

## استفاده از روش ELECTRE در ارزیابی ریسک زیست محیطی پروژه های سدسازی

سعید ملامسی<sup>۱</sup>

رضا ارجمندی<sup>۲</sup>

رویا نزاکی<sup>۱</sup>

زهرا اله داد<sup>۳\*</sup>

[z.allahdad@srbiau.ac.ir](mailto:z.allahdad@srbiau.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۴/۱۱

### چکیده

**زمینه و هدف:** پروژه های سد سازی، اثرات جدی بر پارامترهای زیست محیطی وارد می نماید. بنابراین ارزیابی ریسک سد یکی از مهم ترین جنبه های مدیریت ریسک زیست محیطی در این پروژه ها می باشد. پژوهش حاضر با هدف استفاده از یکی از روش های تصمیم گیری چند معیاره، به منظور اتخاذ تصمیمات صحیح مدیریتی در زمینه تعیین مهمترین ریسک های شناسایی شده و جلوگیری یا کاهش وقوع هر یک از آن ها، انجام شده است. از این رو فعالیت های ساختمانی و بهره برداری از سد آزاد واقع بر رودخانه کوماسی در استان کردستان جهت ارزیابی و کاهش ریسک های زیست محیطی ناشی از این طرح مورد بررسی قرار گرفته است.

**روش بررسی:** ابتدا ریسک های زیست محیطی بر اساس معیارهای اهمیت، شدت و احتمال وقوع با استفاده از پرسشنامه دلفی شناسایی گردید. سپس معیارهای ریسک یاد شده با استفاده از روش انترپوی وزن دهی شد. در مرحله بعدی روش ELECTRE (حذف و انتخاب سازگار با واقعیت) از جمله روش های تصمیم گیری چند معیاره، جهت رتبه بندی ریسک های محتمل به کار برده شد.

**یافته ها:** نتایج نشان می دهد با توجه به شاخص های در نظر گرفته شده ریسک، مهم ترین ریسک های ناشی از این طرح به ترتیب، شامل کاهش کیفیت خاک با رتبه ۹، آلودگی آب رودخانه کوماسی با رتبه ۷، کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین دست سد با رتبه ۴ می باشد.

۱- استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی- محیط زیست، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۳- دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست، گروه مدیریت محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران\* (مسئول مکاتبات).

**بحث و نتیجه گیری:** در مقاله حاضر، استفاده از روش ELECTRE در ارزیابی ریسک زیست محیطی سد، باعث انجام فرآیند تصمیم گیری صحیح برای ارزیابی ریسک و انتخاب گزینه برتر از میان مجموعه ای از گزینه ها در تقابل با معیارهای تعیین شده، گردید. به طوری که با رتبه بندی انجام شده، چگونگی عملکرد هر یک از ریسک ها نیز تعیین شد و برای تصمیم گیر، فرصتی جهت مدیریت صحیح ریسک و انتخاب روش مناسب کنترل ریسک ایجاد نمود.

**واژه‌های کلیدی:** ارزیابی ریسک زیست محیطی، سد آزاد، روش ELECTRE .

## **Environmental Risk Assessment of Dam Projects By Using ELECTRE Technique**

**Saeed Malmasi**<sup>1</sup>

**Reza Arjmandi**<sup>2</sup>

**Roya Nezakati**<sup>1</sup>

**Zahra Allahdad**<sup>3\*</sup>

[z.allahdad@srbiau.ac.ir](mailto:z.allahdad@srbiau.ac.ir)

### **Abstract**

**Background and Objective:** Dam projects cause serious impacts on the surrounding environment. Therefore, in these sorts of projects, risk assessment of dams is one of the most important aspects of environmental risk management. The objective of present research is using one of the Multi Criteria Decision Making methods to make the managerial decisions for determining the most important identified risks and risks occurring prevention or reduction. Therefore, activities of construction and operation of Azad dam, which is located on Kumasi River in Kurdistan province, were investigated.

**Method:** Firstly, environmental risks were identified using Delphi questionnaire method and based on their criteria including importance, severity, and probable occurrence. Then the aforementioned criteria of risks were weighted by using Entropy method. In the next stage, Elimination et Choice Translating to Reality (ELECTRE) method, one of the techniques of Multi Criteria Decision Making methods (MCDM), was used for ranking of probable risks.

**Findings:** The results show that the most important risks of Azad dam are respectively including reduction of soil quality with the grade of 9, Kumasi River water contamination with the grade of 7 and intense reduction of organic matter and nutrients in Kumasi River flow at down side of the dam with the grade of 4.

**Discussion and conclusion:** In this paper, environmental risk assessment of dam by using ELECTRE method to make the correct decision, making process for risk assessor and choosing the best alternative of a finite set of alternatives described in terms of evaluative criteria. Therefore, that, function of each risk was determined by ranking and create opportunity to decision maker for correct risk management and choosing the proper method for risk control.

**Keywords:** Environmental risk assessment, Azad dam, ELECTRE technique.

---

1- Assesistant Professor, Department of Natural Resources Engineering-Environment, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

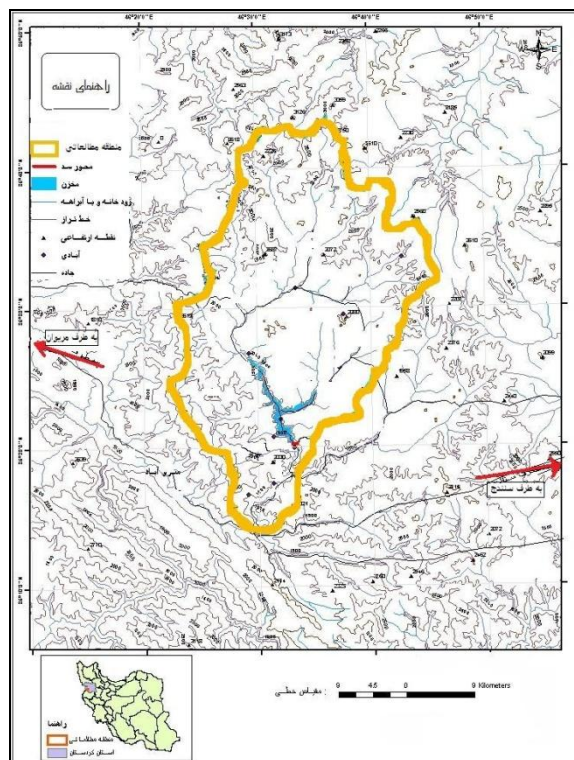
2-Assesistant Professor, Department of Environmental Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

3- PhD. Student, Department of Environmental Management , Faculty of the Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran\* (Corresponding author).

