

## اولویت‌بندی گنبد‌های نمکی جنوب غرب هرمزگان برای دفن پسماندهای اتمی با تأکید بر حفاظت از حوزه آبخیز

رسول مهدوی<sup>۱\*</sup>، زینب بلوچ اکبری<sup>۲</sup>، محمد پوستی<sup>۳</sup>، حمید غلامی<sup>۱</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۱

### چکیده

در حال حاضر، یکی از نگرانی‌های محققان، دفن پسماندهای اتمی است. از آنجا که نمکزارها و از جمله گنبد‌های نمکی، محیط تاحدی نامتخلخل، ناتراوا و ضخامت نسبتاً مناسب تشکیلات نمکی بوده و همچنین جوامع گیاهی، جانوری و انسانی کمتری را در اطراف آن می‌توان یافت؛ بنابراین می‌تواند به‌عنوان محل مناسب برای ذخیره پسماندهای اتمی مطرح باشد. در این پژوهش، ۲۴ معیار محیطی با تأکید بر سه معیار اصلی، هیدرولوژی، آبخیزداری، زمین‌شناسی و اقتصادی اجتماعی شامل شیب، تراکم آبراهه‌ای، دبی حداکثر لحظه‌ای، کلاس آبراهه معیارهای دیگر در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از پرسشنامه و نظرسنجی از متخصصان و کارشناسان مجرب، معیارهای مورد اشاره وزن‌دهی شد. کمترین و بیشترین وزن معیارها به ترتیب مربوط به دبی حداکثر لحظه‌ای با عدد ۰/۰۳۱ و فاصله از مناطق مسکونی با عدد ۰/۰۵۲ به دست آمد. در روش ELECTRE همه گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیررتبه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته و بدین طریق گزینه‌های غیرمؤثر حذف شد. ابتدا با محاسبه مقادیر رتبه‌ای، همه معیارها در غالب ماتریس تصمیم‌گیری آورده شد. سپس داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری، بی‌مقیاس و اوزان معیارهای مورد نظر، در ماتریس مذکور وارد شد. سپس ماتریس توافق و مخالف تشکیل گردید و در نهایت منجر به ماتریس تسلط نهایی شد. نتایج عددی به دست آمده از مدل ELECTRE نشان داد که می‌توان سه گنبد نمکی جنوب غرب استان هرمزگان را از لحاظ داشتن شرایط مناسب برای دفن پسماندهای اتمی، اولویت‌بندی کرد. گنبد نمکی گچین با بیشترین مقدار عددی شاخص (۱)، به‌عنوان مناسب‌ترین گزینه انتخاب و گنبد نمکی انگوران، با شاخص عددی (۰) و گنبد نمکی پل، با شاخص عددی (۱-)، به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفتند.

واژه‌های کلیدی: مدل الکترو، پسماند اتمی، گنبد نمکی پل، انگوران، گچین.

۱. استادیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، نویسنده مسئول / Email: ra\_mahdavi2000@yahoo.com

۲. دانشجوی کارشناس ارشد مهندسی منابع طبیعی- آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان

۳. استادیار دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان

## مقدمه

مهم‌ترین ضرورت‌ها دربارهٔ پسماند، سلامتی و ایمنی است؛ به‌گونه‌ای که پسماند باید به‌نحوی مدیریت شود که حداقل خطر را برای سلامت انسان دارا باشد. بنابراین با توجه به اهمیت حوزهٔ آبخیز در زندگی بشر، بایستی نسبت به مدیریت مناسب زباله‌ها، به‌خصوص پسماندهای تشعشع‌زا، اقدامات مناسب صورت گیرد. برای حل این معضل، زباله‌ها را برحسب نوع محتویات و شدت پرتوزایی در سه گروه سطح پایین، فرااورانیومی و سطح بالا قرار می‌دهند که اکثر ضایعات هسته‌ای از نوع اول است (آژانس بین‌المللی انرژی اتمی<sup>۱</sup>، ۱۹۸۷). تاکنون روش‌های مختلفی برای دفن استفاده شده است که هر یک معایب و مزایای مربوط به خود را دارند. دفن در اقیانوس‌ها با توجه به فرایند فرورانش پیشنهاد شد؛ اما به‌علت بیرون رانده شدن زباله‌ها به مرور زمان، دیگر از این روش استفاده نشد. روش دیگر دفن در فضا است که بسیار پرهزینه و خطرناک است. همچنین می‌توان زباله‌های پرتوزا را در لایه‌های یخ دفن کرد. چنانچه زباله در مرکز لایه‌های یخی قرار داده شود، به‌علت حرکت کند یخ، رسیدن زباله به حاشیهٔ یخ، هزاران سال طول می‌کشد و طی این زمان طولانی، زباله‌های پرتوزا بی‌زیان خواهند شد. همچنین در کشورهای اروپایی نظیر انگلستان و فرانسه بیشتر زباله‌های هسته‌ای را در نیروگاه نگهداری می‌کنند. دفن در چاه‌های عمیق با توجه به ذوب زباله در اثر فرایندهای زمین‌گرمایی، یکی از راه‌های پیشنهادی است. سنگ نامتخلخل و ناتراوا نیز می‌تواند مکان مناسبی برای دفن زباله‌ها باشد. سازندهای نمکی برای انبار نهایی این مواد بسیار مناسب است؛ زیرا نمک کاملاً نفوذناپذیر است (صادقی و اسماعیل نژاد، ۲۰۱۱). بنابراین مناسب‌ترین مناطقی که می‌توانند زباله‌های جامد هسته‌ای را در خود جای دهند، نمکزارها به‌شکل بسترهای ضخیم، یا به‌عبارتی، گنبد‌های نمکی هستند (اصغرپور، ۲۰۰۶؛ اسلیزوسکی<sup>۲</sup>، ۲۰۰۳). لومینیک و برادشاو<sup>۳</sup> (۱۹۶۹) مطالعه‌ای با عنوان «ارزیابی ثبات ساختاری و سوراخ در

سنگ نمک، برای دفن زباله‌های پرتوزا» در آمستردام انجام دادند. نتایج نشان داد که یکی از مناسب‌ترین مکان‌ها برای دفن زباله‌های رادیواکتیو سطح بالا، سنگ نمک زیرزمینی است. به‌منظور طراحی تأسیسات دفن در نمک، اثر افزایش دما و فشار بررسی و مشخص شد که بیشترین نرخ خزش نمک در دماهای بالا اتفاق می‌افتد. مؤسسهٔ فدرال زمین و علوم منابع طبیعی (۱۹۸۴)<sup>۴</sup> در مطالعه‌ای با عنوان «خواص ترمومکانیکی سنگ نمک» در آلمان، بیان کرد سنگ نمک قابلیت آزادکردن حرارت و تنش‌های مکانیکی از طریق تغییر شکل پلاستیک را دارد که موجب همگرایی و تقارن مخزن می‌شود. مؤسسه ملی انرژی هسته‌ای آلمان (۲۰۱۶) در گزارشی با عنوان «برنامهٔ مدیریت پسماندهای اتمی کشورهای اتحادیهٔ اروپا» اعلام کرد که برای دفن زبالهٔ اتمی بایستی خواص ژئومکانیکی محل از جمله ظرفیت حرارتی سنگ میزبان، ابعاد امن معدن از لحاظ استحکام، فرایندهای مهم مانند خزش، شکستگی و نفوذپذیری در نظر گرفته شود. لانگر و هیوسرمن<sup>۵</sup> (۲۰۰۱) در مطالعه‌ای با عنوان «ثبات ژئومکانیکی و یکپارچگی معادن دفن زباله در سازه‌های نمک» در آلمان، نتیجه گرفتند که ثبات و ایمنی مخزن زباله‌های اتمی بسیار مهم بوده و بایستی شرایط و رفتار سنگ مانند زمین‌شناسی و توزیع تنش در نظر گرفته شود. گویجون<sup>۶</sup> و همکاران (۲۰۰۹) در مطالعه‌ای در چین، با عنوان «رفتار خودآب‌بندی نمک در زباله‌های سطح بالا در سازند سنگ نمک با استفاده از مدل FLAC3D» نتیجه گرفتند که سنگ نمک به‌دلیل داشتن تخلخل کم، تعداد شکاف اندک، نفوذپذیری اندک، نرخ خزش بالا و خاصیت خودترمیمی برای دفن زباله‌های اتمی بسیار مناسب است. نتایج مطالعهٔ تقی‌پور و همکاران (۲۰۰۸) با عنوان «کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی سنگ‌های ماگمایی سازند هرمز» نشان داد که سازند هرمز شامل سنگ‌های تبخیری، سنگ‌های آذرین و خرده‌سنگ‌های دگرگونه است که سنگ‌های تبخیری خود شامل سنگ نمک، شیل‌های گچ‌دار و لایه‌های گچی با رنگ

