰۰۰۰	۰/۰۸۹	۰/۰۲۱		
عمق سنگ بستر	۰/۱۵۰	۳-۱۰	۰/۴۴۲	۰/۰۶۶		
		۱۰-۲۰	۰/۳۲۶	۰/۰۴۹		
		۲۰-۳۰	۰/۱۵۵	۰/۰۲۳		
		>۳۰	۰/۰۷۷	۰/۰۱۲		
عرض آبراهه یا طول تاج سد	۰/۱۰۰	۰-۵۰	۰/۳۳۱	۰/۰۳۳		
		۵۰-۱۰۰	۰/۲۷۲	۰/۰۲۷		
		۱۰۰-۱۵۰	۰/۲۰۱	۰/۰۲۰		
		۱۵۰-۲۰۰	۰/۱۲۲	۰/۰۱۲		
>۲۰۰	۰/۰۷۴		۰/۰۷۴	۰/۰۰۷		
		زاویه قرار گیری گسلها نسبت به محور آبراهه	۰/۰۹۴	غیر مرتبط با گسل	۰/۵۴۰	۰/۰۵۱
				متقاطع با امتداد گسل	۰/۲۹۷	۰/۰۲۸
				موازی با امتداد گسل	۰/۱۶۳	۰/۰۱۵
کیفیت آب	۰/۰۷۵	< ۱۰۰۰	۰/۴۱۵	۰/۰۳۱		
		۱۰۰۰-۲۰۰۰	۰/۲۶۱	۰/۰۲۰		
		۲۰۰۰-۳۰۰۰	۰/۱۵۹	۰/۰۱۲		
		۳۰۰۰-۴۰۰۰	۰/۱۰۷	۰/۰۰۸		
>۴۰۰۰	۰/۰۵۷	۰/۰۰۴				

جدول ۷: عوامل اصلی تاثیرگذار در اولویت بندی تعیین ساختگاه سد زیرزمینی

امتیاز	نرخ (Rate)	وزن (Weight)	عوامل اصلی
۱۰	< ۱۰۰۰	۱	کیفیت آب ($\mu\text{mohs/cm}$)
۸	۱۰۰۰-۲۰۰۰		
۶	۲۰۰۰-۳۰۰۰		
۴	۳۰۰۰-۴۰۰۰		
۲	> ۴۰۰۰		
۲/۵	< ۱۰۰۰۰۰	۳	گنجایش مخزن (متر مکعب)
۵	۱۰۰۰۰۰-۵۰۰۰۰۰		
۷/۵	۵۰۰۰۰۰-۱۰۰۰۰۰۰		
۱۰	> ۱۰۰۰۰۰۰		
۱۰	مارن-رس	۳	جنس سنگ بستر و تکیه گاه ها
۷/۵	ماسه سنگ		
۵	کنگلوмера		
۲/۵	گچ و نمک (تبخیری)		
۱۰	۳-۱۰	۲	عمق سنگ بستر (متر)
۷/۵	۱۰-۲۰		
۵	۲۰-۳۰		
۲/۵	> ۳۰		
۱۰	۰-۵۰	۱	طول تاج سد (متر)
۸	۵۰-۱۰۰		
۶	۱۰۰-۱۵۰		
۴	۱۵۰-۲۰۰		
۲	> ۲۰۰		
۱۰	بدون گسل	۱	زاویه قرارگیری گسل نسبت به امتداد رودخانه
۶	مورب		