## مقدمه

پروژه های سد سازی با بهره برداری از منابع اساسی طبیعت به ویژه انجام فعالیت های گودبرداری و خاک برداری در محل احداث خود علاوه بر ایجاد تغییرات در شکل زمین تاثیرات عمده ای بر سایر پارامترهای محیط زیست منطقه می گذارد. از این رو انجام ارزیابی ریسک جهت شناسایی مخاطرات و پیامدهای زیانبار زیست محیطی و کنترل آن تا سطح مطلوب برای این گونه طرح ها، امری ضروری تلقی می گردد. ارزیابی ریسک همواره یک رویکرد نوین در ارزیابی ایمنی سد و تصمیم گیری محسوب می شود (۱). از جمله مطالعات انجام گرفته در این زمینه استفاده از روش ELECTRE در ارزیابی ریسک زیست محیطی پروژه های سدسازی می باشد، به طوری که در مقاله ای تحت عنوان اولویت بندی ریسک های محیط زیستی فاز ساختمانی سد رودبار لرستان، با استفاده از روش یاد شده به ارزیابی ریسک (شدت، احتمال، میزان مواجهه و اهمیت محیط پذیرنده) پرداخته است (۲). در مقاله دیگر جهت تعیین اهمیت نسبی هر ریسک در مطالعات ارزیابی، رتبه بندی و خوشه بندی ریسک عملیات تونل سازی سد و نیروگاه سیمره از روش ELECTRE استفاده شده است (۳). از این رو با توجه به تحقیقات انجام یافته، در مطالعه حاضر از روش ELECTRE

از سری روش های تصمیم گیری چند معیاره و زیر مجموعه روش های تصمیم گیری چند شاخصه، جهت بررسی ریسک های ناشی از فعالیت های ساختمانی و بهره برداری از سد آزاد استفاده گردید. ساختگاه این سد با مختصات جغرافیایی ۵۷°، ۳۲°، ۴۶° طول شرقی و ۵۹°، ۱۹°، ۳۵° عرض شمالی در ارتفاع ۱۳۶۲/۵ متری از سطح دریا قرار گرفته است که قادر به تنظیم سالانه حدود ۳۲۸/۷ میلیون مترمکعب آب جهت انتقال به حوضه کرخه و همچنین تامین حقبه های کشاورزی و زیست محیطی پایین دست سد خواهد بود. موقعیت سد در نقشه ۱ نشان داده شده است. از دیدگاه محیط زیست فیزیکی، رودخانه کوماسی یک رود دایمی با ۶۹ کیلومتر طول تا محل احداث سد می باشد. آب دهی متوسط سالانه این رودخانه حدود ۱۱/۹۱ مترمکعب بر ثانیه برآورد شده است. بارندگی سالانه حوزه بیش از ۶۰۰ میلی متر است (۴). پوشش گیاهی مرتعی غالب منطقه مطالعاتی شامل گونه گون (*Astragalus sp.*) و پوشش گیاهی جنگلی با گونه های غالب بنه (*Pistacia mutica*)، بلوط (*Quercus brantii*) و بادام کوهی (*Amygdalus spp.*) می باشد.



نقشه ۱- موقعیت سد آزاد (۴)

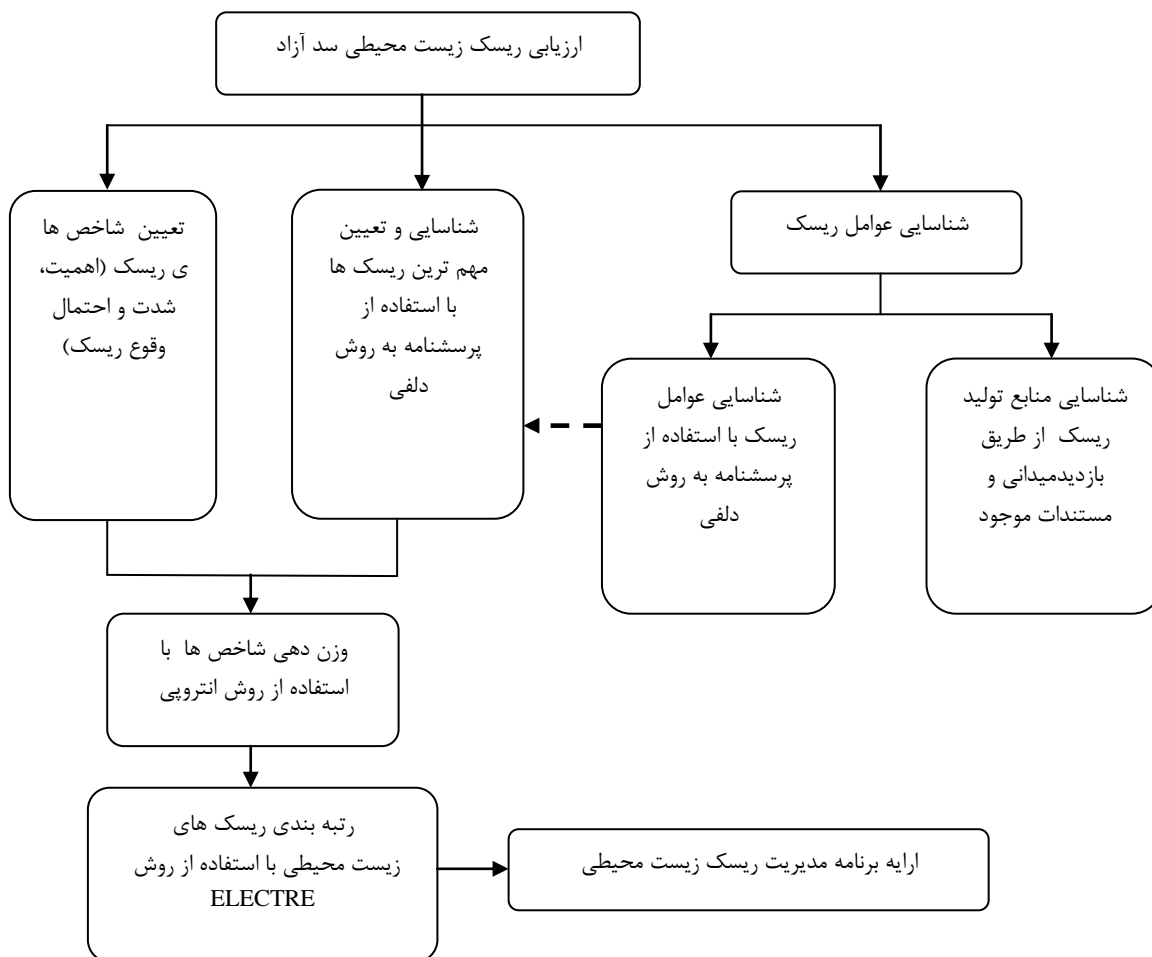
Figure 1- Location of Azad Dam(4)

