

## ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای با ترکیب

### منطق بولین - فازی (مطالعه موردی: منطقه سحرخیز استان گیلان)

مجتبی برزه کار<sup>۱</sup>

نغمه مبرقی دینان<sup>۲\*</sup>

[n.mobarghaee@sbu.ac.ir](mailto:n.mobarghaee@sbu.ac.ir)

امیر سالمی<sup>۳</sup>

حسن رضانی<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۱۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۴/۱۰

#### چکیده

**زمینه و هدف:** ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای با رعایت الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و در چارچوب اصول آمایش سرزمین یک عامل بسیار مهم در دستیابی به توسعه پایدار است. ارزیابی دقیق توان محیط زیست باعث استقرار مناسب نیروگاه هسته‌ای در مناطق ساحلی مطابق با ملاحظات اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی خواهد شد. هدف عمده این پژوهش ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان با استفاده از ترکیب منطق بولین-فازی برپایه ترکیب خطی وزن‌دار در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

**روش بررسی:** ابتدا با بررسی منابع آژانس بین‌المللی انرژی اتمی، معیارهای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای مشخص گردید. سپس کلیه لایه‌های اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی وارد محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی شد و استانداردسازی لایه‌ها صورت گرفت. در مرحله بعد از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برپایه مقایسه زوجی برای وزن‌دهی لایه‌ها استفاده گردید. در نهایت کلیه لایه‌های اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی از طریق ترکیب منطق بولین-فازی برپایه روش ترکیب خطی وزن‌دار تلفیق شدند.

**یافته‌ها:** پس از تلفیق لایه‌های اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی با استفاده از ترکیب منطق بولین-فازی برپایه روش ترکیب خطی وزن‌دار، مشخص شد که کل مساحت منطقه سحرخیز استان گیلان برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای نامناسب است.

**نتیجه‌گیری:** نتایج نشان می‌دهد بر طبق الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارت هسته‌ای آمریکا جهت ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان، روش منطق بولین-فازی برپایه ترکیب خطی وزن‌دار انعطاف‌پذیری و دقت بالاتری در مقایسه با روش منطق بولین دارد.

**واژه‌های کلیدی:** مکان‌یابی، ترکیب خطی وزن‌دار، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آلودگی محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲- استادیار برنامه‌ریزی محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. \* (مسئول مکاتبات)

۳- استادیار آلاینده‌های محیط زیست، پژوهشکده علوم محیطی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۴- کارشناس دفتر مدیریت مطالعات محیطی، شرکت تولید و توسعه انرژی اتمی ایران، تهران، ایران.

# **Environmental Capability Evaluation in Order to Select Nuclear Power Plant Site with Boolean-Fuzzy Logic Combination**

**(Case Study: The Sahar Khiz Region of Gilan Province)**

**Mojtaba Barzehkar**<sup>1</sup>

**Naghmeh Mobarghaee Dinan**<sup>2\*</sup>

[n.mobarghaee@sbu.ac.ir](mailto:n.mobarghaee@sbu.ac.ir)

**Amir Salemi**<sup>3</sup>

**Hassan Ramezani**<sup>4</sup>

Admission Date: February 2, 2016

Date Received: July 1, 2015

## **Abstract**

**Background and Objective:** Environmental capability evaluation in order to select nuclear power plant site with observance of International Atomic Energy Agency requirements and in the framework of land use planning is a very important factor to achieve sustainable development. Precise evaluation of environmental capability will prepare the establishment of nuclear power plants in the coastal areas according to ecological and socio-economic considerations. The major purpose of this research is evaluation of environmental capability for nuclear power plant site selection in the Sahar Khiz region of Guilan province using Boolean-Fuzzy logic combination method based on the weighted linear combination (WLC) in Geographic information system environment.

**Method:** At the first step investigating with the International Atomic Energy Agency, the nuclear power plant site selection criteria were identified. Then, all the layers of ecological and socio-economical aspects were entered into the Geographic Information System Environment and then the layers were standardized. In the next stage, the Analytical hierarchy process, based on the pair comparison, for weighting of layers were utilized. Finally all the ecological and socioeconomic layers were combined by Boolean-fuzzy logic based on the weighted linear combination.

**Findings:** After combining the ecological and socio-economical layers, it was determined that the total area of Sahar Khiz region of Gilan province is inappropriate for nuclear power plant site selection.

**Discussion and Conclusion:** According to the International Atomic Energy Agency and United States Nuclear Regulatory Commission requirement, the results demonstrate the environment capability evaluation for nuclear power plant site selection in the Sahar Khiz region of Gilan province based on Boolean-Fuzzy logic method and based on the weighted linear combination (WLC), has higher flexibility and higher accuracy comparing with the Boolean logic method.

**Keywords:** Site selection, weighted linear combination, Analytical hierarchy process, Geographical information system.

---

1- MSc. Environmental Pollution, Environmental Sciences Research Institute (ESRI), Shahid Beheshti University, Tehran.

2- Assistant Professor of Environmental Planning, Environmental Sciences Research Institute (ESRI), Shahid Beheshti University, Tehran. \* (Corresponding Author)

3- Assistant Professor of Environmental Pollutants, Environmental Sciences Research Institute (ESRI), Shahid Beheshti University, Tehran.

4- Expert of Environmental Studies Management Office, Nuclear Power Production and Development Company of Iran, Tehran.

## مقدمه

ارزیابی توان محیط زیست اعم از توان اکولوژیکی یا توان اقتصادی اجتماعی، عبارت از برآورد استفاده ممکن انسان از سرزمین برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع‌داری، جنگل‌داری، پارک‌داری (حفاظت، توریسم)، آبرزی پروری، امور نظامی و مهندسی و توسعه شهری، صنعتی و روستایی در چارچوب استفاده‌های کشاورزی، صنعت، خدمات و بازرگانی است (۱).

امروزه با توجه به رشد تقاضا برای خدمات انرژی مدرن، منابع انرژی تجدیدپذیر به تنهایی نمی‌تواند تقاضای انرژی در آینده را برآورده کند و یکی از مهم‌ترین ملاک‌ها برای توسعه پایدار کشورهای در حال توسعه استفاده از انرژی هسته‌ای برای تولید پیوسته برق است و اهمیت این فناوری در تولید روزافزون برق کشور در حال افزایش است (۲). دلایل دیگری هم برای استفاده از نیروگاه هسته‌ای جهت تولید برق وجود دارد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به پاکیزه بودن این روش، عدم تولید گازهای گل‌خانه‌ای و دیگر آلاینده‌های زیست محیطی اشاره نمود. سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ، مقدار قابل توجهی از انواع آلاینده‌ها همانند ترکیبات کربن و گوگرد را وارد محیط زیست می‌کنند که برای سلامت انسان زیان بار است. از سوی دیگر با توجه به افزایش مصرف برق و پایان پذیر بودن منابع سوخت فسیلی به نظر می‌رسد، استفاده از انرژی هسته‌ای بهترین گزینه خواهد بود. هم‌چنین با توجه به این که کاربرد انرژی هسته‌ای برای تولید برق دارای مخاطرات احتمالی برای جوامع و اکوسیستم‌ها شامل انتشار عادی مقادیر اندکی از مواد پرتوزا به هوا و آب، مشکلات حاصل از جا به جایی و انبار پسماندها، احتمال بروز حوادث نظیر نشستی در صورت رعایت نکردن ملاحظات ایمنی می‌باشد و نیز به دلیل فعالیت‌هایی نظیر تسطیح، خاک برداری، استقرار تجهیزات، پاک‌تراشی و سایر موارد در هنگام ساخت و ساز نیروگاه می‌توان دریافت که ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای نقش مهمی در انتخاب بهینه ساخت گاه دارد (۳).