4. Federal institute for Geosciences Natural Resources

5. Langer &amp; Heusermam

6. Guijun

1. IAEA

2. Slizowski

3. Lomenick &amp; Bradshaw

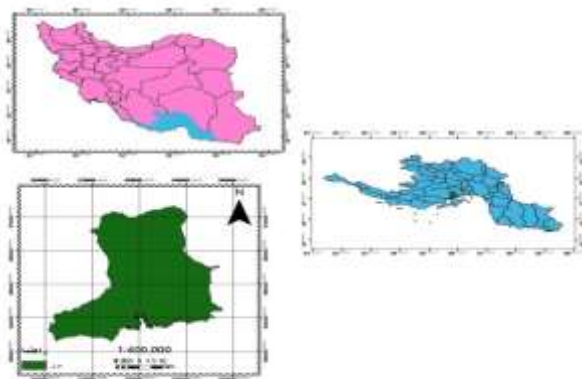
گنبد‌های نمکی با استفاده از مدل ELECTRE؛<sup>۳</sup> انتخاب گنبد نمکی مناسب از بین گنبد‌های مورد مطالعه از لحاظ داشتن شرایط مناسب برای دفن پسماند اتمی با تأکید بر مدیریت حوزه آبخیز.

از جنبه‌های نوآوری این تحقیق، می‌توان به کاربرد مدل تصمیم‌گیری به‌روز ELECTRE و استفاده از گنبد‌های نمکی منحصر به فرد استان، در راستای حل یکی از ابعاد فناوری‌های هسته‌ای و با نگاه پیشگیری از تخریب منابع آب و خاک در حوزه آبخیز اشاره کرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد مطالعه

حوزه کهورستان از توابع شهرستان بندرعباس واقع در استان هرمزگان است. این منطقه در عرض جغرافیایی  $55^{\circ} 58' 7''$  تا  $57^{\circ} 36' 57''$  شمالی و طول جغرافیایی  $27^{\circ} 20' 6''$  تا  $28^{\circ} 15' 28''$  شرقی واقع شده است. ارتفاع متوسط حوزه  $205/662$  متر، شیب متوسط منطقه  $10$  درصد است. مساحت این حوزه  $800$  کیلومتر مربع است.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

گنبد‌های نمکی سازند هرمز، در کامبرین پایینی استقرار یافته و در زمان‌های بعد که آغاز آن از اواخر پرمین بوده، به صورت دیابیری طبقات رویی را شکافته و بالا آمده است. اشکال خارجی تمام گنبد‌های نمکی یکسان نبوده و بستگی به سنگ‌های پوششی و میزان فشار درونی آن دارد. سازند هرمز از چهار بخش به نام  $H_1$  (طبقات نمکی، نوارهایی با ضخامت‌های گوناگون و رنگارنگ)،  $H_2$  (توف، مارن‌های

سفید تا قرمز بوده که به دلیل نفوذپذیری کم، برای نگهداری زباله‌های رادیواکتیو مناسب‌اند. خدابخشی و جعفری (۲۰۱۱) مطالعه‌ای با عنوان «بررسی کاربرد مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ELECTRE در تعیین آثار زیست‌محیطی» در اردیبهل انجام دادند. نتایج نشان داد که خروجی مدل ELECTRE تا حد زیادی با نتایج پیش‌بینی شده از ارزیابی آثار زیست‌محیطی طرح ارزیابی اردیبهل مطابقت داشته و می‌توان از این مدل، برای تعیین اهمیت آثار محیط زیستی استفاده کرد. مزدیان‌فرد و ندیمی (۲۰۰۹) مطالعه‌ای با عنوان «استفاده از گنبد‌های نمکی ایران برای تولید بهینه الکتروسیته» انجام دادند. نتایج نشان داد که گنبد‌های نمکی علاوه بر ذخایر محبوس شده نفت و گاز می‌توانند برای ایزوله کردن زباله‌های هسته‌ای نیز استفاده شوند (اوگور،<sup>۲</sup> ۲۰۰۰). مؤسسه ملی انرژی هسته‌ای<sup>۳</sup> (۲۰۱۶) مطالعه‌ای با عنوان «برنامه مدیریت زباله‌های رادیواکتیو» در آلمان انجام داد، کار اکتشاف زیرزمینی از گنبد نمکی در سال ۱۹۸۶ آغاز و در نهایت، گنبد نمکی متروکه Gorleben به عنوان یک مخزن احتمالی برای دفع زباله اتمی کم تا متوسط انتخاب شد.

نتایج مطالعات رضایی و همکاران (۲۰۱۲) با عنوان «بررسی پتانسیل سازندها در ترشیری ایران مرکزی برای احداث مخازن زیرزمینی گاز طبیعی»، نشان داد که گنبد نمکی سوخت کم‌آلاینده بوده و این سازندها می‌توانند علاوه بر ذخیره گاز برای دفن زباله اتمی نیز از آنها استفاده شود. ایرانمنش و رضایی (۲۰۱۳) مطالعه‌ای با عنوان «مکان‌یابی مناطق مناسب دفن پسماندهای پرتوزا در محدوده استان یزد با نگرشی ویژه بر پارامترهای زمین‌شناختی و زیست‌محیطی با استفاده از GIS» انجام دادند و از طریق همپوشانی و روی هم قراردادن لایه‌های اطلاعاتی و وزن‌دهی لایه‌های موجود، در نهایت مستعدترین مکان برای دفن پسماند مشخص شد. بنابراین با توجه به آنچه ذکر شد، اهداف تحقیق حاضر عبارت‌اند از: ۱. تعیین معیارها و پارامترهای مؤثر و اصلی در انتخاب گنبد نمکی برای دفن پسماند اتمی؛ ۲. الویت‌بندی

1. ELimination et Choice in Translating to Reality

2. Ugur

3. NATIONAL NUCLEAR ENERGY CONTEXT



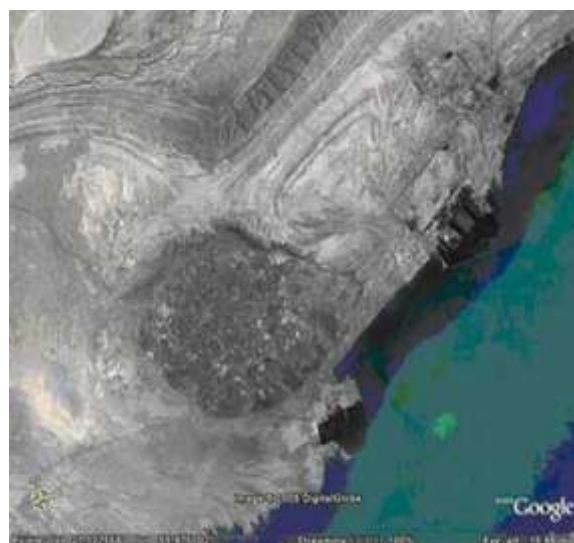
شکل (۲): نمایی از گنبد نمکی انگوران و بخش نمکی

### روش تحقیق

دفن زباله‌های اتمی در گنبد‌های نمکی استان هرمزگان، نیازمند بررسی وضعیت گنبد‌های نمکی از لحاظ داشتن شرایط مناسب و استاندارد است. بدین منظور سه گنبد نمکی در جنوب غرب هرمزگان مورد مطالعه قرار گرفت. در این پژوهش، پس از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای، جدیدترین آمار و اطلاعات موجود در خصوص مدیریت حوزه آبخیز و همچنین معیارهای مهم را از انتخاب محل دفن زباله‌های اتمی از منابع علمی و همچنین اداره‌های مختلف نظیر سازمان برنامه و بودجه استان هرمزگان، سازمان زمین‌شناسی، سازمان صنعت، معدن و تجارت استان، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری، شرکت آب منطقه‌ای، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی ایران و دیگر منابع در دسترس جمع‌آوری و مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفت. برای تطبیق داده‌ها بازدیدهای میدانی انجام و با کارشناسان و افراد متخصص در این زمینه بحث شد. روش گردآوری داده‌ها با استفاده از روش‌های میدانی، مشاهده، مصاحبه و پرسشنامه بوده است. در نهایت ۲۵ معیار اصلی (غفوری و سررشته‌داری، ۲۰۱۱) با نظر کارشناسان مربوط در نظر گرفته شد و وزن آن‌ها از طریق پرسشنامه تعیین گردید. سپس مقدار رقومی معیارها در مدل الکترون وارد و گنبد‌های نمکی مورد نظر برای امکان دفن پسماند اتمی الویت‌بندی شد.