### مواد و روش ها

به طور کلی، تصمیم گیری در پروژه های زیست محیطی، به دلیل ماهیت جایگزینی بین عوامل اجتماعی و سیاسی، زیست محیطی، اکولوژیکی و اقتصادی فرآیندی پیچیده است (۵). رتبه بندی ریسک از ارکان مدیریت ریسک بوده و امکان ارائه پاسخ مناسب به هر ریسک را فراهم می کند (۶). مدیریت ریسک مستلزم شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی ریسک های مختلف است (۷). در دهه های اخیر پژوهشگران توجه ویژه ای به روش های چند معیاره جهت اخذ تصمیمات صحیح می نمایند. لذا استفاده از تکنیک تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) در تصمیم گیری های مهم، برای سال های زیادی است که جهت مقاصد گوناگون، به ویژه ارزیابی ریسک به رسمیت شناخته شده است. امروزه در عصر رایانه، دسترسی آسان و کاربر پسند استفاده از این تکنیک باعث شده تا کاربران به یک انتخاب مطلوب در ارزیابی ریسک محیط زیست دست یابند (۸). روش های تصمیم گیری اغلب سبب انتخاب گزینه برتر از بین چندین گزینه در تقابل با معیارها می گردد (۹). لذا در این

حیات وحش آن شامل پستانداران با اهمیت همچون قوچ و میش ارمنی (*Ovis orientalis gmelini*) و سنجاب ایرانی (*Sciurus anomalus*)، گونه هایی از خزندگان مانند جکوی ایرانی (*Hemidactylus persicus*)، گونه هایی از پرندگان همچون دارکوب سر سرخ (*Picoides medius*) و جیجاق (*Garrulus glandarius*) و گونه هایی از کپورماهیان (*Cyprinidae*)، مارماهیان (*Mastacembelidae*) و سگ ماهیان (*Balitoridae*) اجزای اصلی تشکیل دهنده محیط زیست بیولوژیک منطقه مطالعاتی می باشند. از دیدگاه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی نیز ۴ روستا در محدوده مخزن و محور سد، در فاصله نزدیک از ساختگاه سد واقع شده است. منطقه مورد مطالعه مهاجر فرست بوده و فعالیت های اقتصادی آن به طور عمده شامل باغ داری، کشاورزی و دام داری می باشد (۴). شایان ذکر است که هدف این مطالعه، شناسایی و طبقه بندی ریسک های زیست محیطی احتمالی ناشی از پروژه های سد سازی و ارائه راهکارهایی جهت تقلیل و کنترل مخاطرات زیست محیطی قابل پیش بینی می باشد.

پژوهش، فرآیند ارزیابی ریسک زیست محیطی پروژه های سدسازی با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره، طبق مراحل ارایه شده در شکل ۱ و به شرح زیر انجام یافته است.



شکل ۱- نمودار فرآیند ارزیابی ریسک زیست محیطی سد آزاد (۱۰)

Figure 2- Graph of process of Azad Dam environmental risk assessment (10)

### ۱) شناسایی عوامل ریسک

جهت شناسایی عوامل ریسک، نخست با بررسی منطقه مطالعاتی، عوامل تولید ریسک تعیین گردید. در این راستا جهت اولویت بندی عواملی که می تواند به طور بالقوه تولید ریسک نماید، از پرسشنامه به روش دلفی استفاده شد. مطابق این روش، از نظر ۱۵ نفر از نخبگان آشنا با این طرح و محیط زیست جهت تکمیل پرسشنامه ها استفاده شد (۱۱). معیار امتیاز دهی این پرسشنامه از ۱ تا ۵ است، که عدد ۱ نشانه اهمیت بسیار کم و عدد ۵ نشانه اهمیت بسیار زیاد آن و بر اساس شاخص «لیکرت» تعیین شد (۱۲ و ۱۳). در واقع اعداد در نظر گرفته شده درجه اهمیت عوامل ریسک را در ایجاد ریسک بیان می کنند. به این ترتیب گروه نخبگان علاوه بر امتیاز دهی به ۲۲ گزینه که شامل عوامل ریسک زیست محیطی شناسایی شده می باشند، در صورت مخالفت یا موافقت با گزینه مربوط به حذف یا اضافه کردن عوامل ریسک پرداخته و پیشنهاد خود را اظهار نمودند. در نتیجه با جمع آوری پرسشنامه ها و تحلیل نتایج آن در محیط نرم افزار SPSS میانگین هر یک از گزینه ها به دست آمد و گزینه هایی که متوسط امتیاز آن ها از عدد ۳ بیش تر بود به عنوان گزینه های نهایی انتخاب شدند. از این رو از بین ۲۲ گزینه، ۱۶ گزینه انتخاب گردید که ۱۲ ریسک زیست محیطی را مشخص نمود.