فرآیند انتخاب ساخت گاه نیروگاه‌های هسته‌ای ارتباط مستقیم زیادی با ملاحظات حفاظت از محیط زیست دارد و این

ملاحظات شامل حفاظت از محیط زیست اکولوژیکی یعنی حفاظت از هوا، خاک، منابع آب، زیست‌گاه‌های حفاظت شده و نیز حفاظت از محیط زیست اقتصادی-اجتماعی است و ارزیابی دقیق و جامع ملاحظات محیط زیست اقتصادی-اجتماعی است و ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای باعث می‌شود تا اثرات متقابل منفی محیط زیستی برای انتخاب ساخت گاه به حداقل ممکن کاهش یابد (۴). در واقع هدف از انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با رویکرد ملاحظات محیط زیستی، اطمینان از استقرار نیروگاه در مکانی است که حداقل ریسک را برای محیط زیست و عموم ایجاد کند و تعیین قابلیت‌ها و محدودیت‌های محیط زیست برای استقرار صحیح نیروگاه هسته‌ای در مناطق ساحلی با توجه به معیارهای اکولوژیکی و اقتصادی-اجتماعی است (۵). سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار مهمی در برنامه ریزی مکانی است. ترکیب سامانه اطلاعات جغرافیایی با منطق فازی، رهیافت نسبتاً جدیدی را برای انتخاب موقعیت و ارزیابی تناسب اراضی فراهم می‌کند که ارزیابی چند معیاره نامیده می‌شود. روش ارزیابی چند معیاره یکی از اصولی‌ترین روش‌ها در برنامه ریزی مکانی است (۶).

## پیشینه پژوهش

مرور مطالعات منابع داخلی نشان می‌دهد که ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با منطق بولین انجام می‌شود ولی استفاده از ترکیب منطق بولین-فازی برپایه روش ترکیب خطی وزن دار (WLC) و وزن‌دهی پارامترها به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برای ارزیابی توان محیط زیست جهت انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در مناطق ساحلی شمال و جنوب ایران مشاهده نشده است. در زمینه ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با روش‌های هم‌پوشانی وزنی، منطق فازی برپایه روش ترکیب خطی وزن دار (WLC) و منطق بولین پژوهش‌های متعددی صورت گرفته است. جعفری و همکاران در سال ۲۰۱۵ برای مکان‌یابی ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با رویکرد ملاحظات محیط زیستی در استان هرمزگان کشور ایران از روش هم

نیروگاه هسته‌ای در استان رانب مالزی از روش هم پوشانی وزنی و وزن دهی پارامترها به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. آن‌ها ۷ معیار شامل مناطق با تراکم کم جمعیتی، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از رودخانه، توپوگرافی، کاربری اراضی، فاصله از خطوط انتقال برق و مالکیت اراضی را در مکان یابی نیروگاه هسته‌ای مورد توجه قرار دادند و از طریق تلفیق لایه‌ها با روش هم پوشانی وزنی در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARC GIS)، نقشه نهایی حاصله شامل ۵ سایت برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای به دست آمد که سایت E به دلیل مالکیت دولتی اراضی، مجاورت به منابع آب سطحی و کمترین تراکم جمعیتی به عنوان مناسب‌ترین سایت برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای پیشنهاد شد (۱۰). مشاور اولیه طرح در سال ۱۳۹۱ برای مطالعات مکان یابی ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در مناطق تازه آباد، امیرآباد، انبارسر و سحرخیز استان گیلان، از روش منطق بولین و وزن دهی پارامترها به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. از طریق وزن دهی به معیارها با روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی با استفاده از منطق بولین در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARC GIS)، سایت تازه آباد به دلیل مورفولوژی ساحلی، شیب مطلوب و احتمال کم سیل گیری بالاترین امتیاز و سایت سحرخیز عمدتاً به دلیل نزدیکی به مناطق ح‌ساز زیستی (مانند پناه‌گاه حیات وحش امیرکلایه) و روان‌گرایی بالای خاک به عنوان پایین‌ترین امتیاز مورد ارزیابی قرار گرفته است (۱۱). لیهان و نارماندولا در سال ۲۰۱۱ برای مکان یابی ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای با رویکرد ملاحظاتی محیط زیستی در شهر پکن کشور چین از منطق فازی بر پایه ترکیب خطی وزن دار و وزن دهی پارامترها به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند. در ابتدا به شناسایی و غربال‌گری معیارهای مکان یابی با استفاده از روش دلفی پرداخته و معیارها را به چهار گروه طبیعی، فنی، اقتصادی و ایمنی تقسیم بندی کرده و سپس وزن نهایی معیارها و زیرمعیارها را با فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دست آورده و

پوشانی وزنی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC) و وزن دهی پارامترها به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی استفاده کردند و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARC GIS) را از طریق روش هم پوشانی وزنی برپایه ترکیب خطی وزن دار به انجام رساندند و نقشه نهایی حاصل از روش هم پوشانی وزنی را در چهار طبقه نامطلوب، نسبتاً نامطلوب، نسبتاً مطلوب و مطلوب تهیه کردند (۷). ابودیف و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای مکان یابی ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در سواحل کشور مصر از روش‌های منطق بولین و روش منطق فازی بر پایه ترکیب خطی وزن دار (WLC) استفاده کردند. برای استفاده از منطق بولین، شش لایه اطلاعاتی را با استفاده از عملیات بولین برپایه حاصل جمع لایه‌ها (OR) در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARC GIS) تلفیق کردند و نقشه نهایی بولین شامل دو طبقه مناسب و نامناسب را به دست آوردند. در مرحله بعد برای غربال‌گری و رتبه بندی مکان‌های مناسب با استفاده از ۲۲ معیار از روش منطق فازی بر پایه روش ترکیب خطی وزن دار (WLC) استفاده کردند که استاندارد سازی فازی لایه‌ها بین ارزش صفر و یک و نیز وزن نهایی لایه‌ها را با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و از طریق نرم افزار فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Expert Choice) محاسبه کردند و نهایتاً از طریق تلفیق لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از روش منطق فازی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC)، نقشه تناسب نهایی با ۵ طبقه با الویت‌های ۱ تا ۴ و نامناسب را در سواحل کشور مصر در مجاورت با دریای مدیترانه و دریای سرخ به دست آوردند (۸). ارول و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای مکان یابی ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در ترکیه از رویکرد چند معیاره تاپسیس فازی استفاده کردند. برای حل عدم قطعیت‌ها در فرآیند مکان یابی و حل ابهامات در نظرات کارشناسی از این رویکرد استفاده کردند و از طریق تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARC GIS)، الویت‌بندی گزینه‌های مکانی برای انتخاب سایت‌های نیروگاه هسته‌ای را با استفاده از روش تاپسیس به انجام رساندند (۹). ابدلطیف و ایدریس در سال ۲۰۱۲ برای انتخاب ساخت‌گاه