اساس مدل ELECTR، روابط غیررتبه‌ای است؛ یعنی لزوماً به رتبه‌بندی گزینه‌ها منتهی نمی‌شود، بلکه ممکن است

سفیدرنگ تا زرد کم‌رنگ، انیدریت، نوارهای نازک میلی‌متری آهن‌دار،  $H_3$  (سنگ‌آهک‌های نازک لایه، بودار و سیاه‌رنگ)،  $H_4$  (آواری-آتش‌فشانی). گنبد نمکی گچین در خاور روستای گچین در فاصله ۵۰ کیلومتری باختر بندرعباس واقع شده و از لحاظ کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی مشابه گنبد‌های نمکی هرمز و لارک است. در کوه گچین، نمک رویی کردیف رسوبی آتشفشانی قرار گرفته که بسیار مشخص و بدون درهم‌ریختگی است و به‌خوبی می‌توان مرزها را بررسی کرد و ردیف را بازشناخت. گنبد نمکی انگوران در غرب بندرعباس و شمال روستای انگوران واقع شده و تأثیر حرکات قائم آن بر سنگ‌های اطراف و متعلق به کرتاسه و سنوزوئیک کاملاً مشخص است. واحد  $H_1$  پایین‌ترین قسمت و ضخیم‌ترین بخش گنبد را تشکیل می‌دهد. لایه‌های نازک آن به رنگ‌های سفید خاکستری، قرمز و تیره است که دارای ناخالصی‌هایی نظیر خاک سرخ، الیژیست، انیدریت و دیگر تکه‌های سنگی است. همچنین گنبد نمکی پل در فاصله ۱۰۰ کیلومتری غرب بندرعباس قرار گرفته است. قدیمی‌ترین طبقات اطراف آن سازندهای کژدمی و سروک هستند. همچنین توالی سازندهای سنوزوئیک نیز دیده می‌شود و حرکات قائم گنبد نمکی موجب تغییر وضعیت اولیه آن‌ها شده است. بخش اعظم گنبد را واحد  $H_1$  تشکیل می‌دهد و در غرب گنبد گسترش یافته است (تقی‌پور و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل (۳): تصویر ماهواره‌ای از گنبد نمکی گچین

(Google Earth, 2015)

ArcMap و با استفاده از فرمول نسبت طول آبراهه‌های موجود در حوزه به مساحت کل حوزه محاسبه شد.

### ۳. دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت دوست‌ساله:

با استفاده از مطالعات انجام‌شده توسط اداره آب منطقه‌ای استان هرمزگان، دبی حداکثر لحظه‌ای مربوط به ایستگاه آب‌سنجی موجود در منطقه به نام ایستگاه کهورستان، استخراج سپس در محیط نرم‌افزار SMADA براساس توزیع Type III Log pyerson مقدار عددی کد مربوطه محاسبه شد.

### ۴. رتبه‌بندی آبراهه‌های مجاور گنبد نمکی: با استفاده از

اطلاعات نقشه توپوگرافی استان هرمزگان، در محیط نرم‌افزار ArcMap براساس روش SHERVE محاسبه شد.

### ۵. کلاس فرسایشی گنبد‌های نمکی: با استفاده از

اطلاعات نقشه فرسایش‌پذیری کشور در محیط نرم‌افزار ArcMap متوسط فرسایش از طریق میانگین وزنی محاسبه شد.

### ۶. فاصله گنبد‌ها از رودخانه‌های مجاور: در محیط

نرم‌افزار ArcMap فاصله نزدیک‌ترین رودخانه‌ها تا گنبد نمکی اندازه‌گیری شد.

### ۷. حجم رواناب حاصل از آبراهه‌های مجاور گنبد

نمکی: با استفاده از روش شماره منحنی (Curve Number) ارتفاع رواناب محاسبه و سپس در مساحت زیرحوزه مربوط به آبراهه مجاور گنبد نمکی ضرب شد.

### ۸. عمق آب زیرزمینی تا شعاع ۵۰ کیلومتر: با استفاده

از مطالعات انجام‌شده توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان، میانگین عمق آب چاه‌های پیژومتری موجود در منطقه کهورستان تعیین شد.

### ۹. تعداد چشمه‌های مجاور گنبد‌ها تا شعاع ۲۰

کیلومتر: با استفاده از مطالعات انجام‌شده توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان، در محیط نرم‌افزار ArcMap برآورده شد.

### ۱۰. حجم آبدی چشمه‌های مجاور گنبد‌ها: با استفاده

از مطالعات انجام‌شده توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان هرمزگان دبی‌های موردنظر استخراج شد.

گزینه‌هایی را حذف کند. خانواده ELECTRE اساساً توسط روی<sup>۱</sup> از طریق روش الکترو I، اولین روش به‌کارگیری مفهوم برتر معرفی شد. از آن پس، بسط‌های بسیاری پیشنهاد شدند از جمله الکترو II، III، IV، IS و Tri. در این روش، همه گزینه‌ها با استفاده از مقایسات غیررتبه‌ای موردارزیابی قرار گرفته و بدین طریق گزینه‌های غیرمؤثر حذف می‌شود. در این مدل، ابتدا با محاسبه مقادیر رقومی، همه معیارها در غالب ماتریس تصمیم‌گیری آورده شد. سپس داده‌های ماتریس تصمیم‌گیری به توان رسیده و بر مجموع جذر داده‌ها تقسیم تا ماتریس بی‌مقیاس تشکیل شود، سپس معیارهای موردنظر بر طبق پرسشنامه، وزن‌دهی شده؛ به‌طوری‌که جمع اوزان می‌بایستی برابر یک شود. در مرحله بعد، وزن‌های موردنظر در اعداد ماتریس بی‌مقیاس ضرب شده تا ماتریس توافق تشکیل شود. فرض بر این است که مطلوبیت هر شاخص، به‌طور یکنواخت افزایشی یا کاهششی است یا به‌عبارتی دیگر، شاخص‌ها تنها جنبه مثبت و منفی دارند؛ به‌طوری‌که برای شاخص‌های مثبت با افزایش مقدار آن، مجموعه موافق، ولی برای شاخص‌های منفی به‌ازای افزایش مقدار آن، مجموعه ناموافق است. در این مرحله، وزن مربوط به شاخص‌های موافق با هم جمع شد و ماتریس توافق تشکیل گردید. در مرحله بعد، مقایسات زوجی بین سه گنبد انجام شد؛ به‌طوری‌که بیشترین عدد در بین شاخص‌های ناموافق بر بیشترین عدد در بین شاخص‌ها تقسیم تا ماتریس مخالف تشکیل شد. سپس ماتریس‌های تسلط موافق و تسلط مخالف با توجه به ماتریس توافق و مخالف تشکیل و در نهایت ماتریس تسلط نهایی از ضرب ماتریس تسلط موافق و تسلط مخالف محاسبه شد.

نحوه محاسبه هریک از معیارها به شرح زیر است:

#### معیارهای هیدرولوژی و آبخیزداری

#### ۱. شیب متوسط حوزه: با استفاده از اطلاعات مدل

ارتفاعی رقومی (DEM) استان هرمزگان در محیط نرم‌افزار ArcMap تولید شد.

#### ۲. تراکم زهکشی حوزه آبخیز: در محیط نرم‌افزار

هرمزگان، در محیط نرم افزار ArcMap تعداد معادن محدوده مورد نظر مشخص شد.

۲۰. درجه دیاپیرسم گنبدهای نمکی: با استفاده از مطالعات صورت گرفته، نرخ بالا آمدن گنبد نمکی در سال محاسبه شد (وانگ<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴).

۲۱. پتانسیل Sink hole (حفرات موجود در سطح

گنبد): حفراتی که به دلیل پدیده انحلال در سطح گنبد نمکی پدید آمده و از لحاظ زمین شناسی و ثبات و حفاری در گنبد نمکی، دارای اهمیت زیادی بوده ولی به دلیل عدم اطلاعات کافی در این زمینه و گستردگی معیارهای مربوط حذف شد.

معیارهای اقتصادی اجتماعی

۲۲. فاصله گنبد تا راه های ارتباطی: در محیط نرم افزار Google earth فاصله ارتباطی تا نزدیک ترین جاده اندازه گیری شد.

۲۳. فاصله از مناطق مسکونی: در محیط نرم افزار ArcMap میانگین فاصله جمعیتی روستاها، تا شعاع ۵۰ کیلومتری اطراف گنبدهای نمکی محاسبه شد.