جدول ۸: اطلاعات مربوط به وزن دهی گزینه های پیشنهادی سد زیرزمینی

V.I	ΣRi:Wi	ΣWi	نوع عامل و نرخ مربوطه						شماره گزینه	
			زاویه امتداد گسل با رودخانه	عمق سنگ بستر (m)	طول تاج سد (m)	جنس سنگ بستر	گنجایش مخزن (m3)	EC (μmohs/cm)		
۵/۵	۶۰/۵	۱۱	موازی	۳	۴۵	کنگلو مرا	۴۰۰۰	۳۵۰	نرخ	۱
			۲	۸	۱۰	۵	۲/۵	۱۰	امتیاز	
۷/۲	۷۹/۵	۱۱	موازی	۴	۵۰	مارن	۱۶۰۰۰	۳۵۰	نرخ	۲
			۲	۱۰	۱۰	۱۰	۲/۵	۱۰	امتیاز	
۷	۷۷/۵	۱۱	موازی	۶	۹۰	مارن	۶۵۰۰۰	۳۸۰	نرخ	۳
			۲	۱۰	۸	۱۰	۲/۵	۱۰	امتیاز	
۶/۵	۷۲	۱۱	مورب	۱۵	۸۰	ماسه سنگ	۲۳۰۰۰۰	۴۴۰	نرخ	۴
			۶	۷/۵	۸	۵	۵	۱۰	امتیاز	
۷/۷	۸۵	۱۱	بدون گسل	۲۰	۲۵۰	کنگلو مرا، توف	۱۵۰۰۰۰۰	۵۷۰	نرخ	۵
			۱۰	۷/۵	۲	۵	۱۰	۱۰	امتیاز	
۴/۱	۴۵/۵	۱۱	مورب	۲۰	۱۸۰	کنگلو مرا، گچ	۱۸۰۰۰۰۰	۳۲۰۰	نرخ	۶
			۶	۷/۵	۴	۲/۵	۱۰	۴	امتیاز	
۵	۵۵/۵	۱۱	بدون گسل	۲۵	۱۵۰	ماسه سنگ، کنگلو مرا	۱۵۰۰۰۰۰	۳۷۰۰	نرخ	۷
			۱۰	۵	۴	۵	۱۰	۴	امتیاز	
۵	۵۵/۵	۱۱	بدون گسل	۲۵	۱۳۵	ماسه سنگ، کنگلو مرا	۱۳۰۰۰۰۰	۳۹۰۰	نرخ	۸
			۱۰	۵	۶	۵	۱۰	۴	امتیاز	
۴/۷	۵۲	۱۱	موازی	۳۰	۵۰	رس و مارن	۷۵۰۰۰۰	۴۲۰۰	نرخ	۹
			۲	۲/۵	۱۰	۷/۵	۷/۵	۲	امتیاز	
۲/۹	۳۲	۱۱	مورب	۳۰	۱۶۰	مارن، گچ	۲۴۰۰۰۰۰	۴۲۰۰	نرخ	۱۰
			۶	۲/۵	۴	۲/۵	۱۰	۲	امتیاز	
۲/۷	۳۰	۱۱	موازی	۳۰	۲۰۰	مارن، گچ، نمک	۳۰۰۰۰۰۰	۳۹۰۰	نرخ	۱۱
			۲	۲/۵	۴	۲/۵	۱۰	۴	امتیاز	
۴/۴	۴۸/۵	۱۱	موازی	۳۰	۱۸۰	مارن، گچ، نمک	۲۷۰۰۰۰۰	۳۸۰۰	نرخ	۱۲
			۲	۲/۵	۴	۲/۵	۱۰	۴	امتیاز	
۷/۱	۷۸/۵	۱۱	بدون گسل	۲۰	۱۳۵	مارن	۸۰۰۰۰۰	۳۶۰۰	نرخ	۱۳
			۱۰	۷/۵	۶	۱۰	۷/۵	۴	امتیاز	

جدول ۹: اولویت‌بندی نهایی گزینه‌های پیشنهادی سد زیرزمینی به روش AHP و روش وزن‌دهی