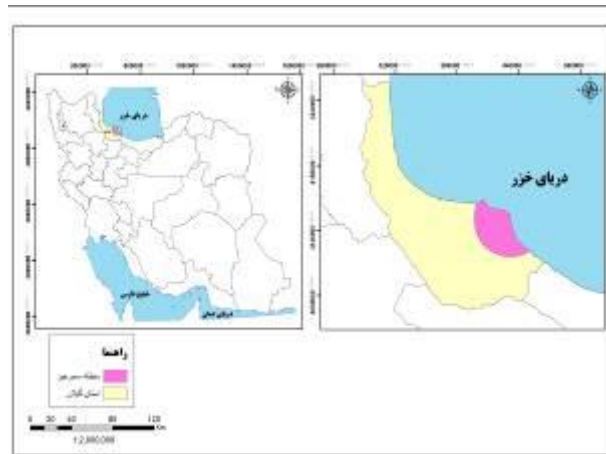
مرطوب طبقه بندی می‌شود که میزان بارش سالیانه منطقه ۱۴۴۰/۳ میلی متر و جهت سالیانه گل باد در منطقه، جهت شمالی و شمال غربی می باشد. از نظر منابع آب سطحی، در حدود ۱۱ رودخانه دائمی و ۲ دریاچه دائمی در منطقه وجود دارند که رودخانه‌های سفیدرود و شامرود از مهم ترین رودخانه‌های دائمی منطقه محسوب می شوند. منطقه سحرخیز استان گیلان، شهرهای رودسر، لنگرود، لاهیجان، آستانه اشرفیه، کباشهر و غیره را در بر می گیرد. منطقه مطالعاتی دارای تراکم بالای جمعیتی می باشد. از طرفی زیست‌گاه‌های حفاظت شده بسیار مهم که ارزش غنی از نظر گونه های گیاهی و جانوری دارند شامل پارک ملی بوجاق، پناه‌گاه حیات وحش امیرکلایه، ذخیره گاه جنگلی صفرابسته و سایر تالاب‌های با ارزش اکولوژیک در منطقه سحرخیز واقع هستند. هم چنین بسیاری از تاسیسات خطرناک نظیر خط لوله گاز، معادن و کارخانه خودروسازی لاهیجان در داخل محدوده مطالعاتی واقع است که از نظر محیط فیزیکی، زیستی و اقتصادی-اجتماعی منطقه مطالعاتی بسیار حساس و مهم از نظر مطالعات ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای است. در واقع طبق الزامات آژانس بین المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارت هسته ای آمریکا برای هر کدام از زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی، حریمی در نظر گرفته شده است و طبق حریم های لحاظ شده برای هر کدام از زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی، انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در محدوده منطقه سحرخیز استان گیلان صورت خواهد گرفت (۱۳). شکل (۱) موقعیت منطقه سحرخیز را در استان گیلان و ایران نشان می دهد.

نهایتاً تلفیق لایه ها با روش منطق فازی در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARC GIS) صورت گرفت (۱۲). هدف اصلی پژوهش حاضر، ارزیابی توان محیط زیست با ترکیب منطق بولین- فازی بر پایه روش ترکیب خطی وزن دار برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در بخشی از منطقه ساحلی دریای خزر واقع در منطقه سحرخیز استان گیلان با لحاظ نمودن الزامات آژانس بین المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارت هسته‌ای آمریکا در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در بخشی از منطقه ساحلی دریای خزر و در منطقه سحرخیز استان گیلان واقع است. منطقه سحرخیز در اطراف روستای محله سحرخیز و در ۵ کیلومتری مصب شامرود و ۱۰ کیلومتری شمال لاهیجان قرار گرفته است. منطقه سحرخیز در ۳۷ درجه و ۱۹ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی قرار گرفته است و ۲۳ تا ۲۶ متر پایین تر از سطح دریا قرار دارد؛ منطقه‌ای با مساحت ۱۶۲۷/۱۰ کیلومتر مربع که جهت عمومی شیب منطقه به طرف شمال غربی است. براساس مشاهدات میدانی این منطقه دارای دشت‌های صافی است که توسط شیب‌های ملایم توصیف می شود و عمدتاً برای کاربری کشاورزی استفاده می‌شود. روستاهای پراکنده شده در این منطقه به وسیله تپه‌های شنی خطوط ساحلی پوشانده شده است و مرداب‌های بخش‌های شرقی و جنوبی منطقه مورد مطالعه سحرخیز برای اهداف مسکونی استفاده می‌شوند. نوع آب و هوای منطقه سحرخیز براساس شاخص دومارتون بسیار



شکل ۱- موقعیت منطقه مطالعاتی در استان گیلان و ایران

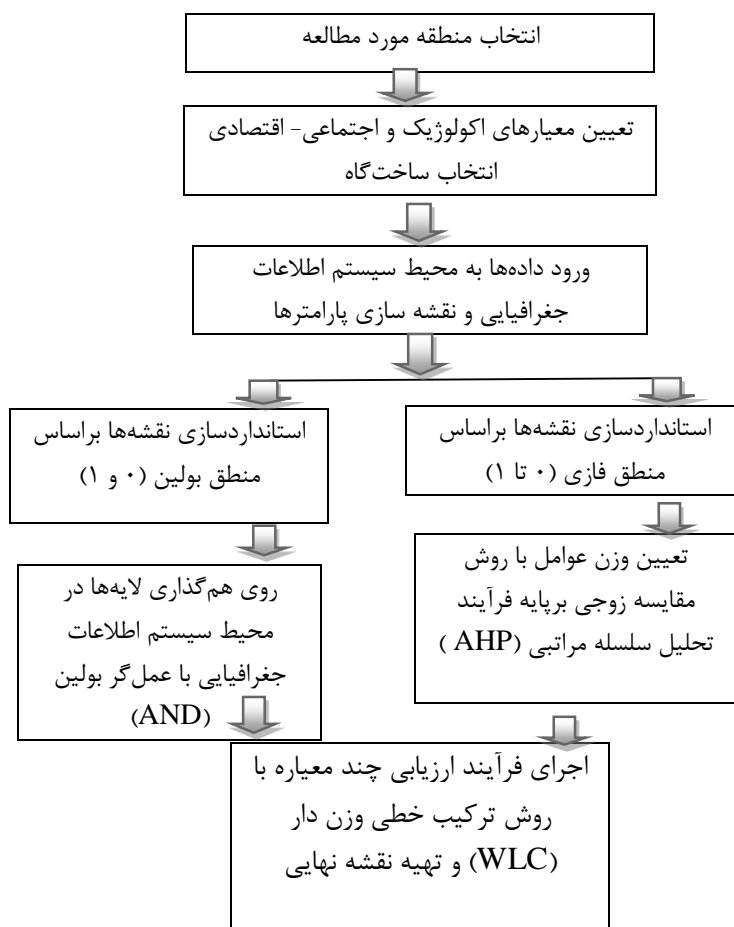
Figure 1- Location of study area in Gilan Province and Iran

### روش مطالعه

ارزش‌ها به دامنه یکسانی بین ۰ تا ۱ می‌شود. در مرحله بعد وزن نهایی زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی با استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و از طریق نرم افزار فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Expert Choice) به دست خواهد آمد. در نهایت برای تلفیق نقشه‌های زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی، از ترکیب منطق بولین-فازی برپایه روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده خواهد شد که رایج‌ترین روش مورد استفاده در تلفیق داده‌ها می‌باشد. در روش ارزیابی چند معیاره ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) هر لایه استاندارد شده در وزن نهایی مرتبط با آن ضرب می‌گردد و سپس لایه‌ها با هم جمع می‌شوند. زمانی که وزن‌ها برای هر سلول محاسبه شد، نقشه حاصل یک بار دیگر در محدودیت‌های بولین ضرب می‌گردد تا مناطقی که نباید مورد محاسبه قرار گیرند خارج گردند. نقشه نهایی، مربوط به محاسبه ترکیب مطلوبیت در محدوده بین صفر تا ۱ برای مناطقی است که محدودیتی برای توسعه نیروگاه هسته‌ای با رویکرد ملاحظات محیط زیستی ندارند.

