*Original Article*

# Application of a multi-criteria decision-making model in selecting optimized airborne iodine absorbent released from nuclear power plants and installations in Iran

**Moharam-Nejad N[1], Setareh H[1*], Toloie Eshlaghi A[2]**

1- Department of Environmental Management, Faculty of Environment and Energy, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran.
2- Department of Industrial Management, Faculty of Economic and Management, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran.

Received April 10, 2012; Accepted September 5, 2012

## Abstract:

**Background**: Iodine is one of the most important pollutants in nuclear installations and various absorbents have been proposed to remove it. The purpose of this study was to select the optimal airborne iodine absorbents according to the conditions in Iran.
**Materials and Methods:** To implement the optimization model, at first, eight criteria were selected and their weights were determined using the SMART and Eigenevector methods. Then these weights were converted to one weight by the geometric mean. Finally, the indexes were prioritized using the two optimization methods of SAW and TOPSIS.
**Results:** Maximum weight of the criteria was related to the cost of providing the raw material and minimum to the storage time. Based on priority, the activated charcoal should be used as an optimum absorbent. TOPSIS and SAW methods were used to prioritize different absorbent beds; the results were equal in both methods. Furthermore, the results indicated that conventional activated charcoal, activated charcoal impregnated with TEDA, activated charcoal impregnated with HMTA and silver Zeolites are respectively the best absorbents in Iran.
**Conclusion:** Although the activated charcoal impregnated with TEDA has the most optimum rate of absorption, considering the influence of other parameters on its selection, this absorbent assigns a secondary priority. By eliminating technological bottlenecks in industrial production of activated carbon impregnated with TEDA, the individual and collective protection systems will be upgraded.

**Keywords:** Nuclear power plants, Nuclear facilities, Multi-criteria decision-making, Iodine, Activated carbon

* **Corresponding Author.**
**Email:** setareh8191@gmail.com
**Tel:** 0098 912 348 1671
**Fax:** 0098 21 2297 4546

Conflict of Interests: ***No***

***Feyz, Journal of Kashan University of Medical Sciences November, 2012; Vol. 16, No 5, Pages 461-467***

***Please cite this article as:*** Moharam-Nejad N, Setareh H, Toloie Eshlaghi A. Application of a multi-criteria decision-making model in selecting optimized airborne iodine absorbent released from nuclear power plants and installations in Iran. ***Feyz*** 2012; 16(5): 461-7.

# کاربرد مدل تصمیم‌گیری چند معیاره در انتخاب جاذب بهینه ید رادیواکتیو هوابرد ناشی از تاسیسات و نیروگاه‌های هسته‌ای در ایران

ناصر محرم نژاد [۱]، هاشم ستاره [۲*]، عباس طلوعی اشلقی [۳]

**خلاصه:**

**سابقه و هدف:** یکی از مهمترین آلاینده‌های تاسیسات هسته‌ای ید می‌باشد و برای حذف آن تا کنون جاذب‌های متفاوتی ارائه شده است. هدف از انجام این مطالعه انتخاب جاذب‌های بهینه ید رادیواکتیو هوابرد، متناسب با شرایط کشور ایران است.

**مواد و روش‌ها:** برای اجرای مدل بهینه سازی، در ابتدا هشت معیار انتخاب شد و وزن آنها با استفاده از روش‌های اسمارت (SMART) و بردار ویژه (Eigene Vector) تعیین گردید و اوزان با میانگین‌گیری هندسی تبدیل به یک وزن شد. سپس، با استفاده از دو روش بهینه-سازی، ساو (SAW) و تاپسیس (TOPSIS)، شاخص‌ها اولویت بندی شدند.

**نتایج:** بیشترین وزن معیارها مربوط به هزینه تامین مواد اولیه و کمترین وزن مدت زمان نگهداری است. بر اساس اولویت‌بندی، در حال حاضر باید ابتدا از زغال فعال به‌عنوان جاذب بهینه استفاده کرد. از دو روش تاپسیس و سا برای اولویت‌بندی انواع بسترهای جذبی استفاده شد که نتایج هر دو روش اولویت‌بندی یکسان بود. هم‌چنین، نتایج نشان داد که به‌ترتیب زغال فعال معمولی، زغال فعال آغشته با TEDA، زغال فعال آغشته به HMTA و زئولیت‌های نقره، به‌ترتیب بهترین انتخاب برای جاذب‌ها در ایران هستند.