۲۴. تعداد جمعیت تا شعاع ۵۰ کیلومتری: با استفاده از مطالعات انجام شده توسط سازمان برنامه و بودجه استان هرمزگان.

روایی و پایایی اوزان معیارها

در خصوص پایایی اوزان و اهمیت معیارها از روش بازآزمایی استفاده شد؛ به طوری که ضریب همبستگی نزدیک به یک، نشان از پایایی مناسب دارد. همچنین درباره روایی پرسشنامه و پرسش شوندهگان خبره و متخصص، بحث روایی محتوایی اهمیت داشت، لذا برای حصول آن، از آزمون مجدد بین ده نفر از متخصصان استفاده شد؛ به طوری که درصد نزدیک به صد، از میزان مطلوبیت آن حکایت دارد.

نتایج

با محاسبه مقادیر رقومی، همه معیارها در غالب یک ماتریس آورده شد که ماتریس تصمیم گیری نامیده می شود (جدول ۱).

۱۱. سطح تاج پوشش مناطق اطراف گنبد نمکی: با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat8 و از طریق اعمال شاخص NDVI بر روی داده های رقومی ماهواره ای در محیط نرم افزار ArcMap محاسبه شد مطابق فرمول (۱):

$$(1) \quad NDVI = \frac{\text{باند مادون قرمز نزدیک} - \text{باند قرمز}}{\text{باند مادون قرمز نزدیک} + \text{باند قرمز}}$$

۱۲. سطح زیر کشت در مجاور گنبد نمکی: با استفاده از نقشه کاربری اراضی، مساحت مناطق کشاورزی و باغات موجود در حوزه آبخیز محاسبه شد.

۱۳. محل قرار گرفتن گنبد در حوزه آبخیز: مختصات جغرافیایی گنبدهای نمکی با استفاده از نرم افزار GoogleEarth مشخص و با حوزه آبخیز مورد نظر مطابقت و در نهایت مناطق برداشت، حمل و رسوب تعیین شد.

۱۴. حجم برداشت از آب های زیرزمینی: با استفاده از مطالعات انجام شده توسط شرکت سهامی آب منطقه ای استان هرمزگان، مجموع برداشت سالیانه از چشمه، قنات و چاه های موجود در منطقه تعیین شد.

معیارهای زمین شناسی

۱۵. فاصله از گسل: با استفاده از نقشه گسل های ایران در محیط نرم افزار ArcMap فاصله شعاعی نزدیک ترین گسل تعیین شد.

۱۶. فراوانی کانون زلزله: با استفاده از مطالعات انجام شده توسط پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی ایران، زلزله های اتفاق افتاده با بزرگی بیشتر از ۴ ریشتر تا شعاع ۵۰ کیلومتر اطراف گنبدهای نمکی تعیین شد.

۱۷. درصد خلوص نمک: با بررسی مقالات و مطالعات قبلی صورت گرفته از منطقه درصد خلوص نمک های موجود در هر گنبد نمکی مشخص شد (مطیعی، ۱۳۶۹).

۱۸. حجم گنبد نمکی: با استفاده از نقشه DEM ارتفاع متوسط گنبدهای نمکی محاسبه و سپس در مساحت مربوط به هر گنبد ضرب گردید تا حجم گنبد به دست آید.

۱۹. تعداد معادن پراکنده گنبد: با استفاده از مطالعات انجام گرفته توسط اداره صنعت، معدن و تجارت استان

جدول (۱): تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری اولیه به‌عنوان اولین ورودی ماتریس ELECTRE				
ردیف	معیارهای موردنظر	گنبد نمکی گچین	گنبد نمکی پل	گنبد نمکی انگوران
۱	شیب متوسط حوزه برحسب درصد	۱۰	۱۰	۱۰
۲	فاصله شعاعی نزدیک‌ترین گسل تا گنبد نمکی برحسب کیلومتر	۹/۵۸	۱۱/۳۱	۱۰/۹۴
۳	تراکم کانون زلزله تا شعاع ۵۰ کیلومتر	۴۳۰	۳۹۵	۵۴۱
۴	درصد خلوص نمک برحسب درصد	۰/۹۹	۰/۸۷	۰/۹۸
۵	تراکم زهکشی حوزه آبخیز برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳	۰/۲۶۳
۶	دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله برحسب مترمربع بر ثانیه	۸۹۴۳/۱۵	۸۹۴۳/۱۵	۸۹۴۳/۱۵
۷	رتبه‌بندی آبراهه‌های مجاور گنبد‌های نمکی	۱	۲	۲
۸	کلاس فرسایشی گنبد‌های نمکی	۶/۷۹	۶/۶۵	۶/۴۸
۹	فاصله گنبد‌ها از رودخانه برحسب کیلومتر	۰/۶۸	۱/۵۵	۱/۴۸
۱۰	حجم برداشت از آب زیرزمینی برحسب مترمکعب	۵۳/۲۲۴	۵۳/۲۲۴	۵۳/۲۲۴
۱۱	عمق آب زیرزمینی تا شعاع ۵۰ کیلومتری برحسب متر	۱۵/۳۴	۱۵/۳۴	۱۵/۳۴
۱۲	تعداد چشمه‌های مجاور گنبد‌ها تا شعاع ۲۰ کیلومتری	۱	۱	۱
۱۳	حجم آبدی چشمه‌های مجاور برحسب مترمکعب بر ثانیه	۴	۴	۳/۵
۱۴	حجم رواناب حاصل از آبراهه‌های مجاور گنبد نمکی برحسب مترمکعب	۴۶۸/۰۱	۴۸۱/۲۲	۱۱۱۲/۸
۱۵	تعداد معادن	۱۰	۱۲	۱۰
۱۶	حجم گنبد نمکی برحسب کیلومتر مربع	۹۸۶۲/۳	۶۱۶۵	۷۳۴۲/۶۸
۱۷	فاصله گنبد تا راه‌های ارتباطی برحسب کیلومتر	۰/۳۴	۲/۹۱	۲/۳
۱۸	فاصله از مناطق مسکونی برحسب کیلومتر	۱۵/۶۵	۱۴/۲۱	۱۴/۵۴
۱۹	تعداد جمعیت تا شعاع ۵۰ کیلومتری	۲۶۷۰۵	۲۱۵۲۰	۲۰۲۸۷
۲۰	درجه دی‌پیرسزم گنبد‌های نمکی برحسب میلی‌متر در سال	۱	۱	۱
۲۱	سطح تاج پوشش مناطق اطراف گنبد نمکی برحسب درصد	۳۶/۴۴۰۵۱	۳۶/۴۴۰۵۱	۳۶/۴۴۰۵۱
۲۲	سطح زیر کشت در مجاور گنبد نمکی برحسب کیلومتر مربع	۱۲/۸۴	۵/۹۴	۱۳/۰۹
۲۳	محل قرار گرفتن گنبد در حوزه آبخیز	۳	۳	۱
۲۴	پذیرش اجتماعی در سطح ملی و محلی	۵	۵/۵	۶

### بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم‌گیری اولیه

بی‌مقیاس می‌نامند. اعداد ماتریس یک به توان دو رسیده و از آن جمع و جذر گرفته، سپس داده‌های ماتریس شماره یک بر جذر به‌دست آمده تقسیم شدند.