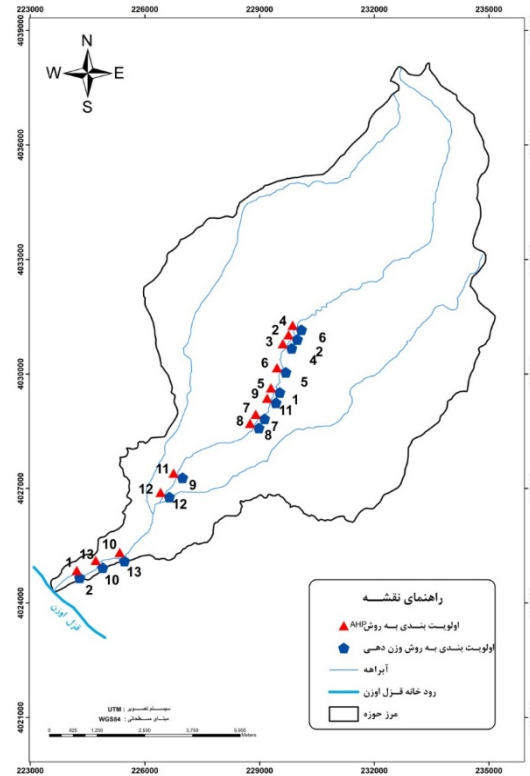
با روش وزن دهی		بر اساس روش AHP		اولویت
وزن نهایی گزینه	شماره گزینه	وزن نهایی گزینه	شماره گزینه	
۷/۷	۵	۰/۱۲۳	۱۳	۱
۷/۲	۲	۰/۱۱۸	۲	۲
۷/۱	۱۳	۰/۱۱۳	۳	۳
۷	۳	۰/۰۷۹	۱	۴
۶/۵	۴	۰/۰۷۹	۵	۵
۵/۵	۱	۰/۰۶۶	۴	۶
۵	۷	۰/۰۶۵	۷	۷
۵	۸	۰/۰۶۲	۸	۸
۴/۷	۹	۰/۰۵۹	۶	۹
۴/۴	۱۲	۰/۰۵۷	۱۱	۱۰
۴/۱	۶	۰/۰۵۵	۹	۱۱
۲/۹	۱۰	۰/۰۵۵	۱۰	۱۲
۲/۷	۱۱	۰/۰۵۵	۱۲	۱۳

آن یک ارزش کمی در نظر گرفته شده است. نتایج این روش از دقت کمتری برخوردار بوده و ممکن است با قضاوت‌های کارشناسی و واقعیت‌های موجود فاصله داشته باشد. از جمله این قضاوت‌ها می‌توان به تاثیرگذاری نوع لیتولوژی در نفوذپذیری، تاثیر درز و شکاف‌های تکتونیکی در مقاومت و آگذری سنگ‌های ساختگاه اشاره نمود. بطور مثال، سنگ پی مارنی هرچند که از نظر نفوذپذیری برای احداث سد زیرزمینی مناسب است ولی بدلیل تغییرات مکانیکی این سنگ در حضور آب، بر اساس قضاوت کارشناسی، گزینه مارنی از بین گزینه‌های دیگر امتیاز پایینی به خود اختصاص می‌دهد. از اینرو، روش AHP بدلیل مقایسه دو دویی عوامل، می‌تواند انطباق بیشتری با قضاوت کارشناسی داشته باشد. با در نظر گرفتن این موارد، روش وزن‌دهی می‌تواند به عنوان یک روش کمکی و تایید کننده در کنار روش AHP به کار گرفته شود.

۵. مقایسه نتایج اولویت بندی با روش AHP و وزن دهی
اولویت بندی گزینه های پیشنهادی سد زیرزمینی به روش تحلیل سلسله مراتبی توسط نرم افزار Expert Choice صورت گرفته است که بیشترین ضریب وزنی به دست آمده مطابق جدول ۴، برابر ۰/۱۲۳ و کمترین ضریب برابر ۰/۰۵۵ محاسبه شده است. در روش وزن دهی نیز شاخص ارزش (VI) محاسبه شده است و بیشترین شاخص ارزش، مطابق جدول ۸ برابر ۷/۷ و کمترین آن برابر ۲/۷ محاسبه شده است. با توجه به نسبت تقریباً مشابه بیشینه به کمینه ضرایب هر دوروش، به نظر می‌رسد که نتایج دوروش به کار گرفته شده انطباق مناسبی باهم دارند (شکل ۴).
در روش تحلیل سلسله مراتبی، معیارها به صورت مقایسه-ای و زوجی با هم سنجیده می‌شوند و تاثیرهای متقابلی بر روی هم می‌گذارند. به طور مثال کیفیت آب زیرزمینی می‌تواند تحت تاثیر لیتولوژی سنگ بستر قرارگیرد. همچنین عمق سنگ بستر می‌تواند از وضعیت و نوع گسل‌ها تاثیر پذیری داشته باشد. بنابراین، روش AHP یک روش تحلیلی دقیقی است که نتایج با واقعیات موجود انطباق بیشتری دارد. اما در روش وزن‌دهی هیچ‌گونه مقایسه زوجی از لحاظ ارجحیت صورت نگرفته و به تناسب اهمیت آن عامل، برای