**نتیجه‌گیری:** اگرچه زغال فعال آغشته به TEDA دارای بهینه‌ترین میزان جذب است، ولی به‌دلیل تاثیری که سایر شاخص‌ها در انتخاب آن دارد، این بستر جاذب اولویت دوم را به خود اختصاص می‌دهد. باید با رفع گلوگاه‌های فن آورانه در تولید صنعتی زغال فعال آغشته به TEDA، سیستم‌های حفاظت فردی و گروهی را با استفاده از این جاذب ارتقاء داد.

**واژگان کلیدی:** نیروگاه‌ها هسته‌ای، تاسیسات هسته‌ای، تصمیم‌گیری چند معیاره، ید رادیو اکتیو، زغال فعال

دو ماه‌نامه علمی– پژوهشی فیض، دوره شانزدهم، شماره ۵، آذر و دی ۱۳۹۱، صفحات ٤٦٧-٤٦١

**مقدمه**

فعالیت راکتورهای هسته‌ای منجر به انتشار ذرات و گازهای رادیواکتیو می‌شود که قبل از تخلیه به محیط زیست نیازمند کنترل هستند. یکی از مهمترین این آلاینده‌ها ید می‌باشد [۲،۱]. عنصر ید به‌صورت تصادفی در سال ۱۸۱۱ میلادی توسط Bernard Courtois کشف شد [۳]. این عنصر دارای ایزوتوپ‌های مختلفی می‌باشد که یکی از مهمترین آنها ید-۱۳۱ است که به نام رادیو ید مصطلح می‌باشد. این شکل ایزوتوپی ید دارای نیمه عمر هشت روز می‌باشد و مصارف گسترده‌ای در پزشکی و درمان دارد.

این ماده در میان محصولات شکافت یک نقش عمده داشته و در انواع نیروگاه‌ها و حوادث هسته‌ای از مهمترین عوامل مخاطره‌آمیز محسوب می‌شود [۲،۱]. در حادثه چرنوبیل در کشور شوروی سابق و نیروگاه هسته‌ای فوکوشیما در کشور ژاپن، این رادیو ایزوتوپ به‌عنوان مهمترین عامل مخاطره‌آمیز شناخته شد [۳]. در مقایسه با کل محصولات شکافت، ید-۱۳۱ عمده‌ترین محصول شکافت است که حاصل شکافت اورانیوم و پلوتونیوم بوده و در حدود ۳ درصد وزنی محصولات شکافت را تشکیل می‌دهد [٤،۲،۱]. از طرفی در میان گازهای هسته‌ای خروجی از نیروگاه-های هسته‌ای، ترکیبات ید رادیواکتیو با داشتن اندام هدف تیروئید از اهمیت بالایی از دیدگاه بهداشتی و زیست محیط زیستی برخوردار هستند. غلظت ید رادیواکتیو در خروجی سیستم‌های گاززدای نیروگاه‌های هسته‌ای تا ۳۰ پی‌پی‌ام و به‌طور معمول ۰/۱ پی پی‌ام گزارش شده است [٦،٥]. باتوجه به اینکه غده تیروئید، اندام پذیرنده ید در بدن می‌باشد، ورود ید-۱۳۱ به‌دلیل تابش بالای بتا و گاما، باعث سرطان غده تیروئید می‌شود [۲،۱]. عمده مسیرهای ورود ید به زنجیره غذایی در شکل شماره ۱ نشان داده شده است [۲].

[۱] استادیار، دانشکده محیط زیست و انرژی، گروه مدیریت محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

[۲] دانشجوی دکتری مدیریت محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده محیط زیست و انرژی، گروه مدیریت محیط زیست و انرژی

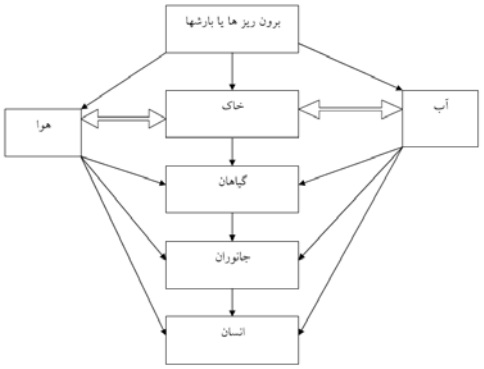
[۳] دانشیار، دانشکده مدیریت، گروه مدیریت صنعتی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