در این مرحله، مقادیر ماتریس تصمیم‌گیری مسئله را با استفاده از نرم، بی‌مقیاس و این ماتریس را ماتریس

جدول (۲): جدول بی‌مقیاس کردن برای مقایسه پارامترها با یکدیگر				
ردیف	معیارهای موردنظر	گنبد نمکی گچین	گنبد نمکی پل	گنبد نمکی انگوران
۱	شیب متوسط حوزه برحسب درصد	۰/۵۷۷۳۵۰۲۷	۰/۵۷۷۳۵۰۲۷	۰/۵۷۷۳۵۰۲۷
۲	فاصله شعاعی نزدیک‌ترین گسل تا گنبد نمکی برحسب کیلومتر	۰/۵۲۰۰۲۵۷۸۹	۰/۶۱۳۹۳۴۴۱۳	۰/۵۹۳۸۴۹۹۱
۳	تراکم کانون زلزله تا شعاع ۵۰ کیلومتر	۰/۵۴۰۲۰۵۲۶۸	۰/۴۹۶۲۳۵۰۷۲	۰/۶۷۹۶۵۳۶۰۵
۴	درصد خلوص نمک برحسب درصد	۰/۶۰۲۷۸۵۱۱۳	۰/۵۲۹۷۲۰۲۵۱	۰/۵۹۶۶۹۶۳۷۵
۵	تراکم زهکشی حوزه آبخیز برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع	۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵
۶	دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله برحسب مترمربع بر ثانیه	۰/۵۷۷۳۵۰۲۶۹	۰/۵۷۷۳۵۰۲۶۹	۰/۵۷۷۳۵۰۲۶۹
۷	رتبه‌بندی آبراهه‌های مجاور گنبد‌های نمکی	۰/۳۳۳۳۳۳	۰/۶۶۶۶۶۷	۰/۶۶۶۶۶۷

ادامه جدول (۲): جدول بی‌مقیاس کردن برای مقایسه پارامترها با یکدیگر

۰/۵۶۳۳۳۶	۰/۵۷۸۱۱۴	۰/۵۹۰۲۸۵	کلاس فرسایشی گنبدهای نمکی	۸
۰/۶۵۸۲۴۶۰۳	۰/۶۸۹۳۷۹۲۸۹	۰/۳۰۲۴۳۷۳۶۵	فاصله گنبدها از رودخانه برحسب کیلومتر	۹
۰/۵۷۷۳۵۰۲۶۹	۰/۵۷۷۳۵۰۲۶۹	۰/۵۷۷۳۵۰۲۶۹	حجم برداشت از آب زیرزمینی برحسب مترمکعب	۱۰
۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	عمق آب زیرزمینی تا شعاع ۵۰ کیلومتری برحسب متر	۱۱
۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	تعداد چشمه‌های مجاور گنبدها تا شعاع ۲۰ کیلومتر	۱۲
۰/۵۲۶۱۵	۰/۶۰۱۳۲	۰/۶۰۱۳۲	حجم آبدهی چشمه‌های مجاور برحسب مترمکعب بر ثانیه	۱۳
۰/۸۵۶۲۷	۰/۳۷۰۲۹	۰/۳۶۰۱۲	حجم رواناب حاصل از آبراهه‌های مجاور گنبد نمکی برحسب مترمکعب	۱۴
۰/۵۳۹۲	۰/۶۴۷	۰/۵۳۹۲	تعداد معادن	۱۵
۰/۵۳۳۸۳۷۱۶	۰/۴۴۸۲۱۵۹۲	۰/۷۱۷۰۲۱۸۸	حجم گنبد نمکی برحسب کیلومتر مربع	۱۶
۰/۶۱۷۴۹۲	۰/۷۸۱۲۶۲	۰/۰۹۱۲۸۱	فاصله گنبد تا راه‌های ارتباطی برحسب کیلومتر	۱۷
۰/۵۶۶۷۱۷	۰/۵۵۳۸۵۴۸	۰/۶۰۹۹۸۰۹	فاصله از مناطق مسکونی برحسب کیلومتر	۱۸
۰/۵۰۹۱۱۴۹۵۷	۰/۵۴۰۰۵۷۸۶۳	۰/۶۷۰۱۷۸۶۸۲	تعداد جمعیت تا شعاع ۵۰ کیلومتری	۱۹
۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	درجه دی‌پیرسم گنبدهای نمکی برحسب میلی‌متر در سال	۲۰
۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	۰/۵۷۷۳۵	سطح تاج پوشش مناطق اطراف گنبد نمکی برحسب درصد	۲۱
۰/۶۷۹۱۴۴	۰/۳۰۸۱۸۳	۰/۶۶۶۱۷۳	سطح زیر کشت در مجاور گنبد نمکی برحسب کیلومتر مربع	۲۲
۰/۲۲۹۴۱۶	۰/۶۸۸۲۴۷	۰/۶۸۸۲۴۷	محل قرارگرفتن گنبد در حوزه آبخیز	۲۳
۰/۶۲۸۱۰۹	۰/۵۷۵۷۶۶	۰/۵۲۳۴۲۴	پذیرش اجتماعی در سطح ملی و محلی	۲۴

## ۳.۳. تعیین ماتریس وزن معیارها

نتایج حاصل از نظرسنجی از پرسشنامه و وزن به‌دست‌آمده

در این مرحله باتوجه‌به ارزش هریک از معیارها براساس در ماتریس بی‌مقیاس شده تأثیر داده شد (جدول ۳).

جدول (۳): ماتریس اوزان معیارها

وزن معیار	وزن معیار	معیارهای موردنظر	ردیف
۰/۰۴۶	۴/۶	شیب متوسط حوزه برحسب درصد	۱
۰/۰۴۵	۴/۵	شیب متوسط حوزه برحسب درصد	۲
۰/۰۴۵	۴/۶	فاصله شعاعی نزدیک‌ترین گسل تا گنبد نمکی برحسب کیلومتر	۳
۰/۰۳۵	۳/۵	تراکم کانون زلزله تا شعاع ۵۰ کیلومتر	۴
۰/۰۴۲	۴/۲	درصد خلوص نمک برحسب درصد	۵
۰/۰۳۱	۳/۱	تراکم زهکشی حوزه آبخیز برحسب کیلومتر بر کیلومتر مربع	۶
۰/۰۳۲	۳/۲	دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله برحسب مترمربع بر ثانیه	۷
۰/۰۳۶	۳/۶	رتبه‌بندی آبراهه‌های مجاور گنبدهای نمکی	۸
۰/۰۴۸	۴/۸	کلاس فرسایشی گنبدهای نمکی	۹
۰/۰۴۲	۴/۲	فاصله گنبدها از رودخانه برحسب کیلومتر	۱۰
۰/۰۴۶	۴/۶	حجم برداشت از آب زیرزمینی برحسب مترمکعب	۱۱
۰/۰۴۴	۴/۴	عمق آب زیرزمینی تا شعاع ۵۰ کیلومتری برحسب متر	۱۲
۰/۰۴۵	۴/۵	تعداد چشمه‌های مجاور گنبدها تا شعاع ۲۰ کیلومتری	۱۳
۰/۰۳۶	۳/۶	حجم آبدهی چشمه‌های مجاور برحسب مترمکعب بر ثانیه	۱۴
۰/۰۳۷	۳/۷	حجم رواناب حاصل از آبراهه‌های مجاور گنبد نمکی برحسب مترمکعب	۱۵
۰/۰۴۵	۴/۵	تعداد معادن	۱۶



ادامه جدول (۳): ماتریس اوزان معیارها			
۰/۰۴۲	۴/۲	حجم گنبد نمکی برحسب کیلومترمربع	۱۷
۰/۰۵۲	۵/۲	فاصله گنبد تا راه‌های ارتباطی برحسب کیلومتر	۱۸
۰/۰۴۵	۴/۵	فاصله از مناطق مسکونی برحسب کیلومتر	۱۹
۰/۰۴۴	۴/۴	تراکم جمعیت تا شعاع ۵۰ کیلومتری	۲۰
۰/۰۳۶	۳/۶	درجه دی‌پیریسم گنبد‌های نمکی برحسب میلی‌متر در سال	۲۱
۰/۰۴۶	۴/۶	سطح تاج پوشش مناطق اطراف گنبد نمکی برحسب درصد	۲۲
۰/۰۴۵	۴/۵	سطح زیر کشت در مجاور گنبد نمکی برحسب کیلومترمربع	۲۳
۰/۰۳۶	۳/۶	محل قرارگرفتن گنبد در حوزه آبخیز	۲۴
۱	۱۰۰	مجموع وزن‌ها	۲۵

### تعیین ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده

در این مرحله، اعداد ماتریس بی‌مقیاس در وزن معیارها ضرب شد.