### ۲) تعیین شاخص های ریسک ( شدت، احتمال وقوع و اهمیت)

در این مرحله پس از تعیین عوامل ریسک و شناسایی ریسک هایی که بر اثر این عوامل تولید می شوند، با استفاده از پرسشنامه دیگری که حاوی ۱۲ ریسک شناسایی شده بود، با روش دلفی و توسط ۱۵ نفر از نخبگان میزان شدت، احتمال وقوع و اهمیت هر یک از ریسک ها امتیاز دهی و تعیین گردید. لازم به ذکر است که در این پرسشنامه معیار امتیازدهی به سه شاخص یاد شده به شرح زیر می باشد:

الف- شدت ریسک که میزان و بزرگی ریسک را مد نظر دارد، بر اساس مقیاس روش FMEA از ۱ تا ۱۰ تعیین شده است.

عدد ۱ نشانگر شدت ناچیز و عدد ۱۰ نشانگر بیش ترین شدت ریسک می باشد (۱۴).

ب- احتمال وقوع ریسک که نشان دهنده امکان به وقوع پیوستن یک خطر در یک دوره زمانی معین است. بر اساس منابع مقیاس روش آنالیز مقدماتی خطر از ۱ تا ۵ درجه بندی شده که عدد ۱ نشانگر کم ترین احتمال وقوع و عدد ۵ نشانگر بیش ترین احتمال وقوع ریسک می باشد (۱۵).

ج- اهمیت ریسک که نشان دهنده حساسیت محیط پذیرنده و قابل توجه بودن ریسک است و بر اساس روش لئوپولد از ۱ تا ۱۰ درجه بندی شده که عدد ۱ کم ترین اهمیت و عدد ۱۰ نشان دهنده بیش ترین اهمیت می باشد (۱۶).

در نهایت کلیه پرسشنامه ها در محیط نرم افزار SPSS مورد تحلیل قرار گرفته و میانگین هر یک از این ۳ شاخص برای هر یک از ریسک ها به دست آمد.

### ۳) رتبه بندی ریسک ها

به منظور رتبه بندی ریسک های شناسایی شده، ابتدا با استفاده از روش انتروپی، وزن دهی عوامل ریسک سد آزاد در ۴ گام به شرح زیر انجام یافت.

گام ۱- محاسبه  $P_{ij}$  (رابطه ۱)

$$P_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^m a_{ij}}; \forall j$$

گام ۲- محاسبه مقدار انتروپی  $E_j$  (رابطه ۲)

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m [P_{ij} \ln P_{ij}]; \forall j$$

گام ۳- محاسبه مقدار عدم اطمینان  $d$  (رابطه ۳)

$$d_{ij} = 1 - E_j; \forall j$$

گام ۴- محاسبه اوزان  $W_j$  (رابطه ۴)

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^n d_j}; \forall j$$

شاخص هایی است که در آن ها گزینه  $A_k$  بر گزینه  $A_l$  به ازای آن ها مطلوبیت بیش تری داشته باشد. برای یافتن این مطلوبیت باید به نوع شاخص های تصمیم گیری از نظر داشتن جنبه مثبت یا منفی توجه شود. یعنی:

- اگر شاخص مورد نظر، دارای جنبه مثبت باشد: (رابطه ۶)

$$S_{k,l} = \{j | V_{kj} \geq V_{lj}\}, j = 1, \dots, m$$

- اگر شاخص دارای جنبه منفی باشد:

$$S_{k,l} = \{j | V_{kj} \leq V_{lj}\}, j = 1, \dots, m \quad (\text{رابطه ۷})$$

مجموعه ناهماهنگ  $D_{kl}$  نیز شامل شاخص هایی است که در آن ها گزینه  $A_k$  نسبت به گزینه  $A_l$  مطلوبیت کم تری داشته باشد. یعنی:

$$D_{k,l} = \{j | V_{kj} < V_{lj}\}, j = 1, \dots, m \quad (\text{رابطه ۸})$$

این فرمول برای شاخص های مثبت است و برای شاخص های منفی به صورت زیر است: (رابطه ۹)

$$D_{k,l} = \{j | V_{kj} > V_{lj}\}, j = 1, \dots, m$$

در تعیین مجموعه هماهنگ و ناهماهنگ این طرح، هر ۳ شاخص اهمیت، شدت و احتمال وقوع ریسک، جنبه منفی دارند، لذا بر اساس این روش، در مجموعه هماهنگ، عدد کم تر به عدد بیش تر ارجح است و در مجموعه ناهماهنگ، عدد بیش تر به کم تر ارجح نیست.

گام ۴- در این مرحله از اطلاعات بالا، ماتریس هماهنگ به دست می آید. این ماتریس یک ماتریس مربع بوده که قطر اصلی آن فاقد عنصر می باشد سایر عناصر این ماتریس نیز از جمع اوزان شاخص های متعلق به مجموعه هماهنگ حاصل می شود. یعنی:

$$I_{kl} = \sum W_j, j \in A_{k,l} \quad (\text{رابطه ۱۰})$$

گام ۵- در این مرحله ماتریس ناهماهنگ بدست می آید. این ماتریس مانند ماتریس هماهنگ، ماتریسی مربع است که قطر

علاوه بر گزینه ها همان طور که از نام تصمیم گیری چند شاخصه بر می آید، چندین شاخص وجود دارد که تصمیم گیرنده باید آن ها را با دقت در مسایل خود مشخص کند. این شاخص ها در ارتباط با هر یک از گزینه ها مورد بررسی قرار می گیرد. تصمیم گیری چند شاخصه با ماتریس تصمیم گیری سرو کار دارد (۱۷). لازم به ذکر است که ماتریس تصمیم گیری مربوط در این طرح نتایج حاصل از پرسشنامه ها بوده که در جدول ۱ ارایه شده است. جهت تعیین رتبه ریسک های شناسایی شده و این که کدام ریسک از نظر شدت، اهمیت و احتمال وقوع نسبت به سایر ریسک ها برتری دارد، از روش ELECTRE (Elimination Et choice Translating reality) استفاده شد. این روش یکی از بهترین فنون تصمیم گیری های چند شاخصه می باشد که اساس آن روابط غیر رتبه ای است، یعنی لزوماً به رتبه بندی گزینه ها منتهی نمی شود، بلکه ممکن است گزینه هایی را حذف کند (۱۸). این روش برای تعیین برتری بر اساس آنالیز هماهنگی می باشد (۱۹). روش ELECTRE، یک روش قوی از میان روش های تصمیم گیری چند معیاره است که توانایی مدل سازی پیچیده و سیستم های سطح بالا و زیر سیستم ها را دارد (۲۰).