* **نشانی نویسنده مسئول:**
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده محیط زیست و انرژی، گروه مدیریت محیط زیست و انرژی

**تلفن:** ۰۹۱۲ ۳۴۸۱۶۷۱ **دورنویس:** ۰۲۱ ۲۲۹۷۴۵۴۶

**پست الکترونیک:** setareh8191@gmail.com

**تاریخ دریافت:** ۹۱/۱/۲۲ **تاریخ پذیرش نهایی:** ۹۱/۶/۱۵




شکل شماره ۱- مسیر ورود ید به زنجیره غذایی انسان

همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌شود، عمده مسیر ورود ید به بدن از طریق دو بستر هوا و آب بوده و مسیر هوایی از دو حیث مهمتر از مسیر آب می‌باشد، زیرا اولا قابلیت ایجاد آلودگی آب از طریق هوا کاملا بدیهی است. ثانیا امکان تامین آب برای افراد در معرض و به‌خصوص افراد پاسخ‌گو و یا در صحنه وجود دارد، ولی باید هوای موجود در محل با استفاده از سیستم‌های حفاظتی جمعی و فردی تصفیه شده و در اختیار افراد قرار گیرد [۲]. مهمترین مسیر مواجهه افراد در محیط‌هایی که حوادث هسته‌ای رخ داده (علی الخصوص حوادث نیروگاهی و تاسیسات هسته‌ای) مسیر مواجهه تنفسی افراد می‌باشد و مهمترین آلاینده و خطرناک‌ترین آنها ید-۱۳۱ است [۳]. نکته مهمی که باید در خصوص وقایع هسته‌ای لحاظ کرد، وجود احتمال بالای مواجهه افراد با آلاینده‌های هوابرد علی الخصوص ید-۱۳۱ است. اگرچه نیمه عمر این ماده در هشت روز اول بسیار حائز اهمیت است، ولی اثر مواجهه‌های تنفسی در طی این هشت روز برای افراد پاسخ‌گو و مردم منطقه خواهد بود و لذا طراحی و ساخت سیستم‌های بهینه جاذب مواد و آلاینده‌های رادیواکتیو علی الخصوص ید-۱۳۱ حائز اهمیت است [۳]. بر این اساس سیستم‌های تصفیه کننده هوا چه به‌صورت بسترهای جذبی مورد استفاده در ماسک‌ها و چه سیستم‌های جاذب در سیستم‌های تصفیه‌کننده جمعی بسیار حائز اهمیت است. انواع جاذب‌های متداول در دنیا شامل زغال فعال معمولی، زغال فعال آغشته با Tri Ethylene Di Amine (TEDA) و Hexa MethyleneTri Amine (HMTA) و زئولیت‌های نقره است [۵،٤]. زغال فعال آغشته با TEDA و HMTA دارای نسبت‌های ترکیبی مختلفی هستند، اما چنان‌که اشاره شد، زغال فعال آغشته با ۳ درصد وزنی TEDA و زغال فعال آغشته با ۱۰ درصد وزنی HMTA دارای میزان جذب بهتری نسبت به سایر جاذب‌ها هستند [٤]. سئوال اساسی این است که در حاضر با توجه به سایر معیارهای تاثیرگذار در انتخاب جاذب‌های بهینه، کدام جاذب در حال حاضر، متناسب با شرایط کشور ایران قابلیت استفاده دارد؟ علی‌رغم اهمیت شایان توجه کاربرد ریاضیات در علوم بهداشتی، در کشور، از روش‌های تحقیق در عملیات و مدل‌سازی‌های ریاضی در خصوص انتخاب بهینه در بین انواع روش‌ها و گزینه‌ها در مسایل بهداشتی استفاده چندانی نشده است و در خصوص موضوعات مشابه و علی‌الخصوص در حیطه این موضوع هم تاکنون در کشور تحقیق جامعی انجام نشده و در دنیا هم موارد اندکی در این موضوع دیده می‌شود. مدل‌های بهینه‌سازی از دوران نهضت صنعتی در جهان و به‌خصوص از زمان جنگ دوم جهانی همواره مورد توجه ریاضی‌دانان و دست‌اندرکاران صنعت بوده است [۷]. تاکید اصلی بر مدل‌های کلاسیک بهینه‌سازی، داشتن یک معیار سنجش (یا یک تابع هدف) می‌باشد. با این همه، توجه محققین در دهه‌های اخیر معطوف به مدل‌های چند معیاره Multi Mulitiple Criteria Decision (MCDM) Criteria Making برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، از چندین معیار سنجش ممکن است استفاده گردد [۷]. این مدل‌های تصمیم‌گیری به دو دسته عمده تقسیم می‌گردند: مدل‌های چند هدفه Multiple Objective Decision Making (MODM) و مدل‌های چند شاخصه Multiple Attribute (MADM) Decision Making. مدل‌های چند هدفه به‌منظور طراحی به‌کار گرفته می‌شوند و مدل‌های چند شاخصه به‌منظور انتخاب گزینه برتر استفاده می‌گردند [۸،۷]. هر سیستم پیشگیرانه و کنترلی باید دو مشخصه مهم داشته باشد؛ اولا با رویکرد استفاده و کاربرد آن دارای اثربخشی کافی و مورد اطمینان باشد و ثانیا دارای کارایی مناسب باشد. بر این اساس صرفا توجه به میزان جذب انواع بسترهای جذبی ملاک نمی‌باشد و باید بر اساس میزان تاثیر سایر شاخص‌ها، اقدام به انتخاب یک سیستم بهینه نمود. در این تحقیق، علاوه بر شاخص میزان جذب شاخص‌های دیگری هم که تاثیرگذار در انتخاب نوع بستر جذبی ید می‌باشند، انتخاب شدند و با توجه اهمیت متفاوت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر، وزن آنها تعیین گردیده و در انتها با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره بسترهای جذبی مناسب برای استفاده و کاربری در تاسیسات و نیروگاه هسته‌ای در کشور انتخاب شده‌اند.