این منطقه شناسایی شده است. از دو روش تحلیل سلسله مراتبی و روش وزن دهی، برای اولویت بندی گزینه های شناسایی شده، استفاده شده است. میزان تاثیر گذاری برخی از عوامل موثر می تواند متناسب با شرایط منطقه و هدف مطالعه، دارای وزن های متفاوت از آنچه که در این تحقیق تعریف شده، تغییر پیدا کند. به طور مثال اگر هدف از ذخیره آب، استفاده برای شرب و یا برای محصولات کشاورزی حساس به شوری آب باشد، عامل کیفیت آب از وزن و تاثیرگذاری بیشتری برخوردار خواهد شد. در مناطقی با لیتولوژی سنگ های سخت و دارای شکستگی و گسل های متعدد، اهمیت عامل گسل ها و شکستگیها بیشتر از آنچه که در این تحقیق به آن پرداخته شده، خواهد بود.

مطالعه حاضر نشان می دهد که با استفاده از روش های AHP و وزن دهی به عوامل و زیر عامل های آنها، امکان حصول به نتیجه مطلوب برای اولویت بندی گزینه های متعدد، به شکل مناسبی امکان پذیر است. در این بررسیها با استفاده از روش AHP، گزینه شماره ۱۳ مناسب ترین گزینه و گزینه های شماره ۹، ۱۰ و ۱۲ نامناسب ترین گزینه ها برای احداث سد زیرزمینی در این منطقه معرفی می شوند. با استفاده از روش وزن دهی، گزینه شماره ۵ مناسب ترین گزینه شماره ۱۱ نامناسب ترین گزینه برای احداث سد زیرزمینی در این منطقه معرفی می شوند. نتیجه قضاوت های کارشناسی نیز گزینه مذکور را به عنوان مناسب ترین محل مورد تایید قرار داده است. از اینرو، پیشنهاد می شود که اولین اولویت، یعنی همان گزینه شماره ۱۳، که در روش AHP به عنوان اولین اولویت تعیین شده است، به عنوان ساختگاه سد زیرزمینی انتخاب گردد. سایر گزینه ها با استفاده از هر دو روش، به ترتیب اولویت در نقشه نهایی معرفی شده اند.



شکل ۴: جانمایی و اولویت بندی گزینه های پیشنهادی

احداث سد زیرزمینی با استفاده از روش های AHP و وزن دهی

۶. نتیجه گیری

مطالعه حاضر به منظور شناسایی گزینه های مناسب احداث سد زیرزمینی در منطقه ایجرود استان زنجان به انجام رسیده است. بررسیهای صحرایی و شرایط ریخت شناسی و اقلیمی حوزه آبخیز قره بوته، نشان می دهد که این منطقه دارای استعداد قابل توجهی برای احداث سد زیرزمینی در منطقه ایجرود استان زنجان است. از اینرو، مکان یابی محل احداث سد زیرزمینی در این دشت به عنوان نخستین دشت استان زنجان، به انجام رسیده است. در مطالعه حاضر ابتدا با استفاده از بررسیهای اولیه ریخت شناسی، ۱۳ گزینه برای احداث سد زیرزمینی در دشت سیلابی قره بوته ایجرود شناسایی شده است. از بین عوامل متعدد تاثیر گذار بر احداث سد زیرزمینی، ۶ عامل جنس واحدهای زمین شناسی، گنجایش مخزن، ضخامت رسوبات در محل ساختگاه، زاویه قرار گیری گسلها نسبت به امتداد آبراهه، کیفیت آب و طول تاج سد، به عنوان مهمترین عوامل تاثیر گذار در انتخاب موقعیت مناسب احداث سد زیرزمینی در