این روش طی ۸ گام و روابط زیر انجام گرفته است:

گام ۱- در این مرحله مقادیر ماتریس تصمیم گیری بی مقیاس می شود.

گام ۲- در این مرحله با استفاده از ماتریس  $W$  (اوزان شاخص ها) ماتریس بی مقیاس شده موزون به دست می آید. (رابطه ۵)

$$V = N \times W_{n \times n}$$

ماتریس بی مقیاس شده ( $N$ ) در ماتریس قطری وزن ها ( $W_{n \times n}$ ) که از روش انتروپی به دست آمده ضرب می گردد.

گام ۳- در این مرحله تمام گزینه ها نسبت به تمام شاخص ها مورد ارزیابی قرار می گیرند و مجموعه ماتریس های هماهنگ و ناهماهنگ تشکیل می شود. مجموعه هماهنگ از گزینه های  $k$  و  $l$  که با  $S_{kl}$  نشان داده می شود مشتمل بر کلیه



برای کلیه 1 ها و  $F_{kl} = 0$

این ماتریس نشان دهنده ترتیب برتری راهکارهای مختلف نسبت به یکدیگر می باشد (۱۷).

### نتایج

عوامل ریسک زیست محیطی شناسایی شده شامل مواردی از قبیل شکست سد، سیلاب، لرزه خیزی، تخلیه پساب صنعتی (بچینگ و سنگ شکن) به رودخانه، عدم زیر سازی مناسب مخازن سوخت، دپو و انباشت باطله ها و نخاله های ساختمانی، تخلیه فاضلاب بهداشتی کارکنان طرح به رودخانه و فعالیت حفاری و آتشیاری می باشد. در واقع لرزه خیزی و ژئوتکتونیک محل احداث پروژه به دلیل این که از نظر تقسیمات عمومی زمین ساختی در واحد زاگرس چین خورده واقع شده است، از نظر لرزه خیزی واحدی فعال محسوب می شود. تراکم جمعیت پایین دست سد نیز می تواند به دلیل سیلاب بیشترین تاثیر را از مخاطرات احتمالی سد دریافت کند. عوامل یاد شده ریسک های شناسایی شده را سبب می گردند. در واقع ریسک های شناسایی شده در منطقه مطالعاتی سد آزاد براساس نتایج حاصل از پرسشنامه ها در جدول ۱ ارایه شده که شامل ۱۲ ریسک تعیین شده به همراه نتیجه نهایی شاخص ها می باشد و کلیه ریسک های موجود به عنوان گزینه ها و با علامت  $A_1$  تا  $A_{12}$  در نظر گرفته شده است. با توجه به ریسک های مشخص شده، در مرحله بعدی، ارزیابی ریسک زیست محیطی طبق روش ELECTRE صورت گرفت که در همه ماتریس های به دست آمده، شاخص های احتمال وقوع، شدت و اهمیت ریسک ها به ترتیب با علامت  $X_1, X_2$  و  $X_3$  مشخص شده اند. کلیه نتایج محاسبات موجود در گام ها و روابط یاد شده، بر پایه ماتریس تصمیم گیری انجام گرفته است. از این رو نتایج حاصل از این روابط در جداول ۲ تا ۵ ارایه شده است

اصلی آن فاقد عنصر می باشد سایر عناصر این ماتریس، از ماتریس بی مقیاس شده موزون طبق رابطه زیر بدست می آید.

$$NI_{kl} = \frac{\text{Max}|Vk_j - Vl_j|}{\text{Max}|V_{kj} - V_{lj}|}, \quad \begin{matrix} j \in D_{k,l} \\ j \in \text{all, Indexs} \end{matrix} \quad (\text{رابطه ۱۱})$$

گام ۶- در این مرحله ماتریس هماهنگ موثر  $H$  محاسبه می شود. برای ایجاد این ماتریس ابتدا باید یک حد آستانه را تعیین کرد و اگر هر عنصر ماتریس  $I$  بزرگ تر یا مساوی آن باشد، آن مولفه در ماتریس  $H$  مقدار یک به خود می گیرد و در غیر این صورت مقدار صفر می گیرد. برای تعیین حد آستانه ( $\bar{I}$ ) از مقادیر میانگین ماتریس  $I$  استفاده می شود. یعنی:

$$\bar{I} = \sum_{l=1}^m \sum_{k=1}^m NI_{kl} / m(m-1) \quad (\text{رابطه ۱۲})$$

حال از نظر روابط ریاضی به صورت زیر خواهد بود:

(رابطه ۱۳) اگر به صورت برابر با یک و برابر با صفر باشد، این ماتریس نشان دهنده ارجحیت یک گزینه بر دیگری است.

$$H_{kl} = 1 \leftarrow I_{kl} \geq \bar{I}$$

$$H_{kl} = 0 \leftarrow I_{kl} < \bar{I}$$

گام ۷- در این مرحله نیز ماتریس ناهماهنگ موثر به دست می آید. این ماتریس که با  $G$  نشان داده می شود مانند ماتریس هماهنگ موثر به دست می آید. حد آستانه برای این ماتریس به صورت زیر محاسبه می شود.

$$\bar{NI} = \sum_{u=1}^m \sum_{k=1}^m NI_{kl} / m(m-1) \quad (\text{رابطه ۱۴})$$

عناصر ماتریس نیز به ترتیب زیر به دست می آید:

$$G_{kl} = 1 \leftarrow NI_{kl} < \bar{NI} \quad (\text{رابطه ۱۵})$$

$$G_{kl} = 0 \leftarrow NI_{kl} \geq \bar{NI}$$

گام ۸- در این مرحله با ترکیب ماتریس هماهنگ موثر  $H$  و ماتریس ناهماهنگ موثر  $G$ ، ماتریس کلی موثر  $F$  به دست می آید. محاسبه این ماتریس به صورت زیر است:

$$F_{kl} = H_{kl} \times G_{kl} \quad (\text{رابطه ۱۶})$$

برای حداقل یک 1 و  $F_{kl} = 1$

جدول ۱- نتایج نهایی تحلیل پرسشنامه ها جهت تعیین شاخص های ریسک های طرح (ماتریس تصمیم گیری (N))