## مواد و روش‌ها

مفهوم ریاضی مدل‌های بهینه به‌صورت ذیل است [۷]:

$$\text{بهینه کنید}: f(x) \;;\; f: E^n \rightarrow E^1 \quad (۱)$$

(۲)

$$s.t: g_i(x) \begin{bmatrix} \le \\ \ge \\ = \end{bmatrix} 0;\ i=1,2,...,m \quad ;E^n \to E^m$$

به‌طوری که مدل مذکور می‌تواند در مجموع به‌صورت خطی، غیر خطی یا مخلوط باشد. مدل‌های MADM به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین گزینه از بین m گزینه موجود به‌کار می‌روند [۹-۷]؛ به این مفهوم که اگر تعدادی شاخص برای یک انتخاب وجود داشته باشد و نوع و اهمیت این شاخص‌ها متفاوت باشند، با استفاده از این مدل‌ها می‌توان مناسب‌ترین گزینه‌ها را بر حسب شاخص‌های مدنظر انتخاب نمود. بهترین گزینه در یک مدل MADM یک گزینه ذهنی $A^*$ خواهد بود که ارجح‌ترین یا مطلوبیت از هر مشخصه موجود را تامین نماید [۹]. یعنی:

$$\begin{cases} A^* \approx \{x_1^*, x_2^*, ..., x_n^*\} \\ \longrightarrow \quad x_j^* = \max_i U_j(r_j) \ ; i=1,2,...,m \end{cases} \quad (۳)$$

$U_j(r_j)$ نشان دهنده مطلوبیت (یا ارزش) از مشخصه j ام است. واضح است که دسترسی به $A^*$ برای اکثر مواقع غیر ممکن است اما انتخاب مناسب‌ترین به‌طور نسبی در هر صورت امکان‌پذیر خواهد بود.