مراجع

- بربریان، م.، ۱۳۶۲، شکل قاره‌ای فلات ایران زمین، گزارش پژوهش و بررسی لرزه زمین‌ساخت ایران زمین، بخش چهارم، سازمان زمین‌شناسی کشور، گزارش شماره ۵۲.
- سازمان هواشناسی استان زنگان، ۱۳۹۳، گزارش هواشناسی ۲۰ ساله اخیر استان زنگان (۱۳۷۰-۱۳۹۰)، سازمان هواشناسی، زنگان، ایران، ۴۷ ص.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۴۸، شرح نقشه زمین‌شناسی زنگان با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰. سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران.
- سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۷۸، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ چارگوش حلب، سازمان زمین‌شناسی ایران، تهران، ایران.
- گلزارپور، ز.، وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۹۳، گزارش مطالعات ژوتکنیک سدهای زیرزمینی در منطقه اصفهان، پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری ایران، ۴۴ ص.
- معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی ریاست جمهوری، ۱۳۹۳، ضوابط و معیارهای فنی طراحی و اجرای بندهای زیرزمینی، انتشارات سازمان برنامه و بودجه، تهران، ایران، ۱۰۶ ص.
- Anagnostopoulos, K.P., Petlas, C. and Pisinaras, V., 2005. Water resources planning using the AHP and ROMETHEE multicriteria methods: The case of Nestos river–Greece, The 7th Balkan Conference on Operational Research, 12 pages.
- Bancy, M. M., 2006. Overview of Water and soil Nutrient Management under Smallholder Rain-fed Agriculture in East Africa, International Water Management Institute.
- Barkhordari, J., 2015. The pre-selection of suitable sites for small underground dams in arid areas using GIS (A case study in Yazd_Ardakan watershed), International Geoinformatics Research and Development Journal, 6(1): pp: 18-27.
- Bowen, M., 1990. Subjective judgments and data environment analysis in site selection, Computer, Environment and Urban Systems, 14: 133-144.
- Dey, P. K., Ramcharan, E. K., 2008. Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry explosion in Barbados, Journal of Environmental Management, 88 (2): 1384-1395.
- FAO, WFP, IFAD, 2012. The State of Food Insecurity in the World 2012.
- Golden, B.L., Wasil E.A., Harker, P.T., 1989. The analytic hierarchy process: Applications and studies, Springer-Verlag, Berlin. <http://www.expertchoice.com/about-us/history/>.
- Giovanni, F., Marco, G., Caparrini, F., Fabio, C., 2008. A methodology for the pre-selection of suitable sites for surface and underground small dams in arid areas: a case study in the region of Kidal, Mali, Phys. Chem. Earth, 33: 74-85.
- Greaves, G.E., 2011. On water augmentation strategies for small island developing states: Case study of Bequia, St. Vincent, National Central University, Taiwan.
- Hansson, G., Nilsson, A., 1986. Groundwater dams for rural water supplies in developing countries. Groundwater, 24 (4): 497-506.
- Ishizaka, A., Labib, A., 2011. Review of the main developments in the analytic hierarchy process, Expert Systems with Applications, 38: 14336-14345.
- Liu R., 2004. Using system dynamics in decision support for sustainable waste management, National University of Singapore, Singapore.
- Opricovic, S., 2011. Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning. Expert Systems with Applications, 38 (10): 12983 – 12990.
- Paliska, D., Cop, R., Fabjan, D., 2010. The use of GIS-based spatial multi-criteria evaluation in the selection process for the New Slovenia geomagnetic observatory site. SITE. Annales Series Historia Naturalis, 20(1): 1-8.
- Saaty, T. L., 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. Int. J. Sci., 1 (1): 83-98.
- Saaty, T.L., Vargas, G.L., 2001. Models, Methods, Concepts, and Applications of the Analytic Hierarchy Process, Kluwer Academic Publisher, Boston.

-
- Satoshi I., Motoii K., Eiichi A., Fazal, M.A., Takeo T., Masayuki I., 2003. Construction of subsurface dams and their impact on the environment, *Materials Geoenvironment*, 50 (1): 1091-114.
- Srdjevic, B., Medeiros, Y.D.P., 2008. Fuzzy AHP assessment of water management plans, *Water Resources Management*, 22: 877-894.
- Telmer, K. and M. Best., 2004. Underground dams; a practical solution for the water needs of small communities in semi-arid regions, *scientific communications, TERRAE*, 1(1): 63-65.
- Wang, X., 2009. A proposal and application of the integrated benefit assessment model for urban water resources exploitation and utilization, *Water Resources Management*, 23: 1171-1182.