شکل (۲) مراحل اجرای ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای با ترکیب منطق بولین-فازی برپایه روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

برای ارزیابی توان محیط زیست جهت انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان تعداد زیادی پارامترهای محیط زیستی (اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی) نقش دارند. در مرحله اول پژوهش معیارها و زیرمعیارهای موثر اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی جمع‌آوری گردید. در مجموع از طریق غربال‌گری معیارها و زیرمعیارها در نهایت ۹ زیرمعیار اکولوژیک و ۶ زیرمعیار اجتماعی-اقتصادی گردآوری شد. پس از تعیین زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، تمامی لایه‌های اطلاعاتی براساس سیستم تصویر (UTM) زون ۳۹ شمالی و بیضوی مینا (WGS 1984) پروژکت شدند. سپس تهیه نقشه لایه‌های محدودیت هر یک از زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی از طریق منطق بولین صورت خواهد گرفت. اعمال محدودیت‌ها در روند ارزیابی چند معیاره باعث می‌شود مناطقی که امکان ساخت نیروگاه هسته‌ای در آن‌ها وجود ندارد از بقیه گزینه‌ها جدا و از فرآیند تصمیم‌گیری حذف شوند. در نقشه محدودیت، به مناطق دارای محدودیت برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای ارزش صفر و به سایر مناطق ارزش یک اختصاص می‌یابد. بعد از این مرحله به منظور امکان ترکیب لایه‌های اطلاعاتی، از توابع عضویت فازی برای استاندارد سازی لایه‌های زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی استفاده خواهد شد. استاندارد سازی لایه‌های اطلاعاتی باعث تبدیل همه



شکل ۲- مراحل اجرای ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با ترکیب منطق بولین- فازی در منطقه مورد مطالعه

Figure 2- The Implementation stages of environmental capability evaluation for nuclear power plant site selection with Boolean-Fuzzy logic combination in the study area

شرایط خاص منطقه مطالعاتی شامل فاصله از گسل، سیل خیزی، فاصله از دریا، فاصله از دریاچه، فاصله از تالاب، فاصله از رودخانه، فاصله از مناطق حفاظت شده تحت مدیریت، تراکم مراکز جمعیتی، فاصله از خط انتقال گاز، فاصله از صنایع و معادن و فاصله از خطوط انتقال برق است. جدول (۱) معیارها و زیرمعیارهای اکولوژیک برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سخرخیز را نشان می دهد.

#### اجرای منطق بولین- فازی بر پایه روش ترکیب خطی وزن دار (WLC)

برای اجرای روش ترکیب منطق بولین- فازی در ابتدا با توجه به استانداردهای آژانس بین المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارتی هسته‌ای آمریکا معیارها و زیرمعیارهای اکولوژیک و اقتصادی- اجتماعی موثر در فرآیند مکان یابی ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سخرخیز استان گیلان شناسایی گردید. مهم ترین زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی، با توجه به

## جدول ۱- معیارها و زیرمعیارهای اکولوژیکی برای انتخاب ساختگاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز

Table 1-Ecological criteria and sub-criteria for nuclear power plant site selection in the sahar khiz area

منابع	توضیحات	زیرمعیار	معیار	گروه معیار
(۱۴)	یکی از مهم ترین محدودیتها در انتخاب ساختگاه نیروگاه هسته‌ای، مربوط به قرار داشتن ساختگاه بر روی گسل‌های فعال است. مکان‌های مناسب برای ساختگاه نیروگاه هسته‌ای باید در فاصله ۸۰۰۰ متری از گسل‌های فعال قرار داشته باشد.	فاصله از گسل	فیزیکی	عوامل اکولوژیکی
(۱۵) (۱۶)	در ارزیابی‌های مکانی نیروگاه هسته‌ای، مناطق واقع شده در محدوده دشت‌های سیلابی کنار گذاشته می‌شوند.	سیل خیزی		
(۱۷)	ملاحظات عمده در توسعه نیروگاه‌های هسته‌ای در آینده باید از جهت تامین آب برای سیستم‌های خنک کننده نیروگاه باشد. ساختگاه مطلوب اغلب نیروگاه‌های هسته‌ای جهان در کنار سواحل دریا می باشد، ضمن این که باید به آلودگی حرارتی نیروگاه بر دریا توجه داشت.	فاصله از دریا		
(۱۸)	آب مورد نیاز نیروگاه هسته‌ای می تواند از منابع آب سطحی نظیر رودخانه‌ها و دریاچه‌ها تامین شود. اما از آن جایی که رودخانه‌ها و دریاچه‌ها جزء اکوسیستم‌های تفرج گاهی هستند و از نظر اکولوژیکی حساس به تخریب‌های حاصل از استقرار نیروگاه می‌باشند، بنابراین رعایت حریم رودخانه‌ها و دریاچه‌ها از الزامات آژانس بین المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارتی هسته‌ای آمریکا است.	فاصله از منابع آب سطحی		
(۱۸)	در مطالعات فیزیوگرافی عمدتاً شیب منطقه در ارزیابی مکانی ساختگاه نیروگاه هسته‌ای مورد توجه قرار می گیرد و مناطق با شیب بیش از ۱۲ درصد به عنوان مناطق نامناسب مورد توجه قرار می‌گیرند.	شیب منطقه		
(۱۸)	بر طبق معیارها و دستورالعمل‌های کمیسیون نظارتی هسته‌ای آمریکا و آژانس بین المللی انرژی اتمی، مناطق و زیستگاه‌های دارای ارزش اکولوژیکی بالا (شامل مناطق حفاظت شده و تالابها) باید در فاصله ۱۶۰۰۰ متری از مکان ساختگاه نیروگاه هسته‌ای شناسایی و ارزیابی شوند.	فاصله از مناطق حفاظت شده تحت مدیریت و تالابها		
(۱۹)	بر طبق قوانین و مقررات آژانس بین المللی انرژی اتمی، جنگل‌ها، مراتع و اراضی کشاورزی دارای ارزش اکولوژیکی کم برای انتخاب ساختگاه نیروگاه هسته‌ای هستند.	کاربری اراضی		

می‌دهد.

جدول (۲) معیارها و زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی برای

انتخاب ساختگاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز را نشان



جدول ۲- معیارها و زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز

Table 2- Socio-economic criteria and sub-criteria for nuclear power plant site selection in the sahar khiz area

منابع	توضیحات	زیرمعیار	معیار	گروه معیار
(۲۰)	مراکز جمعیتی با تراکم بیش از ۱۹۴ فرد در هر کیلومتر مربع به عنوان مناطق نامناسب برای ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای است.	تراکم مراکز جمعیتی	اجتماعی	عوامل انسانی
(۲۱)	طبق قانون ماده ۱۸ سازمان توسعه و انتقال نیروی برق ایران، برای جلوگیری از بروز خسارت جانی و مالی، حریم ۴۰ متری خطوط انتقال برق باید رعایت شود.	فاصله از خطوط انتقال برق	اقتصادی	
(۲۲)	فعالیت‌های مربوط به تاسیسات خطرناک در محدوده ۸۰۰۰ متری از ساخت گاه پیشنهادی باید شناسایی و ارزیابی شود.	فاصله از خط لوله گاز		
(۲۲)	فعالیت‌های مربوط به تصفیه خانه فاضلاب در محدوده ۸۰۰۰ متری از ساخت گاه پیشنهادی باید شناسایی و ارزیابی شود.	فاصله از تصفیه خانه فاضلاب		
(۲۲)	فعالیت‌های مربوط به صنایع در محدوده ۸۰۰۰ متری از ساخت گاه پیشنهادی باید شناسایی و ارزیابی شود.	فاصله از صنایع (شامل صنایع چای، کلوچه و کارخانه خودروسازی)		
(۲۲)	فعالیت‌های مربوط به معادن در محدوده ۸۰۰۰ متری از ساخت گاه پیشنهادی باید شناسایی و ارزیابی شود.	فاصله از معادن		