**ارزیابی اوزان ($w_j$) برای شاخص‌ها**

در اکثر مسائل MCDM و به‌خصوص بخش MADM از آن، نیاز به داشتن و دانستن اهمیت نسبی از شاخص‌های موجود داریم؛ به طوری‌که مجموع آنها برابر با واحد و اصطلاحا نرمالیزه شده و این اهمیت نسبی درجه ارجحیت هر شاخص را نسبت به بقیه برای تصمیم‌گیری مورد نظر بسنجد [۸،٦]. یکی از این روش‌ها که در این مقاله استفاده شده است، به نام روش اسمارت است که توسط Edward در سال ۱۹۷۷ توسعه یافت و مشتمل بر قدم‌های زیرین است [۷]: قدم یکم- شاخص‌ها (یا اهداف) را بر حسب اهمیت آنها رتبه‌بندی بنمایید؛ قدم دوم- وزن ده (۱۰) را به کم اهمیت‌ترین شاخص (یا هدف) واگذار کنید؛ قدم سوم- از DM خواسته شود که اهمیت هر شاخص را نسبت به کم اهمیت‌ترین (یا ارزش ۱۰) مشخص نماید. مثلا اگر ارزش ۹۰ را به شاخص (یا هدف) h واگذار نموده و ارزش ۳۰ را به شاخص k، بدان مفهوم خواهد بود که شاخص h سه برابر مهمتر از شاخص K است. به DM اجازه داده می‌شود که مروری مجدد بر ارزش‌های واگذاری خود نموده و آنها را در صورت نیاز تغییر دهد تا آنکه مجموعه‌ای سازگار از اوزان حاصل شود؛ و قدم چهارم- اوزان سازگار را نرمالیزه نموده به گونه‌ای که $\sum_j \omega_j = 1$ گردد [٦].

روش دیگر وزن دهی مورد استفاده به نام روش بردار ویژه است که این روش یک تکنیک دیگر از محاسبه اوزان ($w_i$) در شرایط عدم وجود ثبات کامل برای ماتریس D می‌باشد [٦]. از تجزیه ماتریس مربع و عکس‌پذیر D به بردار ویژه eigen vector به ازای مقدار ویژه eigen value آن ($\lambda$) استفاده می‌شود. یعنی:

$$D.W = \lambda_{max}.W \quad (٤)$$

می‌دانیم که به‌طور کلی در رابطه $D.W=\lambda.I.W$ به ازای ماتریس مربع D به‌منظور آنکه $W\neq 0$ باشد، باید دترمینان ماتریس ضرائب در دستگاه همگن $\{D-\lambda.I\}\ W=0$ نیز برابر با صفر شود؛ یعنی $|D-\lambda.I|=0$ حل این دترمینان منجر به ارزش‌های متعددی برای $\lambda$ می‌گردد که یک بردار ویژه به ازای استفاده از هر کدام از آن‌ها نیز حاصل خواهد شد. انحراف کمی perturbation در عناصر ماتریس D موجب تغییر ناچیزی در مقادیر ویژه ($\lambda$) و به‌خصوص برای $\lambda_{max}$ می‌گردد؛ از این‌رو برای محاسبه بردار W در وضعیت عدم ثبات کامل از ماتریس D استفاده از مقدار ویژه $\lambda_{max}$ بیان شده است. بر این اساس خواهیم داشت:

$$D.W = \lambda_{max}.W$$

$$\longrightarrow \qquad \text{یا} \qquad (٥)$$

$$w_{i=} \frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}.w_j}{\lambda_{max}} \longrightarrow i=1,2,...,n$$

یک طریق محاسبه تقریبی برای بردار ویژه W، استفاده از توان افزایشی (k) برای ماتریس D است و سپس نرمالیزه کردن نتایج حاصل از آن بدین صورت است:

$$W = \lim_{k\to\infty} D^k.e / e^t.D^k.e \quad (٦)$$

به‌طوری‌که $e = \begin{vmatrix} 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{vmatrix}$ می‌باشد.

روش بردار ویژه تقریبی را در واقع می‌توان به یک فرایند میانگین-گیری ساده تعبیر نمود؛ به گونه‌ای که بردار نهایی W از میانگین‌گیری از کلیه طرق ممکن برای مقایسه شاخص‌ها با یکدیگر حاصل می‌شود (زیرا $w_i = \frac{\sum a_{ij}.Wj}{\lambda_{max}}$). بنابراین، بردار ویژه یک روش طبیعی در محاسبه اوزان است[۹،۸،٦]. به‌علاوه، شواهد تئوری نشان می‌دهند که این روش یکی از روش‌های مناسب در مشخص کردن اولویت‌بندی برای شاخص‌ها (یا