Table 1- Final result of questionnaires analysis for determining project risks indexes (Decision matrix (N))

گزینه ها	شاخص ها			
	X3	X2	X1	
قطع ارتباط زیستگاهی	A <sub>1</sub>	۹/۲۸	۹/۱۸	۱/۸۴
افزایش گیاهان آب زی مهاجم غوطه ور در آب (Submerged) به ویژه نی <i>Phragmites australis</i> در پایین دست سد	A <sub>2</sub>	۶/۸۴	۳/۶۳	۳/۴۵
از بین رفتن امنیت زیستگاه پرندگان شکاری نظیر شاهین، عقاب طلایی، دلیجه و حتی کبک در دامنه ها و ارتفاعات منطقه	A <sub>3</sub>	۴/۷۰	۷/۲۲	۲/۹۹
کاهش امنیت زیستگاه جانوران به ویژه پستان داران با ارزشی نظیر قوچ و میش در زیستگاه های غرب و جنوب غرب محدوده مطالعاتی	A <sub>4</sub>	۷/۵۴	۷/۲۳	۲/۲۶
شکست سد	A <sub>5</sub>	۷/۳۵	۵/۴۹	۳/۷۱
تهدید شرایط زیستگاهی پرندگان آب زی و کنار آب زی نظیر دم جنبانک خاکستری <i>Motacilla cinerea</i> ، دم جنبانک زرد <i>Motacilla flava</i> ، حواصیل خاکستری <i>Ardea cinerea</i> ، اگرت کوچک <i>Egretta garzetta</i> و زیرآبروک <i>Cinclus cinclus</i>	A <sub>6</sub>	۴/۴۷	۶/۶۱	۳/۸۲
کاهش کیفیت زیستگاه آبی و از بین رفتن لارو گونه هایی از خانواده های کپورماهیان، اسبله ماهیان، گامبوزیا ماهیان، سگ ماهیان جویباری و مار ماهیان آب شیرین در رودخانه کوماسی	A <sub>7</sub>	۷/۵۱	۳/۷۳	۳/۸۷
آلودگی آب رودخانه کوماسی	A <sub>8</sub>	۶/۵۹	۳/۵۹	۲/۸۵
کاهش کیفیت خاک منطقه	A <sub>9</sub>	۳/۶۹	۳/۶۲	۳/۹۵
احتمال گریز و راه یابی خزندگان به ویژه مار های موجود از قبیل مار سرسیاه، مار پلنگی، مار قیطانی، افعی سوسن، گرز مار و مار های سمی از محدوده مخزن و افزایش تراکم آن ها در اطراف مناطق مسکونی	A <sub>10</sub>	۶/۲۰	۷/۳۰	۳/۲۸
کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین دست سد	A <sub>11</sub>	۵/۰۷	۲/۹۵	۱/۵۶
از بین رفتن روستاهای پایین دست سد در صورت شکست سد	A <sub>12</sub>	۹/۳۸	۹/۴۵	۱/۱۵

جدول ۲- وزن شاخص ها بر اساس نظر خبرگان و روش انتروپی

Table 2- Indexes weight based on experts opinion and entropy method

W3	W2	W1
۰/۲۱۷	۰/۴۳۷	۰/۳۴۶



باتوجه به ماتریس F، گزینه ها به ترتیب، رتبه بندی شده که در جدول ۶ آمده است. همان طور که ملاحظه می شود، بعضی از گزینه ها نیز حذف شده است.

جدول ۶- جمع بندی نتایج ماتریس کلی موثر F

Table 6- Results of effective matrix (F)

گزینه ها (ریسک ها)	امتیاز رتبه هر یک از ریسک ها
A9	۹
A8	۷
A11	۴
A2	۳
A7	۳
A4	۲
A1	۱
A6	۱
A3	۰
A5	۰
A10	۰
A12	۰

ریسک، فعالیت های خاک برداری و خاک ریزی می باشد که می تواند منشأ ریسک های دیگر شود. این فعالیت با بر هم زدن افق های خاک و تخریب پوشش سطحی آن منجر به فرسایش می شود. بخش عمده این فعالیت شامل ایجاد بدنه سد، فرازبند و نشیب بند می باشد و با توجه به حجم خاک برداری (۷۰۲۱۲۰۵۰ مترمکعب) این تأثیر از نظر شدت، زیاد تلقی می شود. علاوه بر این عدم زیر سازی مناسب مخازن سوخت و ریزش و نشست مواد روغنی ناشی از تعمیر ماشین آلات سبک و سنگین و نیز تخلیه نادرست ضایعات صنعتی سبب آلودگی خاک و کاهش کیفیت آن می شود. به طور کلی با توجه به اهمیت خاک و پوشش گیاهی به عنوان بستر حیات و زیستگاه بسیاری از گونه های جانوری به ویژه پرندگان خشکی زی موجود در منطقه نظیر چلچله (*Hirundo rustica*), چکاوک (*Alauda arvensis*) و سسک (*Sylvia borin*) و گونه های گیاهی نظیر درختچه ها و بوته های نسترن وحشی (*Rosa canina*), کنگر (*Gundelia*)

رتبه بندی صورت گرفته بیانگر مهم ترین ریسک های زیست محیطی سد آزاد در دو دوره زمانی فاز ساختمانی و فاز بهره برداری از نظر شاخص های احتمال وقوع، شدت و اهمیت ریسک می باشد. به این ترتیب ریسک های زیست محیطی ناشی از فعالیت های این طرح به ترتیب رتبه شامل کاهش کیفیت خاک منطقه، آلودگی آب رودخانه کوماسی، کاهش شدید مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین دست سد مهم ترین ریسک های تعیین شده می باشند.