(عضویت کامل) تعریف می‌شود. در این مقیاس اعداد بزرگ‌تر مطلوبیت بیش‌تری خواهند داشت، یعنی عدد ۱ یا ۲۵۵ دارای بالاترین مطلوبیت و عدد صفر فاقد مطلوبیت می‌باشد و طیفی از این مقادیر بین این دو عدد قرار می‌گیرند که هر چه به عدد ۱ یا ۲۵۵ نزدیک‌تر می‌شود مطلوبیت افزایش می‌یابد (۲۳). روش‌های مختلفی برای استانداردسازی لایه‌های اطلاعاتی با استفاده از ارزش‌های حداقل و حداکثر به عنوان نقاط مقیاس ارائه شده است که ساده‌ترین آن‌ها مقیاس خطی است که معادله برای توابع صعودی به صورت رابطه (۱) است:

$$x_i = \left( \frac{R_i - R_{\min}}{R_{\max} - R_{\min}} \right)$$

هم‌چنین معادله برای توابع نزولی به صورت رابطه (۲) است:

$$x_i = \left( \frac{R_{\max} - R_i}{R_{\max} - R_{\min}} \right)$$

در مرحله بعد پس از تهیه نقشه‌های رستری مربوط به زیرمعیارهای اکولوژیک و اقتصادی- اجتماعی موثر در فرآیند ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه باید به این نکته توجه داشت که تمامی نقشه‌های زیرمعیارهای اکولوژیک و اقتصادی- اجتماعی با هم دیگر قابل مقایسه نیستند زیرا در واحدهای متفاوتی اندازه‌گیری می‌شوند. بنابراین لازم است تا در فرآیند تصمیم‌گیری چند معیاره، در قالبی تعریف شوند که قابل مقایسه با یک دیگر باشند. لذا باید قبل از تلفیق زیرمعیارهای اکولوژیک و اقتصادی- اجتماعی موثر جهت ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه، از فرمول‌های استانداردسازی استفاده کرده و همه ارزش‌های لایه‌های اطلاعاتی (پیکسل‌های نقشه‌ها) را براساس آن تغییر امتیاز داد. در استانداردسازی فازی میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری در بازه صفر (عدم عضویت کامل) تا ۱ یا ۲۵۵

R امتیاز خام هر کدام از پیکسل‌های نقشه‌ها است. براساس الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارت هسته‌ای آمریکا نشان می‌دهد. جدول (۳) معیارهای لازم برای استانداردسازی فازی و تهیه نقشه‌های بولین لایه‌های اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی را

جدول ۳- معیار برای استانداردسازی لایه‌ها براساس الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارت هسته‌ای آمریکا

Table 3- Criteria for standardization of layers based on the International Atomic Energy Agency and United States Nuclear Regulatory Commission requirements

عامل محدود کننده	معیار برای استانداردسازی لایه‌ها
مناطق حفاظت شده	فاصله ۱۶۰۰۰ متری
تالاب‌ها	فاصله ۱۶۰۰۰ متری
شیب	شیب‌های کمتر از ۱۲ درصد
دریاچه	فاصله ۲۰۰۰ متری
رودخانه	فاصله ۵۰۰ متری
صنایع	فاصله ۸۰۰۰ متری
معادن	فاصله ۸۰۰۰ متری
خطوط لوله گاز	فاصله ۸۰۰۰ متری
تصفیه خانه فاضلاب	فاصله ۸۰۰۰ متری
خطوط انتقال برق	فاصله ۴۰ متری
سیل خیزی	مناطق خارج از محدوده دشت‌های سیلابی
گسل	فاصله ۸۰۰۰ متری
تراکم مراکز جمعیتی	مراکز جمعیتی با تراکم بیش از ۱۹۴ فرد در هر کیلومتر مربع

نقشه‌های زیرمعیارها (عوامل) و تهیه نقشه لایه‌های محدودیت برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان، براساس اهمیت معیارها و زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی و اقتصادی باید وزنی به آن‌ها داده شود. در واقع براساس میزان اهمیت و تاثیر معیارها و زیرمعیارها در ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای، وزن دهی باید صورت گیرد که یکی از رایج‌ترین روش‌های مورد استفاده برای تصمیم‌گیری‌های مکانی مبتنی بر سامانه اطلاعات جغرافیایی، استفاده از روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن دهی به معیارها و زیرمعیارها است. به منظور تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی-اقتصادی ابتدا ماتریس مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارها تهیه گردید. این ماتریس درجه اهمیت هر پارامتر را نسبت به سایر پارامترها نشان می‌دهد. سپس برای تعیین الویت دو به دوی معیارها نسبت به یک دیگر، از نظرات کارشناسان مسلط به ارزیابی توان محیط زیست و آمایش سرزمین استفاده گردید. در این پژوهش از نظرات ۲۰ متخصص بهره‌بردار شده است. در ماتریس مقایسه زوجی تعیین میزان اهمیت معیارها و زیرمعیارها نسبت به هم به صورت زیر خواهد بود:

جدول (۴) مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهد (۲۴).

جدول (۴) مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی معیارها و زیرمعیارها را نشان می‌دهد (۲۴).

جدول ۴- مقادیر ترجیحات برای مقایسه زوجی

Table 4- Preferences values for pair comparison

مقدار عددی	ترجیحات	مقدار عددی	ترجیحات
۱/۳	کمی کم اهمیت تر	۹	کاملاً ارجح یا کاملاً مهم تر یا کاملاً مطلوب تر
۱/۵	کم اهمیت قوی	۷	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت خیلی قوی
۱/۷	کم اهمیت خیلی قوی	۵	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت قوی
۱/۹	کاملاً کم اهمیت تر	۳	کمی ارجح یا کمی مهم تر یا کمی مطلوب تر
۱/۲، ۰.۸، ۰.۶، ۰.۴، ۰.۲ ۱/۸ و ۱/۴	کم اهمیتی بین فواصل فوق	۱	ترجیح یا اهمیت یا مطلوبیت یکسان

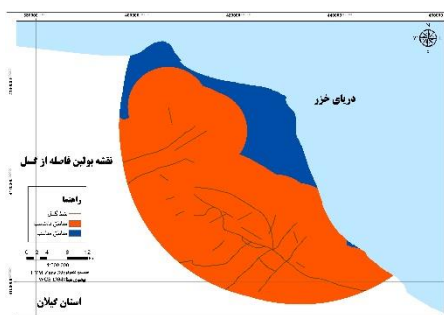
می شوند. زمانی که وزن‌ها برای هر سلول محاسبه شد، تصویر حاصل یک بار دیگر در محدودیت‌های بولین ضرب می گردند تا مناطقی که نباید مورد محاسبه قرار گیرند خارج شوند. تصویر نهایی، مربوط به محاسبه ترکیب مطلوبیت در محدوده بین صفر تا یک برای مناطقی است که محدودیتی برای توسعه ندارند (۲۵). رابطه (۳) فرمول منطق بولین- فازی بر پایه روش ترکیب خطی وزن دار (WLC) را نشان می دهد.

$$S = \sum_{i=1}^n w_i x_i \prod C_j$$

در رابطه (۳)، S نشان دهنده تناسب برای کاربری مورد نظر،  $w_i$  وزن نهایی لایه،  $x_i$  لایه فازی،  $C_j$  لایه محدودیت و  $\prod$  علامت ضرب است.

#### یافته‌ها

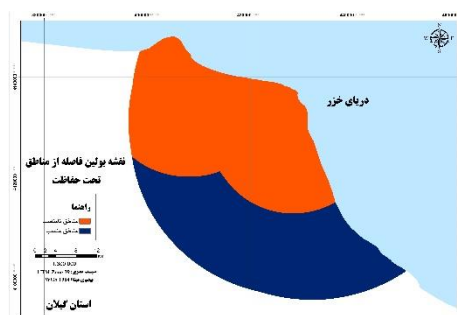
شکل‌های (۳ تا ۶)، یافته‌های حاصل از اجرای منطق بولین جهت ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سخرخیز استان گیلان را نشان می دهد.