گزینه‌های) موجوداست [۷]. در این تحقیق معیارهای موجود در جدول شماره ۱ به‌عنوان معیارهای اولویت‌بندی شاخص‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۱۱،۱۰]:

جدول شماره ۱- معیارهای مورد استفاده در اولویت بندی بسترهای جذبی

| ردیف | نام شاخص | مولفه شاخص |
|---|---|---|
| ۱ | میزان جذب بهینه | $C_1$ |
| ۲ | امکان دستیابی | $C_2$ |
| ۳ | امکان ساخت و تولید | $C_3$ |
| ٤ | مواد اولیه در دسترس | $C_4$ |
| ٥ | هزینه خرید جاذب | $C_5$ |
| ٦ | هزینه تامین مواد اولیه | $C_6$ |
| ۷ | هزینه تولید صنعتی | $C_7$ |
| ۸ | مدت زمان نگهداری | $C_8$ |

**اولویت بندی شاخص‌ها:**

یکی از روش‌های مورد استفاده در اولویت‌بندی شاخص‌ها، روش زیرگروه سازشی وزین یاسا است [۹،۷]. این روش یکی از قدیمی‌ترین روش‌های به‌کارگیری شده در MADM است؛ به‌طوری که با مفروض بودن بردار W اوزان اهمیت از شاخص‌ها برای آن، مناسب‌ترین گزینه A* به‌صورت ذیل محاسبه می‌گردد:

$$A^* = \left\{ A_i \left| \max_i \frac{\sum_j w_j - r_{ij}}{\sum_j w_j} \right. \right\} \qquad (۷)$$

و چنانچه $\sum_j w_j = 1$ باشد، داریم:

$$A^* = \left\{ A_i \left| \max_i \sum_j w_j - r_{ij} \right. \right\} \qquad (۸)$$

جهت حصول اطمینان از اولویت بندی انجام شده از روش دیگری به نام روش تاپسیس استفاده شد. در این روش علاوه بر در نظر گرفتن فاصله یک گزینه A از نقطه ایده‌آل، فاصله از آن نقطه ایده‌آل منفی هم در نظر گرفته می‌شود. بدان معنی که گزینه انتخابی باید دارای کمترین فاصله از راه حل ایده‌آل بوده و در عین حال دارای دورترین فاصله از راه حل ایده‌آل منفی باشد. مراحل انجام تاپسیس به‌شرح ذیل است: قدم یکم- تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به یک ماتریس بی مقیاس شده؛ قدم دوم- ایجاد ماتریس بی‌مقیاس وزین با مفروض بودن بردار W به‌عنوان ورودی به الگوریتم؛ قدم سوم- مشخص نمودن راه حل ایده‌آل و راه حل ایده‌آل – منفی؛ قدم چهارم- محاسبه اندازه جدایی (فاصله)؛ قدم پنجم- محاسبه نزدیکی نسبی Ai به راه حل ایده‌آل. ملاحظه می‌شود که چنانچه $A_i=A^+$ گردد، آنگاه $d_{i+}=0$ بوده و خواهیم داشت: $d_{i+}=1$ و در صورتی که $A_i=A^-$ شود آن گاه $d_{i-}=0$ بوده و $d_{i+}=0$ خواهد شد. بنابراین، هر اندازه گزینه Ai به راه حل ایده‌آل ($A^+$) نزدیک‌تر باشد، ارزش $d_{i+}$ به واحد نزدیکتر خواهد بود؛ و قدم ششم- رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس ترتیب نزولی $d_{i+}$ می‌توان گزینه‌های موجود از مساله مفروض را رتبه‌بندی نمود [۷].