جدول (۴): ماتریس تصمیم‌گیری وزن دار نرمال شده و بی‌مقیاس شده			
وزن معیار	وزن معیار	معیارهای موردنظر	ردیف
۰/۰۴۶	۴/۶	شیب متوسط حوزه برحسب درصد	۱
۰/۰۴۵	۴/۵	شیب متوسط حوزه برحسب درصد	۲
۰/۰۴۵	۴/۶	فاصله شعاعی نزدیک‌ترین گسل تا گنبد نمکی برحسب کیلومتر	۳
۰/۰۳۵	۳/۵	تراکم کانون زلزله تا شعاع ۵۰ کیلومتر	۴
۰/۰۴۲	۴/۲	درصد خلوص نمک برحسب درصد	۵
۰/۰۳۱	۳/۱	تراکم زهکشی حوزه آبخیز برحسب کیلومتر بر کیلومترمربع	۶
۰/۰۳۲	۳/۲	دبی حداکثر لحظه‌ای با دوره بازگشت ۲۰۰ ساله برحسب مترمربع بر ثانیه	۷
۰/۰۳۶	۳/۶	رتبه‌بندی آبراهه‌های مجاور گنبد‌های نمکی	۸
۰/۰۴۸	۴/۸	کلاس فرسایشی گنبد‌های نمکی	۹
۰/۰۴۲	۴/۲	فاصله گنبد‌ها از رودخانه برحسب کیلومتر	۱۰
۰/۰۴۶	۴/۶	حجم برداشت از آب زیرزمینی برحسب مترمکعب	۱۱
۰/۰۴۴	۴/۴	عمق آب زیرزمینی تا شعاع ۵۰ کیلومتری برحسب متر	۱۲
۰/۰۴۵	۴/۵	تعداد چشمه‌های مجاور گنبد‌ها تا شعاع ۲۰ کیلومتری	۱۳
۰/۰۳۶	۳/۶	حجم آبدهی چشمه‌های مجاور برحسب مترمکعب بر ثانیه	۱۴
۰/۰۳۷	۳/۷	حجم رواناب حاصل از آبراهه‌های مجاور گنبد نمکی برحسب مترمکعب	۱۵
۰/۰۴۵	۴/۵	تعداد معادن	۱۶
۰/۰۴۲	۴/۲	حجم گنبد نمکی برحسب کیلومترمربع	۱۷
۰/۰۵۲	۵/۲	فاصله گنبد تا راه‌های ارتباطی برحسب کیلومتر	۱۸
۰/۰۴۵	۴/۵	فاصله از مناطق مسکونی برحسب کیلومتر	۱۹
۰/۰۴۴	۴/۴	تراکم جمعیت تا شعاع ۵۰ کیلومتری	۲۰
۰/۰۳۶	۳/۶	درجه دی‌پیریسم گنبد‌های نمکی برحسب میلی‌متر در سال	۲۱
۰/۰۴۶	۴/۶	سطح تاج پوشش مناطق اطراف گنبد نمکی برحسب درصد	۲۲
۰/۰۴۵	۴/۵	سطح زیر کشت در مجاور گنبد نمکی برحسب کیلومترمربع	۲۳
۰/۰۳۶	۳/۶	محل قرارگرفتن گنبد در حوزه آبخیز	۲۴
۱	۱۰۰	مجموع وزن‌ها	۲۵

## تشکیل مجموعه معیارهای موافق و مخالف

معیارهایی هستند که هر چه مقدار عددی آن‌ها افزایش یابد دارای مطلوبیت بیشتر بوده و مجموعه موافق را تشکیل می‌دهد و معیارهای منفی معیارهایی می‌باشند که هر چه مقدار عددی آن‌ها افزایش یابد، دارای مطلوبیت کمتری بوده و مجموعه ناموافق را تشکیل می‌دهد (جدول ۵).

در این مرحله معیارهای دارای جنبه مثبت و منفی از یکدیگر تفکیک شده و گنبدها دو به دو با هم مقایسه تا مطلوبیت گنبدها به ازای شاخص‌ها سنجیده شود برای این کار به جنبه مثبت و منفی معیارها توجه شد. معیارهای مثبت

جدول (۵): ماتریس معیارهای موافق و مخالف

C,B	C,A	B,C	B,A	A,C	A,B	معیار	ردیف	معیارهای منفی
موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	شیب متوسط حوزه	۱	
مخالف	مخالف	موافق	موافق	موافق	مخالف	تراکم کانون زلزله	۲	
موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	تراکم زهکشی حوزه	۳	
موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	دبی حداکثر لحظه‌ای	۴	
موافق	مخالف	موافق	مخالف	موافق	موافق	رتبه‌بندی آبراهه‌های مجاور گنبدها	۵	
موافق	موافق	مخالف	موافق	مخالف	مخالف	کلاس فرسایشی گنبدها	۶	
موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	حجم برداشت از آب زیرزمینی	۷	
موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	عمق آب زیرزمینی	۸	
موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	موافق	تعداد چشمه‌های مجاور گنبدها	۹	
موافق	موافق	مخالف	موافق	مخالف	موافق	حجم آبدهی چشمه‌های مجاور	۱۰	
مخالف	مخالف	موافق	مخالف	موافق	موافق	حجم آبدهی رودخانه مجاور گنبد نمکی	۱۱	
موافق	موافق	مخالف	مخالف	موافق	موافق	تعداد معادن	۱۲	
موافق	مخالف	مخالف	مخالف	موافق	موافق	فاصله گنبد تا راه‌های ارتباطی	۱۳	
موافق	موافق	مخالف	موافق	مخالف	مخالف	تعداد جمعیت	۱۴	
موافق	موافق	موافق	موافق	مخالف	موافق	درجه دی‌پیرسم گنبدها	۱۵	
موافق	موافق	موافق	موافق	مخالف	موافق	سطح تاج پوشش مناطق اطراف گنبد	۱۶	
مخالف	مخالف	موافق	موافق	مخالف	مخالف	سطح زیر کشت در مجاور گنبد نمکی	۱۷	
مخالف	موافق	موافق	موافق	مخالف	مخالف	فاصله شعاعی نزدیک‌ترین گسل تا گنبد	۱۸	معیارهای مثبت
مخالف	مخالف	مخالف	مخالف	موافق	موافق	حجم گنبد نمکی	۱۹	
موافق	مخالف	مخالف	مخالف	موافق	موافق	درصد خلوص نمک	۲۰	
مخالف	موافق	موافق	موافق	مخالف	مخالف	فاصله گنبدها تا رودخانه‌ها	۲۱	
موافق	مخالف	مخالف	مخالف	موافق	موافق	فاصله از مناطق مسکونی	۲۲	
مخالف	مخالف	موافق	موافق	موافق	موافق	محل قرارگرفتن گنبد در حوزه آبخیز	۲۳	
موافق	موافق	مخالف	موافق	مخالف	مخالف	پذیرش اجتماعی در سطح ملی و محلی	۲۴	

## تشکیل ماتریس توافقی

$$\text{ماتریس توافقی} = \begin{vmatrix} - & ۰/۶۹۸ & ۰/۶۹۹ \\ ۰/۶۷۸ & - & ۰/۶۲۹ \\ ۰/۶۶۹ & ۰/۷۸ & - \end{vmatrix} \quad (۱)$$

در این مرحله با استفاده از ماتریس تصمیم وزن‌دار نرمال شده و ماتریس معیارهای موافق و مخالف یا به عبارتی جداول ۴ و ۵، وزن معیارهای موافق با هم جمع و ماتریس توافقی تشکیل شد (مطابق ماتریس ۱).

جمع اعداد حاصل از ماتریس توافقی برابر با  $۴/۱۵۳$  بوده که با توجه به اینکه تعداد حالات حاصل از مقایسه زوجی ۳ گنبد برابر ۶ حالت بوده، حاصل بر ۶ تقسیم و جواب نهایی

برابر ۰/۶۹۲۱ است.

### تشکیل ماتریس مخالف

در این مرحله، با استفاده از ماتریس معیارهای موافق و مخالف و مقایسه زوجی گنبد‌ها، گزینه‌ها دو به دو از هم کم شده و سپس بیشترین عدد در بین معیارهای مخالف تقسیم بر بیشترین عدد در بین تمام معیارها شد (مطابق ماتریس ۲).

$$\text{ماتریس مخالف} = \begin{pmatrix} - & ۰/۱ & ۱ \\ ۰/۵۶ & - & ۰/۸۲ \\ ۰/۹۳ & ۱ & - \end{pmatrix} \quad (۲)$$

جمع اعداد حاصل از ماتریس مخالف برابر با ۴/۴۱ بوده که با توجه به اینکه تعداد حالات حاصل از مقایسه زوجی ۳ گنبد برابر ۶ حالت بوده، حاصل بر ۶ تقسیم و جواب نهایی برابر ۰/۷۳ است.