شکل ۴- نقشه بولین فاصله از گسل

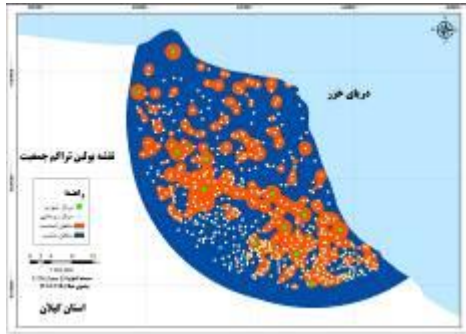
Figure 4- Boolean map of distance from protected area

در نهایت وزن نهایی معیارها و زیرمعیارهای اکولوژی یک و اجتماعی- اقتصادی مطابق مقادیر ترجیحات جدول فوق و با استفاده از نرم افزار فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (Expert Choice) محاسبه شد. مجموع وزن نهایی زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی برابر یک خواهد بود. در مرحله بعد انجام فرآیند ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سخرخیز استان گیلان، براساس ترکیب لایه‌های اطلاعاتی زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی است. یکی از رایج ترین روش‌های مورد استفاده در ارزیابی چند معیاره مکانی، استفاده از روش ترکیب خطی وزن دار (WLC) است. در این پژوهش ترکیب منطق بولین- فازی بر پایه روش ارزیابی چند معیاره ترکیب خطی وزن دار (WLC) برای تلفیق لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده قرار گرفت. به منظور انجام فرآیند ارزیابی توان محیط زیست با این روش، مطابق رابطه (۳) هر عامل استاندارد شده در وزن نهایی مرتبط با آن ضرب می شود و سپس عوامل با هم جمع



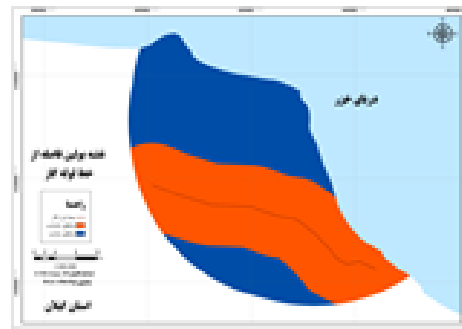
شکل ۳- نقشه بولین فاصله از مناطق حفاظت شده

Figure 3- Boolean map of distance from fault



شکل ۶- نقشه بولین تراکم جمعیت

Figure 6- Boolean map of distance from gas pipeline

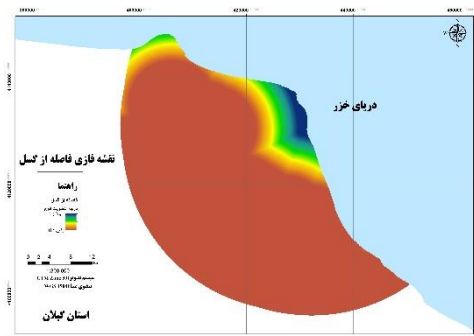


شکل ۵- نقشه بولین فاصله از خط لوله گاز

Figure 5- Boolean map of population density

توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان را نشان می‌دهد.

هم چنین شکل‌های (۷ تا ۱۰) یافته‌های حاصل از استانداردسازی فازی زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی جهت ارزیابی



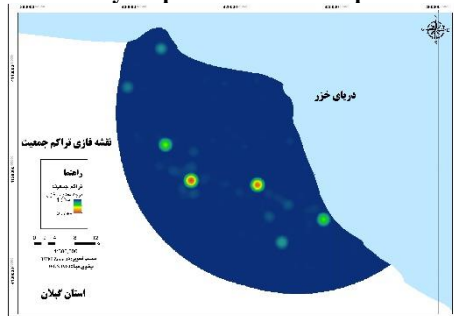
شکل ۸- نقشه فازی فاصله از گسل

Figure 8- Fuzzy map of distance from protected area



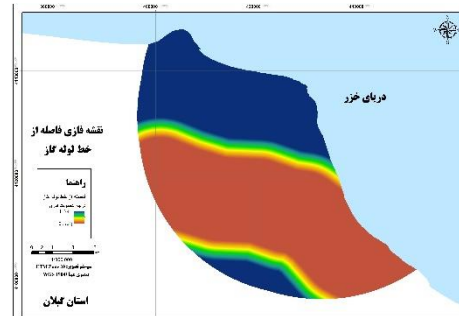
شکل ۷- نقشه فازی فاصله از مناطق حفاظت شده

Figure 7- Fuzzy map of distance from fault



شکل ۱۰- نقشه فازی تراکم جمعیت

Figure 10- Fuzzy map of distance from gas pipeline



شکل ۹- نقشه فازی فاصله از خط لوله گاز

Figure 9- Fuzzy map of population density

می‌دهد.

جدول (۵) نتایج به دست آمده برای وزن نهایی زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی حاصل از روش AHP را نشان

جدول ۵- وزن نهایی و اولویت بندی زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای

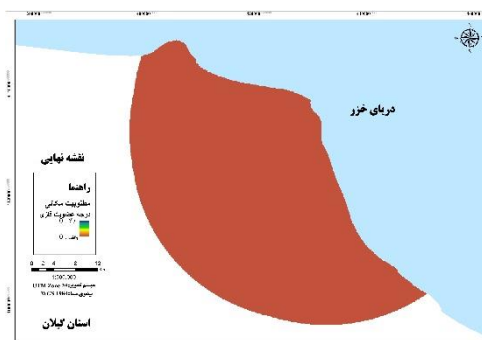
### حاصل از روش AHP

Table 5- Final weights and priorities of the ecological and socio-economic sub-criteria for nuclear power plant site selection resulted of AHP method

اولویت	وزن	زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی	ردیف	الویت	وزن	زیرمعیارهای اکولوژیک	ردیف
۱	۰/۲	تراکم جمعیت	۱	۱	۰/۱۵۵	فاصله از گسل	۱
۲	۰/۰۹۲۵	فاصله از خطوط انتقال برق	۲	۲	۰/۰۷۶۵	سیل خیزی	۲
۳	۰/۰۸۱۵	فاصله از خط لوله گاز	۳	۳	۰/۰۶۲	فاصله از دریا	۳
۴	۰/۰۴۹	فاصله از تصفیه خانه فاضلاب	۴	۴	۰/۰۴۹۵	فاصله از مناطق تحت حفاظت	۴
۵	۰/۰۴۲	فاصله از صنایع	۵	۵	۰/۰۳۹۵	فاصله از تالاب	۵
۶	۰/۰۳۵	فاصله از معدن	۶	۶	۰/۰۳۸	فاصله از دریاچه	۶
				۷	۰/۰۳۴	فاصله از رودخانه	۷
				۸	۰/۰۲۶	شیب	۸
				۹	۰/۰۱۹۵	کاربری اراضی	۹

هستند و سازگاری در قضاوت‌ها قابل قبول می‌باشد. شکل (۱۱) نقشه نهایی حاصل از اجرای منطق بولین- فازی برپایه روش WLC را نشان می‌دهد.

در این پژوهش، میزان ضریب ناسازگاری برای زیرمعیارهای اکولوژیک ۰/۰۲ به دست آمد و هم چنین میزان ضریب ناسازگاری برای زیرمعیارهای اجتماعی- اقتصادی ۰/۰۰۹۵ حاصل شد. وزن‌های نهایی به دست آمده دارای سازگاری خوبی



شکل ۱۱- نقشه نهایی حاصل از اجرای منطق بولین- فازی برپایه روش WLC

Figure 11. Final map resulted from implementation of Boolean-Fuzzy logic based on the WLC method

## بحث

ارزیابی توان محیط زیست جهت انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای طبق الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارت هسته‌ای آمریکا به عنوان منطقی‌ترین روش برای برنامه ریزی مکانی نیروگاه‌های هسته‌ای، نقش مهمی در کاهش تأثیرات متقابل منفی محیط زیست و نیروگاه و رسیدن به توسعه پایدار دارد. در واقع کلیه کشورهای جهان جهت اطمینان از ایمنی تاسیسات نیروگاه هسته‌ای در برابر مخاطرات محیطی مهم نظیر زلزله، سیلاب و رانش زمین، افزایش ظرفیت و توان مطلوب نیروگاه در تولید برق و حفظ سلامت محیط فیزیکی و بیولوژیکی منطقه و ضرورت توجه به محیط اقتصادی-اجتماعی منطقه جهت استقرار صحیح نیروگاه هسته‌ای در مناطق ساحلی، ملزم به رعایت استانداردهای آژانس بین‌المللی انرژی اتمی برای انتخاب ساخت‌گاه مطلوب نیروگاه هسته‌ای هستند. در واقع با مرور الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی مشخص می‌شود که در اغلب نیروگاه‌های هسته‌ای جهان تمامی اصول فنی و مهندسی مطابق با ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه این تاسیسات رعایت می‌شود و تجارب کشورهای حاشیه دریای خزر نظیر کشورهای روسیه، قزاقستان و کشورهای پیشرفته دنیا نظیر کشورهای سوئیس، فرانسه و سایر کشورهای پیش‌گام در استفاده از نیروگاه هسته‌ای برای تولید برق نشان داده است که با رعایت کلیه الزامات آژانس بین‌المللی انرژی اتمی در انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای متناسب با توان محیط زیست منطقه، می‌توان به اهداف حفاظت از محیط زیست و توسعه پایدار دست یافت. از طرفی نیازهای اقتصادی-اجتماعی مردم منطقه را برآورده ساخت و نیز از بروز بحران‌های محیط زیستی نظیر بحران‌هایی که در حادثه نیروگاه فوکوشیما ژاپن و نیروگاه چرنوبیل اوکراین رخ داد پیش‌گیری کرد.