### بحث و نتیجه گیری

روش های متفاوتی برای پاسخ به ریسک، حذف یا کاهش و کنترل ریسک ها وجود دارد تا از اثرات نامطلوب محیط زیستی پروژه کاسته شود. در ارزیابی ریسک زیست محیطی سد آزاد با استفاده از روش ELECTRE، نتایج حاصل نشان می دهد که در واقع چگونگی عملکرد هر یک از ریسک ها دلیل رتبه آن ها می باشد. در منطقه مورد مطالعه، عمده عوامل مولد

آب گیری مخزن سد با کاهش مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین دست سد سبب از بین رفتن تعادل اکولوژیک شده و لطماتی را بر اکوسیستم های آبی ذی ربط وارد خواهد ساخت. از آن جا که مواد آلی معلق بخشی از منبع تغذیه و مواد مورد نیاز برای تولید مثل موجودات ذره بینی آب زی را تشکیل می دهند، کاهش جمعیت این موجودات به عنوان سطوح اولیه هرم غذایی منجر به کاهش جمعیت ماهی ها به عنوان سطوح رأس هرم نام برده خواهد شد.

هم چنین با توجه به علاقه خانواده کپور ماهیان شامل سس ماهی (*Barbus lacerta*)، شیرماهی (*Schizothorax pelzami*)، عروس ماهی (*Leuciscus cephalus*)، سیاه ماهی (*Varicorhinus trutta*) و شاه کولی (*Chalcalburnus mossulensis*) که مجموعه ای از گونه های بومی رودخانه کوماسی می باشند، به مواد غذایی گیاهی، این ماهی ها در قسمت های پایین دست رودخانه که به علت وجود مواد آلی بیشتر، جلبک ها و گیاهان آب زی بیش تری در آن رشد می کنند، با تراکم بیش تری یافت می شوند، لذا با کاهش مواد آلی و بار مغذی رودخانه کوماسی در پایین دست سد در اثر آب گیری مخزن سد این گونه ماهیان با کمبود مواد مغذی رو به رو شده و حیاتشان به مخاطره می افتد. لازم به ذکر است که با توجه به محدود بودن گونه های ماهی موجود در رودخانه کوماسی، کاهش کیفیت این زیستگاه آبی و از بین رفتن لارو گونه های ماهیان موجود در آن سبب کاهش تراکم و تنوع گونه های موجود شده و به این ترتیب ارزش اکولوژیکی این اکوسیستم آبی به شدت کاهش می یابد.

به این ترتیب جهت پاسخ به ریسک ها از جمله از بین بردن ریسک، انتقال ریسک و پذیرش ریسک، راهکارهایی در نظر گرفته می شود. از این رو کنترل مهم ترین ریسک های سد آزاد در محیط های مختلف به شرح جدول ۷ ارائه می گردد.

*tournefortii* و *Astragalus sp.*) با انجام عملیات خاک برداری و خاک ریزی و به دلیل قرار گرفتن محل احداث سایت در اکوسیستم کلان بلوط غرب ایران (زاگرس) این ریسک از حساسیت و اهمیت برخوردار است و سبب آسیب به زیستگاه گونه های مذکور، کاهش تنوع و تراکم پوشش گیاهی موجود و کاهش کیفیت اکوسیستم خشکی می گردد. از طرفی، ورود پساب بچینگ و سنگ شکن به رودخانه کوماسی با رهاسازی حجم قابل توجهی رسوبات به جریان آب همراه می باشد که طی آن احتمال خفگی لارو ماهی ها و بچه ماهیان و مدفون شدن تخم آن ها در زیر گل و لای وجود دارد. ورود فاضلاب بهداشتی کارکنان طرح به رودخانه کوماسی با آلوده ساختن آب رودخانه نه تنها کیفیت فیزیکی شیمیایی آب بلکه کیفیت بیولوژیکی آن را نیز به مخاطره می اندازد. در مرحله احداث طرح، تولید حدود ۶۳ مترمکعب فاضلاب روزانه مورد انتظار است. با احتساب سرانه بار BOD<sub>5</sub> معادل ۴۵ گرم، در صورت تخلیه فاضلاب انسانی طرح به رودخانه بار BOD معادل ۱۸۹۰۰ گرم به رودخانه تحمیل خواهد شد. با تخلیه این میزان BOD و در نظر گرفتن دبی روزانه رودخانه، افزایش غلظت BOD به حدود ۱/۳ میلی گرم بر لیتر خواهد رسید. بدیهی است سایر عوامل آلاینده از قبیل مواد معلق و آلودگی میکروبی نیز در رودخانه افزایش خواهد یافت. اگر چه حجم فاضلاب روزانه در برابر آب دهی روزانه رودخانه (حدود ۱۰۲۹۰۲۴ مترمکعب) در بیش تر ایام سال ناچیز است، اما از آن جا که تولید بخش عمده فاضلاب، در مقاطع زمانی کوتاهی از روز (حدود ظهر و زمان اتمام ساعت کاری روزانه) مورد انتظار است، لذا رهاسازی یک باره آن به رودخانه می تواند موجب کاهش شدید کیفیت آب گردد (۱۰). به این ترتیب میزان آلودگی آب از حد تحمل برخی از گونه های ماهی به ویژه لاروها فراتر رفته و تعدادی از آن ها از بین می روند. فعالیت های انحراف آب و