### تشکیل ماتریس تسلط موافق

برای ایجاد این ماتریس، ابتدا بایستی حد آستانه‌ای تعیین شود. در این مرحله، اعداد حاصل از ماتریس توافق با جواب نهایی حاصل از ماتریس توافق مقایسه شده؛ به طوری که اگر هر عنصر ماتریس توافق بزرگ‌تر یا مساوی جواب نهایی باشد، آن مؤلفه در ماتریس تسلط موافق، مقدار یک به خود گرفته و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد (مطابق ماتریس ۳).

$$\text{ماتریس موافق} = \begin{pmatrix} - & ۱ & ۱ \\ ۰ & - & ۰ \\ ۰ & ۱ & - \end{pmatrix} \quad (۳)$$

### تشکیل ماتریس تسلط مخالف

تشکیل ماتریس تسلط مخالف، مانند ماتریس تسلط موافق عمل کرده با این تفاوت که اگر هر عنصر ماتریس مخالف کوچک‌تر از جواب نهایی آن باشد، آن مؤلفه در ماتریس تسلط مخالف، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد (مطابق ماتریس ۴).

$$\text{ماتریس مخالف} = \begin{pmatrix} - & ۱ & ۰ \\ ۱ & - & ۰ \\ ۰ & ۰ & - \end{pmatrix} \quad (۴)$$

### تشکیل ماتریس تسلط نهایی

از حاصل ضرب ماتریس تسلط موافق در ماتریس تسلط مخالف

ماتریس تسلط نهایی به دست می‌آید (مطابق ماتریس ۵).

$$\text{ماتریس نهایی} = \begin{pmatrix} - & ۱ & ۰ \\ ۰ & - & ۰ \\ ۰ & ۰ & - \end{pmatrix} \quad (۴)$$

این ماتریس، نشان‌دهنده ترتیب برتری راهکارهای مختلف نسبت به یکدیگر است؛ یعنی اگر  $F_{kl} = 1$  باشد، می‌توان گفت  $A_k$  بر  $A_l$  ارجحیت دارد. البته ممکن است این ارجحیت، تحت تأثیر راهکارهای دیگر قرار گیرد. بنابراین، شرط اینکه در روش فوق،  $A_k$  یک گزینه ارجح

باشد، این است که حداقل برای یک  $1, F_{Ik} = 1$  همچنین برای کلیه 1 ها،  $F_{Ik} = 0$  می‌توان هر ستونی را که حداقل دارای یک عدد ۱ باشد حذف کرد، سپس براساس سطرهای دیگر تصمیم‌گیری نمود.

جدول (۶): ماتریس تسلط نهایی

نام	ماتریس نهایی					
	جواب نهایی	باخت	برد	۳	۲	۱
گنبد						
گچین	۱	۰	۱	۰	۱	-
پل	-۱	۱	۰	۰	-	۰
انگوران	۰	۰	۰	-	۰	۳

### روایی و پایایی اوزان معیارها

در خصوص پایایی اوزان و اهمیت معیارها که از روش بازآزمایی استفاده شده بود، نتایج نشان داد که ضریب همبستگی ۰/۸۹ به دست آمده و در سطح ۹۵ درصد معنی‌دار نیست و نتایج به دست آمده صحیح است. همچنین درباره روایی پرسشنامه و پرسش‌شوندگان خبره و متخصص، بحث روایی محتوایی استفاده شد، لذا برای حصول آن، از آزمون مجدد بین ده نفر از متخصصان استفاده گردید که نتایج نشان داد روایی محتوایی پرسشنامه، حدود ۸۸ درصد است که این میزان، پذیرفته است.

### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره یعنی مدل ELECTRE، برای اولویت‌بندی گنبد‌های نمکی جهت دفن زباله‌های اتمی ارائه شد. ذکر این نکته ضروری است که هدف

بالاست و این مسئله احتمال آلودگی منابع آبی را بیشتر می‌کند، درحالی‌که در گنبد‌های نمکی این احتمال کمتر است؛ اما نکته آخر که به‌عنوان نقطه منفی گنبد‌های نمکی محسوب می‌شود، ناپایداری و درجه دی‌پیرسم آن‌ها بوده اما کفه‌های نمکی از این حیث پایدارترند و مزیت نسبی دارند.

به این منظور مدل ELECTRE استفاده شد تا حفظ حوزه آبخیز مکان مناسب برای دفن زباله‌های اتمی مشخص شود. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، ضمن استفاده از منابع اطلاعاتی از قبیل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی، شیب منطقه، نقشه کاربری اراضی، لایه فاصله از مناطق جمعیتی، الویت‌بندی محل دفن پسماندهای پرتوزا در محیط مدل ELECTRE وارد و وزن‌دهی شد؛ به‌طوری‌که کمترین و بیشترین اهمیت معیارها به‌ترتیب مربوط به دبی حداکثر لحظه‌ای، با وزن  $0/31$  و فاصله از مناطق مسکونی با وزن  $0/52$  است. درنهایت از بین سه گنبد نمکی گچین و پل و انگوران، مستعدترین مکان برای دفن پسماند اتمی مشخص شد. طبق نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۶)، گنبد نمکی گچین با کسب مقدار عددی شاخص ۱، رتبه اول، گنبد نمکی انگوران با کسب شاخص عددی صفر، رتبه دوم و گنبد نمکی پل با کسب شاخص عددی ۱-، حائز رتبه سوم قرار گرفت. یقیناً گنبد نمکی پل نمی‌تواند جایگزین گنبد نمکی گچین شود؛ چراکه اختلاف شاخص عددی زیاد است، اما درباره گنبد نمکی انگوران باتوجه به فاصله عددی کمتر در مقدار عددی شاخص به‌دست‌آمده، شاید بتوان با بررسی‌های بیشتر و لحاظ کردن اهمیت بعضی پارامترها این گنبد را با گنبد نمکی گچین جایگزین کرد. شایان ذکر است که عدد مربوط به دبی حداکثر لحظه‌ای در هر سه گنبد یکسان بوده و از این لحاظ تأثیر زیادی در تفکیک آن‌ها در محاسبات نداشته، ولی همان‌طور که از اعداد جداول مربوط به گنبد‌های نمکی مشاهده می‌شود، عدد مربوط به فاصله از مناطق مسکونی در هر سه گنبد متفاوت بوده و از طرفی، این معیار دارای بیشترین وزن در پرسشنامه است، لذا در الویت‌بندی گنبد‌ها تأثیر زیادی ایفا کرده؛ به‌طوری‌که در گنبد نمکی گچین بیشترین مقدار را داراست، سپس در گنبد نمکی انگوران و در آخر در به گنبد نمکی پل.

از این تحقیق، این نیست که روش‌های دفن پسماند اتمی با یکدیگر قیاس شوند، بلکه باتوجه به وجود گنبد‌های نمکی منحصربه‌فرد در استان هرمزگان و به‌خصوص در اطراف بندرعباس و اینکه اگر قرار باشد بنابه ضرورت، پسماندهای اتمی در گنبد‌های نمکی دفن شود، کدامیک از آن‌ها باتوجه به پارامترهای تعریف‌شده و با استفاده از مدل الکترو که یک مدل تصمیم‌گیری به‌روز در دنیا است، دارای اولویت هستند؛ به‌طوری‌که کمترین آسیب به حوزه آبخیز وارد شود. بنابراین هدف اصلی در این تحقیق، مدیریت و حفاظت حوزه آبخیز است؛ زیرا حوزه آبخیز بر اثر فعالیت‌های مختلف، دچار آلودگی شده و علاوه بر فرسایش خاک و نابودی گیاهان و جانوران، بر سلامت انسان نیز اثر منفی خواهد داشت. بنابراین بایستی با الویت قرار دادن این موضوع مکانی برای دفن پسماند اتمی انتخاب، تا کمترین آثار سوء زیست‌محیطی را ایجاد کند. بحث مطرح دیگر درخصوص مکان دفن زباله‌های اتمی در سطح جهانی، امکان نشت مواد رادیواکتیو حتی بعد از گذشت سال‌های طولانی است. در برخی موارد، ضایعات هسته‌ای با درجه سطح بالا که در بخش مقدمه نیز ذکر شدند تا بیش از هزار سال امکان پرتوزایی دارند و احتمال تخریب و آسیب جدی به عوامل زیست‌محیطی را همچنان دارا هستند. بنابراین نتایج این تحقیق به‌معنای دید همه‌جانبه نبوده و نیاز به مطالعات دقیق‌تر دارد. ممکن است این سؤال در ذهن متبادر شود که چرا کفه‌های نمکی به‌عنوان محل ذخیره پسماندهای اتمی استفاده نشده است. در پاسخ می‌توان به این نکته اشاره کرد که گنبد‌های نمکی دارای استقلال بیشتری بوده و از یکدیگر جدا و دارای فاصله هستند؛ درحالی‌که کفه‌های نمکی به‌صورت یکپارچه، متصل و پیوسته‌اند و این موضوع درخصوص احتمال نشت مواد رادیواکتیو مهم است.