در پژوهش انجام شده توسط مشاور اولیه طرح در سال ۲۰۱۲، چهار سایت شامل مناطق تازه‌آباد، امیرآباد، سحرخیز و انبار سر برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای با رویکرد ملاحظات محیط زیستی در سواحل دریای خزر بررسی و مطالعه شده است و از طرفی در این پژوهش، تنها منطقه سحرخیز برای

مطالعات ارزیابی توان محیط زیست جهت انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. هم‌چنین مشاور اولیه طرح روش منطق بولین را جهت مطالعات انتخاب نیروگاه هسته‌ای به کار برده است. در روش منطق بولین به علت محدود بودن انتخاب‌ها در فرآیند ارزیابی توان محیط زیست، انعطاف‌پذیری مناسبی وجود ندارد. بنابراین در نتایج حاصل از منطق بولین در مطالعات ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای توسط مشاور اولیه طرح، تمامی زیرمعیارهای اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی دارای اهمیت یکسانی در مطالعات انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای مطابق با توان محیط زیستی منطقه می‌باشند و بنابراین تمامی اطلاعات برای انتخاب مناطق با درجه مطلوبیت متفاوت برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای از بین می‌رود و کل منطقه سحرخیز فاقد توان محیط زیستی برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای است. در صورتی که در ترکیب منطق بولین-فازی بر پایه روش ترکیب خطی وزن‌دار انجام گرفته در این پژوهش، استانداردسازی زیرمعیارهای اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی در ساختاری پیوسته فراهم می‌شود و از طرفی توانایی آن در اختصاص وزن‌های نسبی متفاوت به هر یک از زیرمعیارهای اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی در فرآیند ترکیب لایه‌های اطلاعاتی از مزیت‌های این روش است که این وزن‌ها اهمیت هر زیرمعیار را در مقابل سایر زیرمعیارها جهت ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای نشان می‌دهد و بنابراین متناسب با توان محیط زیستی منطقه (اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی) می‌تواند برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای تصمیم‌گیری نمود.

استفاده از ترکیب منطق بولین-فازی بر پایه روش ترکیب خطی وزن‌دار برای ارزیابی توان محیط زیست جهت انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در این پژوهش با نتایج ابودیف و همکاران در سال ۲۰۱۴ برای انتخاب چهار ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در کشور مصر مطابقت نمی‌کند. در نتایج حاصل از پژوهش ابودیف و همکاران برای انتخاب چهار ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در سواحل دریای مدیترانه و دریای سرخ با روش

محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای را مشخص کرد. در واقع ترکیب منطق بولین- فازی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC) دارای انعطاف پذیری و دقت بالاتری نسبت به روش هم پوشانی وزنی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC) می‌باشد.

#### نتیجه گیری

همان طور که از نقشه نهایی توان محیط زیستی منطقه برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای مشخص است، طبق الزامات آژانس بین المللی انرژی اتمی و کمیسیون نظارت هسته‌ای آمریکا، منطقه سحرخیز استان گیلان فاقد توان محیط زیستی برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای می‌باشد. در واقع ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان برای انتخاب مکانی است که کمترین تاثیر محیط زیستی از نیروگاه را بر ساختار و عمل کرد اکوسیستم‌های منطقه تحمیل کند و از طرفی محیط زیست نیز بیشترین اطمینان و قابلیت را برای ایمنی تاسیسات نیروگاه هسته‌ای، افزایش توان مطلوب و بازدهی نیروگاه در تولید برق فراهم کند. در واقع متخصصان محیط زیست با مشارکت کارشناسان بخش انرژی اتمی کشور و همکاری با سازمان حفاظت محیط زیست و سایر نهادها و وزارت خانه‌ها و با رعایت دقیق و جامع الزامات آژانس بین المللی انرژی اتمی، باید متناسب با ظرفیت برد محیط زیستی هر منطقه به ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای بپردازند. چرا که منطقه سحرخیز استان گیلان توان محیط زیستی بسیار محدودی برای استقرار نیروگاه هسته‌ای دارد و به خاطر آسیب پذیری اکولوژیکی اکوسیستم‌های منطقه نظیر پارک ملی بوجاق، پناه گاه حیات وحش امیرکلا، ذخیره گاه جنگلی صغرابسته و آسیب پذیری آبخوان‌های منطقه، انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان توصیه نمی‌شود. از طرفی اگر متناسب با قابلیت‌ها و توان طبیعی محیط زیست، برنامه ریزی مکانی صحیحی در راستای اهداف آمایش سرزمین مناطق شمالی کشور صورت نگیرد منجر به، از دست رفتن مقدار زیادی از منابع مالی کشور، تخریب زیاد

منطق بولین، دو طبقه برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای مطابق با توان محیط زیستی منطقه به دست آمده است و برای انتخاب چهار ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با روش منطق فازی برپایه ترکیب خطی وزن دار در سواحل ذکر شده، پنج طبقه با درجه مطلوبیت متفاوت جهت انتخاب ساخت گاه‌های نیروگاه هسته‌ای مطابق با توان محیط زیستی منطقه حاصل شده است و نتایج حاصل از آن‌ها نشان دهنده انعطاف پذیری بالا و دقت منطق فازی برپایه ترکیب خطی وزن دار برای انتخاب ساخت گاه‌های مطلوب نیروگاه هسته‌ای با رویکرد کمترین تاثیرات محیط زیستی نسبت به روش منطق بولین می‌باشد. در صورتی که از نتایج حاصل از این پژوهش برای مطالعات ارزیابی توان محیط زیست جهت انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای برپایه ترکیب منطق بولین- فازی، یک طبقه فاقد توان محیط زیستی برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان به دست آمده است.

نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج جعفری و همکاران در سال ۲۰۱۵ برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با روش هم پوشانی وزنی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC) در استان هرمزگان مطابقت نمی‌کند. در نتایج حاصل از پژوهش جعفری و همکاران برای انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای با رویکرد ملاحظات محیط زیستی در استان هرمزگان، از طریق تلفیق لایه‌های اطلاعاتی زیرمعیارهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی با روش هم پوشانی وزنی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC) در محیط نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (ARC GIS)، چهار طبقه نامطلوب، نسبتا نامطلوب، نسبتا مطلوب و مطلوب تهیه گردیده است و نتایج حاصل از آن‌ها نشان دهنده این است که در روش هم پوشانی وزنی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC)، از طریق طبقه بندی مناسب مکانی با توجه به پارامترهای اکولوژیک و اجتماعی- اقتصادی می‌شود توان محیط زیستی منطقه جهت انتخاب ساخت گاه نیروگاه هسته‌ای را تعیین کرد. اما در این پژوهش با کاربرد منطق بولین- فازی برپایه ترکیب خطی وزن دار (WLC)، به دلیل ماهیت پیوسته آن می‌توان مطلوبیت مکانی نسبی در فرآیند ارزیابی توان

(۳) با توجه به تراکم زیاد مراکز جمعیتی در بخش‌های جنوبی منطقه، وجود مناطق چهارگانه تحت حفاظت در منطقه، وجود مخاطرات عمده محیطی نظیر زلزله و سیلاب و سایر پارامترها در منطقه، توصیه می‌شود که مطالعات ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در مناطق شمالی کشور با در نظر گرفتن قابلیت‌ها و محدودیت‌های طبیعی محیط زیست و در راستای اصول آخرین سند آمایش سرزمین استان‌های شمالی کشور صورت گیرد.