## جدول ۷ - راهکارهای کنترل مهم ترین ریسک های محیط زیستی سد آزاد

Table 7-The important strategies for environmental risk control of Azad dam

عوامل مولد ریسک	پیامد	اقدامات کاهش ریسک
- خاک برداری و خاک ریزی	- تغییر ساختمان و بافت خاک و فرسایش خاک - تخریب پوشش گیاهی	- حتی الامکان قرارگیری بناهای موقتی مربوط به احداث سد آزاد در داخل محدوده فعلی مخزن جهت جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی. - احیای پوشش گیاهی در رویشگاه های تیپ های جنگلی منطقه با تکیه بر گونه های بومی و کاشت گونه های تیپ برودار- بنه - کیکم - برگ بویی. - کنترل فرسایش
- عدم زیر سازی مناسب مخازن سوخت - ریزش و نشست مواد روغنی ناشی از تعمیر ماشین آلات سبک و سنگین	- آلودگی و کاهش کیفیت خاک	- به کارگیری سیستم جمع آوری روغن های سوخته در تعمیرگاه و ماشین آلات سنگین مورد استفاده در طرح - مجهز نمودن مخازن سوخت به سیستم زهکش.
- تخلیه فاضلاب بهداشتی کارکنان طرح به رودخانه کوماسی - ورود پساب بچینگ و سنگ شکن به رودخانه کوماسی	- آلودگی آب رودخانه کوماسی و افزایش غلظت BOD - از بین رفتن لارو گونه های ماهیان موجود در رودخانه - کاهش کیفیت زیستگاه آبی و کاهش تراکم و تنوع گونه های ماهیان	- انتخاب فصول دارای حداقل بارندگی جهت انجام فعالیت های ساختمانی سد آزاد. - انتخاب فصول دارای حداقل بارندگی، حمل و نقل سیمان بصورت بسته بندی شده و نه به صورت فله ای - قرارگیری ایستگاه بچینگ و سنگ شکن در خط القعر رودخانه کوماسی واقع در فاصله فرازبند و نشیب بند. - ایجاد حوضچه رسوب گیر جهت جمع آوری پساب ناشی از فعالیت های کارگاه سنگ شکن و بچینگ. - استفاده از سیستم سپتیک در دفع پساب کارکنان طرح جهت اجتناب از تخلیه آن به رودخانه کوماسی. - پایش دوره ای گونه های ماهیان رودخانه کوماسی جهت تعیین میزان تراکم گونه ها.
- فعالیت های انحراف آب - آبیگری مخزن	- کاهش مواد آلی و بار مغذی در جریان رودخانه کوماسی در پایین دست سد آزاد	- سقوط آب بر روی سکوی مقاوم در برابر فرسایش جهت آزاد سازی آب از این دریچه به بستر پایین دست سد آزاد. - تأمین متناوب بخشی از جریان پایین دست سد آزاد، از لایه زیرین مخزن توسط دریچه های زیرین.

## منابع

- Project Management, Vol. 22, pp. 633-643.
8. Heller, S., 2006. Managing industrial risk having a tested and proven system to prevent and assess risk, Journal of Hazardous Materials, pp. 58-63.
  9. Tesfamariam, S., Sadiq, R., Najjaran, H., 2010. Decision Making Under Uncertainty-An Example for Seismic Risk Management, Journal of Risk Analysis, Vol. 30, No. 1.
  ۱۰. اله داد، زهرا، مدیریت ریسک زیست محیطی سد آزاد واقع در استان کردستان، پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشکده محیط زیست و انرژی، ۱۳۹۰، صفحات ۷۱ تا ۸۵ و ۱۱۸ تا ۱۳۴.
  11. Windle, P.E., 2004. Delphi technique: assessing component needs. J. Perianesth Nurs. Vol.19, pp. 46-47.
  12. Likert, R., 1932. A technique for the measurement of attitudes, Archives of Psychology, 22(140), pp.1-55.
  13. Harry, N., Boone, Jr., 2012. Analyzing Likert Data, Journal of Extension, Vol.50, No. 2.
  14. Teoh, P.C., Case, K., 2004. Failure modes and effects analysis through knowledge Modeling, Mat. J. Proc. Tech, pp. 153-154.
  15. MIL\_STD\_882D, 2011. See information in: <http://www.everyspec.com>.
  ۱۶. عزیز، سید محمود، غیاث الدین، منصور، ناصری، سیمین، نوری، جعفر، ارزیابی اثرات زیست محیطی و اقتصادی نیروگاه حرارتی بیستون کرمانشاه، مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات درمانی شهید صدوقی یزد، ۱۳۸۰، شماره چهارم.
  1. Bowles, D. S., Anderson, L.R., Glover, T. F., 1997. A Role for Risk Assessment in Dam Safety Management, Proceedings of the 3rd International Conference HYDROPOWER, Trondheim, Norway.
  ۲. انوشه، زهرا، ملامسی، سعید، جوزی، سیدعلی، اولویت بندی ریسک های محیط زیستی فاز ساختمانی سد رودبار لرستان به روش ELECTRE و SAW، اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه های برق آبی، ۱۳۹۰، تهران، ایران.
  ۳. صیادی، احمدرضا، حیاتی، محمد، منجزی، مسعود، ارزیابی، رتبه بندی و خوشه بندی ریسک عملیات تونل سازی سد و نیروگاه سیمره با استفاده از روش ELECTRE، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن، ۱۳۹۰، دوره ششم، شماره یازدهم، ۵۷-۶۹.
  ۴. مهندسین مشاور پنگان آوران، مطالعات ارزیابی اثرات زیست محیطی سد آزاد، ۱۳۸۵، جلد دوم.
  5. Kiker, G. A., Bridges, T. S., Varghese, A., Seager, T. P., Linkovjj, I., 2005. Application of Multicriteria Decision Analysis in Environmental Decision Making, Integrated Environmental Assessment and Management. Vol. 1, Number 2, pp. 95-108.
  ۶. صیادی، احمدرضا، حیاتی، محمد، منجزی، مسعود، مدیریت ریسک ساخت تونل با استفاده از تکنیک های MADM، دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ۱۳۹۰، دوره سوم، شماره هفتم، ۹۹-۱۱۶.
  7. Ghosh, S., Jintanapakanont, J., 2004. Identifying and assessing the critical risk factors in an underground rail project in Thailand: a factor analysis approach, International Journal of

- of Operations Research Vol. 10, No. 2, pp. 56-66.
20. Yazdani-Chamzini, A., Haji Yakhchali, S., Mahmoodian, M., 2013. Risk ranking of tunnel construction projects by using the ELECTRE technique under a fuzzy environment. International Journal of Management Science and Engineering Management, Vol. 8, No. 1, pp. 1-14.
۱۷. مومنی، منصور، مباحث نوین تحقیق در عملیات، چاپ اول، انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ۱۳۸۷، فصل اول.
۱۸. اصغریور، محمد جواد، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره، چاپ دهم، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۰، فصل سوم.
19. Velasquez, M., Hester, P.T., 2013. An Analysis of Multi Criteria Decision Making Methods, International Journal