از حیث تعداد، گنبد‌های نمکی متعدد اما کفه‌های نمکی پیوسته و واحدند. بنابراین برای دفن زباله اتمی قدرت انتخاب بیشتری وجود دارد. ضخامت گنبد‌های نمکی از کفه‌های نمکی بیشتر و این موضوع درخصوص تأمین فضای کافی برای دفن و همچنین ضریب اعتماد بیشتر و عدم نشتی از ضایعات پرتوزا مهم است. سطح آب‌های زیرزمینی در کفه‌های نمکی، عموماً

اکوسیستمی اطراف گنبد نمکی، در صورت رخداد حوادث یا نشت مواد رادیواکتیو، متحمل کمترین خسارات اقتصادی و اجتماعی نسبت به بقیه روش‌های دفن خواهد بود. از طرفی در سال‌های اخیر، موضوع احداث آب‌شیرین‌کن‌ها، در سواحل خلیج فارس به صورت جدی دنبال می‌شود و از آنجاکه یکی از فرضیات محل تأمین برق مورد نیاز آب‌شیرین‌کن‌ها، قرار است از انرژی رادیواکتیو تأمین شود، کمترین فاصله را از حیث دفن مواد رادیواکتیو خواهد داشت و از این نظر نیز مقرون به صرفه است. همچنین در مقالات مختلف به پرهزینه بودن دفن در فضا و در یخ تأکید شده است.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از مهندس علیرضا حسینی برای همکاری در تدوین و نگارش مقاله، نهایت سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌کنند.

از جهت مقایسه نتایج این تحقیق با مطالعه محققان دیگر، می‌توان به ایرانمنش و رضایی (۲۰۱۳) اشاره کرد که برای مشخص کردن مکان‌های مستعد برای دفن پسماند، معیارهایی از قبیل تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های زمین‌شناسی، شیب منطقه، نقشه کاربری اراضی، نقشه خطوط ارتباطی، لایه فاصله از مراکز جمعیتی را در نظر گرفتند، که معیارها و نتایج با مطالعه مذکور مطابقت دارد. باتوجه به بازدیدهای میدانی و نتایج به دست آمده مشخص شد که خروجی مدل ELECTRE تا حد زیادی با نتایج پیش‌بینی شده مطابقت دارد. همچنین با نتایج خدابخشی و جعفری (۲۰۱۱)، مبنی بر ارزیابی آثار محیط زیستی طرح ارزیابی اردبیل نیز، از برخی زوایا تطابق دارد. از حیث مسائل اقتصادی، به دلیل اینکه فرایند دفن در محیط خشکی و آن‌هم با فاصله زیاد از جوامع انسانی، گیاهی و جانوری صورت می‌پذیرد، توجه اقتصادی بیشتری نسبت به بستر اقیانوس و استفاده از محیط‌های آبی دارد. ضمن اینکه به دلیل شرایط

### منابع

1. Asghar pour, A., 2006. Sources of Radioactive waste production and Disposal Methods .Journal of Exploration & Production, 39:42-45.
2. Asgharpour. M.J., 2009. multiple-criteria decision analysis. Tehran University. Pp:400.
3. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, 1984., Thermomechanical properties of radiated rock salt, nuclear Instruments and methods in physics research b 1, 542-548.
4. Ghafouri, M., Sarreshtedari, A., 2011. Evolution of watershed. Central research of soil conservation and watershed management.
5. Guijun, W., Chunming, W., Kangmei, G., 2009. "Self-Sealing Behavior of High Level Waste Repository in Rock Salt Formation", International Conference on Engineering Computation.
6. Iran manesh, J., Rezaei, M., 2013. "Urban Waste Landfill Site Selection by GIS (Case Study Yazd City)" The 1st National Conference on Environment, Energy and Biodefense.
7. International Atomic Energy Agency. Measurement of radio nuclides in food and the environmental. IAEA. 1987. 71-295.
8. Khodabakhshi, B., Jafari. H., 2011. Application of fuzzy ELECTRE TRI method for determination of environmental impact significance of water resource development projects (the case of Ardebil Dam, Drainage and Irrigation Network Project. Environmental researches. 1(2): 31-42.
9. Langer, M., Heusermann, S., 2001. Geomechanical stability and integrity of waste disposal mines in salt structures, Federal Institute for Geosciences and Natural Resources, Stilleweg 2.
10. Lomenick, T.F., Bradshaw, R.L., 1969. Model pillar tests for evaluating the structural stability of opening in rock salt utilized for the disposal of radioactive wastes, Nuclear engineering and Design 9, 269-278.
11. Mozdianfard, M.R., Nadimi, S., 2009. Application of Iran Salt Domes for Optimum Electricity Generation. Iranian Journal of Energy. 12(2):45-60.
12. Mazdian fard, M.R., Nadimi, S., 2009, Using Iranian salt domes to produce optimal electricity, Journal of Iran Energy, 12(3):45-60
13. [https://www.oecd-neo.org/rwm/profiles/germany\\_profile.pdf](https://www.oecd-neo.org/rwm/profiles/germany_profile.pdf). 2016
14. Rezaei, K., Nezamvafa, N., Nowroozi, N., Nezam vafa, S., 2012. central iran for establishment of underground gas storages. quarterly journal of geotechnical gology (applied geology): 8(1):35-50.

15. Sadeghi, N., and E., Esmaeelinejad, 2011, new methods of waste disposal of nuclear activities, the fifth Conference of Environmental Engineering, Tehran, Tehran University, Faculty of Environment, [http://www.civilica.com/Paper-CEE05-CEE05\\_606.Html](http://www.civilica.com/Paper-CEE05-CEE05_606.Html).
16. Slizowski, K., Janeczek, J., Przewlocki, K., 2003. Suitability of salt-mudstones as a host rock in salt domes for radioactive-waste storage, *Applied Energy* 75,119-128.
17. Taghipour, S., Khalili, M., Noghrehyan, M., Toraby, Gh., Mackizadeh, M. A., Taghipour, B., 2008. Mineralogy and petrology in magmatic rocks of Hormoz Formation (salt diapires of High Zagros). *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*. 6(3):377-388.
18. Taghipour, S., Taghipour, B., 2010. Mineralogical studies of metasomatic minerals within volcanic rocks of High Zagros salt domes. *Journal of Crystallography and Mineralogy* Vol. 17, No. 4, Winter, 535 – 550.
19. Wang, J.u., 2014. On area-specific underground research laboratory for geological disposal of high-level radioactive waste in china, *Journal of Mechanic and Geotechnical Engineeng* 6,99-104.
20. Ugur, Yaramanci, 2000. Geoelectric exploration and monitoring in rocksalt for the safety assessment of underground waste disposal sites, *Technical University of Berlin, Department of Aplied Geophysics, Ackerstr.71-76*.

## **Prioritizing of South-West Hormozgan's Salt domes to nuclear Waste landfill with emphasis on watershed conservation**

Rasool Mahdavi<sup>1\*</sup>, Zeynab Balooch Akbari<sup>2</sup>, Mohammad Poosti<sup>3</sup>, Hamid Gholami<sup>1</sup>

Received: 26/2/2017

Accepted: 23/7/2017

### **Abstract**

Recently, scientists are concerned about nuclear waste landfill sites. Because salt pans, salt marsh and salt domes are non-porous environment, with no stubble thickness of salt and the plant communities, less humans and animals can be found around them, so it can be used as a nuclear waste landfill. In this study, 24 environmental criteria are investigated with emphasis on hydrology, watershed management, geological structure and socio-economic situations that included: slope, drainage density, maximum instantaneous discharge, drainage class and other parameters. Then, the criteria were evaluated using questionnaire and consultation with experts. The lowest and the most important criteria were related to maximum instantaneous discharge and distance from residential areas with 0.031 and 0.052 value, respectively. In ELECTRE model, all options were evaluated by non-ranking relations and in this way, non-effective options were eliminated. At first, by calculating numerical values, all criteria were given in the form of a matrix, which is called decision matrix. Then data of the decision matrix values which are non-scaled and criteria values were entered in the matrix. Thereafter, the effective coordinated and uncoordinated matrixes and consistent matrixes were obtained and finally, final matrix is formed. According to ELECTRE model results, it could be possible to prioritize three salt domes of southwestern Hormozgan for burying nuclear waste. Gachin salt dome, with most indices (1), as the most suitable option and Angouran salt dome, a numerical index (0) and Pol salt dome, with an index number (-1), ranked second and third, respectively.

**Keywords:** ELECTRE models, Nuclear waste, Pol Salt Dome, Angouran Salt Dome, Gachin Salt Dome.

1. Assistant Professor, Faculty of Agriculture and Natural Resources Engineering, University of Hormozgan; Email: ra\_mahdavi2000@yahoo.com

2. M.Sc Student, Natural Resources Engineering- Watershed Management, University of Hormozgan

3. Assistant Professor, Faculty of Science, University of Hormozgan