(۴) پیشنهاد می‌شود که ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای، علاوه بر ترکیب منطق بولین- فازی بر پایه روش ترکیب خطی وزن‌دار با روش‌های دیگری نظیر میانگین وزنی مرتب شده (OWA) صورت پذیرد و نتایج آن با روش ترکیب خطی وزن‌دار مورد ارزیابی و مقایسه قرار گیرد تا نتایج مطلوب‌تری از ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای به دست آید.

#### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از مسوولین شرکت مادر تخصصی تولید و توسعه انرژی اتمی ایران به خاطر کمک‌های صمیمانه‌شان در طول انجام این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

#### Reference

1. Makhdom. M. 2010. Fundamental of land use planning. 9<sup>th</sup> edition, university of Tehran Publication. Volume I, Chapter II, p. 25. (In persion)
2. Grover, R. B., 2013. green growth and role of nuclear power: a perspective from India. Energy Strategy Reviews, Vol.1, pp. 225-260.
3. Nuclear Energy production and development. 2000. Elaboration of Environmental Assessment Model for the Construction and Conduct of Nuclear Power Plants, Center for Environmental Research and Studies, Phase 1 Report, p. 35. (In persion)

اکوسیستم‌های آبی و خشکی با ارزش اکولوژیک کشور و نیز وقوع بحران‌های محیط زیستی در آینده، برای این مناطق دور از انتظار نخواهد بود. از طرفی نیازهای اقتصادی-اجتماعی مردم یک کشور نادیده گرفته خواهد شد که مغایر با اهداف توسعه پایدار برای حفظ محیط زیست و رشد اقتصادی کشور ایران خواهد بود. هم‌چنین در روش منطق بولین مورد استفاده توسط مشاوری اولیه طرح، به علت این که مناطق به دو بخش مطلوب و نامطلوب طبقه بندی می‌شوند هیچ درجه مطلوبیتی وجود ندارد و نمی‌توان مناطق با درجه مطلوبیت دو، سه و درجات دیگر را برای توسعه نیروگاه هسته‌ای تعیین کرد و بنابراین هیچ قضاوتی نیز در مورد انتخاب بهترین موقعیت‌های مکانی در بین مناطق مطلوب وجود ندارد. در حالی که در روش ترکیب منطق بولین- فازی بر پایه ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) و وزن‌دهی به روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به دلیل دامنه گسترده طبقه بندی مطلوبیت مکانی (بین صفر و یک) قدرت تصمیم‌گیری کارشناس برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای بالاتر است و نتایجی که از این روش به دست می‌آید در تطابق بالاتری با توان محیط زیستی منطقه خواهد بود. در ادامه پیشنهادهای برگرفته از یافته‌های پژوهش ارائه می‌گردد:

(۱) پس از تعیین توان محیط زیستی منطقه برای استقرار صحیح نیروگاه هسته‌ای در مناطق ساحلی سحرخیز، باید قضاوت نهایی برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای براساس ظرفیت برد محیط زیستی منطقه صورت گیرد تا ارزیابی محیط زیستی دقیق‌تری برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای انجام شود.

(۲) طبق استانداردهای آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا، پارامتر آسیب‌پذیری آب‌خوان از معیارهای موثر در فرآیند انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای است. بنابراین توصیه می‌شود که پارامتر آسیب‌پذیری آب‌خوان جزء پارامترهای اصلی در فرآیند ارزیابی توان محیط زیست برای انتخاب ساخت‌گاه نیروگاه هسته‌ای در منطقه سحرخیز استان گیلان مورد استفاده قرار گیرد.



12. Li Han, Y., Naremandula, Y. W., 2012. The study on the site selection of nuclear power plants based on optimized fuzzy comprehensive evaluation. communications in information science and management engineering, Vol. 2, pp. 1-4
13. NPPD., 2012. Site Survey for Nuclear Power Plants. Part 4, Vol 4, Research Report, pp. 1- 338
14. USNRC., 1997. Identification and Characterization of Seismic Sources and Determination of Safe Shutdown Earthquake Ground Motion. USA (Electronic Book).
15. IAEA., 2003. Flood Hazard for Nuclear Power Plants on Coastal and River Sites. Austria (Electronic Book).
16. IAEA., 2011. Meteorological and Hydrological Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Austria (Electronic Book).
17. USNRC., 2011. General Site Suitability Criteria for Nuclear Power Stations. USA (Electronic Book).
18. IAEA., 2003. Site Evaluation for Nuclear Installations. Safety requirements. Austria (Electronic Book).
19. USNRC., 2009. Preparation of environmental reports for nuclear power plant license renewal applications. USA (Electronic Book).
20. USNRC., 2012. Terrestrial environmental studies for nuclear power stations. USA (Electronic Book).
21. Lajevardi. M. R. 2005. Iran Power Industry Database (Introduction to Iran's Power Industry), First Edition, Publication of Iran's Power Generation and Transmission Company, Volume I, Chapter Four, pp. 257-253. (In persion)
4. IAEA., 2012. Managing siting Activities for Nuclear Power Plants. Austria (Electronic Book).
5. IAEA., 2014. Managing Environmental Impact Assessment for Construction and Operation in New Nuclear Power Programmes. Austria (Electronic Book).
6. CNSC., 2007. Site Evaluation for New Nuclear Powe Plants. Canada (Electronic Book).
7. Jafari, H., Karimi, S., Nahavandchi, M., Balist, J., 2015. Nuclear Power Plant Locating by WLC& GIS. International Journal of Basic and Applied Sciences, Vol.4, No.1, pp. 132-139.
8. Abudeif, A.M., Abdel Monem, A.A., Farrag, A.F., 2014. Multicriteria Decision Analysis Based on Analytic Heirarchy Process in GIS Environment for Siting Nuclear Power Plant in Egypt. Annals of Nuclear Energy, Vol. 75, pp. 682- 692.
9. Erol, I., Sencer, S., Ozmen, A., Searcy, C., 2013. Fuzzy MCDM framework for locationg a nuclear power plant in Turkey. Energy Policy, Vol. 67, pp. 1- 12.
10. Abd Latif., Z., I010dris, R., 2012. GIS Multi-Criteria for Power Plant Site Selection. IEEE Control and System Graduate Research Colloquium, Vol.1, pp. 203-206.
11. Engineering and Consulting Company of Sazehpardazi and Iran's Engineering and Consulting Company of Ofoghe Hasteie 2012, Selection of sites for new nuclear power plants (SNPI project), Documentation Center of the Atomic Energy Production and Development Company, Research Papers, pp. 17-22 . (In persion)

24. Saaty, T. L., 1980. The Analytical Hierarchy Process, Planning, Priority Setting, Resource Allocation (Decision Making Serious). USA, McGraw-Hill.
25. Mahini A.R. and Kamyab H.R, 2011, Applied Remote Sensing and Geographic Information Systems with the Idrisi Software, Second Edition, Mehr Mehdias Publications, Vol. 1, Second Chapter, pp. 271-262. (In persion)
22. EPRI., 2002. Siting Guide: Site Selection and Evaluation Criteria for an Early Site Permit Application. USA (Electronic Book).
23. Nojavan. M. et al., 2011, Temporary housing site selection, using fuzzy algorithms, Urban Management Magazine -Organization of Municipalities, Year 11, No. 31, p. 213. (In persion)