## نتایج

برای تصمیم‌گیری صحیح و بر اساس انواع شاخص‌های دیگر و تاثیرگذار از دو روش وزن‌دهی استفاده شد. داده‌های مربوط به میزان جذب بر اساس نتایج تست‌های آزمایشگاهی به‌دست آمد و سایر داده‌ها با استفاده از پرسشنامه‌های دارای روایی و قابل اعتماد و بر اساس قضاوت خبرگان به‌دست آمد. نتایج و میانگین هندسی اوزان این شاخص‌ها محاسبه شد. نتایج این محاسبات در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. در این‌جا هم از دو روش وزن‌دهی اسمارت و بردار ویژه جهت وزن‌دهی با این شاخص‌ها استفاده شد. نتایج در روش اسمارت نشان داد که بیشترین وزن مربوط به امکان دست‌یابی و هزینه تامین مواد اولیه است و کمترین وزن مربوط به هزینه تولید صنعتی است. اما در روش بردار ویژه، اوزان حاصله در مرتبه هشتم و نهم هم‌گرا شدند و مشخص شد که بیشترین وزن مربوط به مواد اولیه در دسترس و کمترین وزن مربوط به‌مدت زمان نگهداری بود. در نتیجه میانگین‌گیری هندسی بین این اوزان مشخص شد که بیشترین وزن متعلق به هزینه تامین مواد اولیه و کمترین وزن مربوط به مدت زمان نگهداری بود.

جدول شماره ۲- اوزان نهایی حاصل از محاسبه وزن‌های هریک از معیارهای تاثیرگذار در انتخاب جاذب‌های آلاینده‌های رادیو اکتیو

| | میزان جذب بهینه | امکان دستیابی | امکان ساخت و تولید | مواد اولیه در دسترس | هزینه خرید جاذب | هزینه تامین مواد اولیه | هزینه تولید صنعتی | مدت زمان نگهداری |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ATT | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ | $C_5$ | $C_6$ | $C_7$ | $C_8$ |
| SMART | ۰/۱۶۱۲۹ | ۰/۱٤٥۱٦۱ | ۰/۰۹٦۷۷٤ | ۰/۱۲۹۰۳۲ | ۰/۱۱۲۹۰۳ | ۰/۱٤٥۱٦۱ | ۰/۰۸۰٦٤٥ | ۰/۱۲۹۰۳۲ |
| EIGEIN VECTOR | ۰/۰٦۸۱ | ۰/۱٦ | ۰/۰۹٤ | ۰/۱۹٤ | ۰/۱٥ | ۰/۱۹ | ۰/۰۹٦ | ۰/۰٤۷ |
| $W_j$ | ۰/۱۰٤۸۰۳۸٦ | ۰/۱٥۲٤۰۰۱٥۲ | ۰/۰۹٥۳۷۷۰۱ | ۰/۱٥۸۲۱٥۸٦ | ۰/۱۳۰۱۳٦٤ | ۰/۱٦٦۰۷٤۲۲ | ۰/۰۸۷۹۸۸۲۷ | ۰/۰۷۷۸۷٥ |

چنان‌که در جدول شماره ۳ مشاهده می‌شود، پس از محاسبه اوزان معیارها با روش‌های فوق، وزن نهایی از طریق میانگین‌گیری هندسی محاسبه شد. بیشترین وزن معیارها به‌ترتیب مربوط به هزینه تامین مواد اولیه، مواد اولیه در دسترس، امکان دستیابی، هزینه خرید جاذب، میزان جذب بهینه، امکان ساخت و تولید، هزینه تولید صنعتی و در نهایت مدت زمان نگهداری است. چنان‌که ملاحظه می‌شود میزان جذب بهینه از لحاظ اهمیت و اولویت، چهارمین معیار است. در نهایت هم از دو روش تاپسیس و سا برای اولویت بندی انواع بسترهای جذبی استفاده شد که نتایج هر دو روش اولویت‌بندی یکسان بود و در نهایت برای جاذب‌های ذیل ترتیب اولویت‌بندی محاسبه و ارائه گردید.

جدول شماره ۳- نتایج نهایی اولویت بندی شاخص‌ها با استفاده از روش تاپسیس

| | |
|---|---|
| $A_1$ | زغال فعال |
| $A_3$ | زغال فعال پوشش داده شده با TEDA |
| $A_2$ | زغال فعال پوشش داده شده با HMTA |
| $A_4$ | زئولیت‌های نقره |

با توجه به نتایج یکسان حاصل از هر دو روش اولویت‌بندی، مشخص شد که با توجه به تاثیر گذاری هریک از معیارها در شاخص‌های مورد بررسی ترتیب اهمیت و اولویت شاخص‌ها به‌صورت ذیل می‌باشند: زغال فعال> زغال فعال پوشش داده شده با TEDA> زغال فعال پوشش داده شده با HMTA >زئولیت‌های نقره

## بحث

در کلیه صنایع و کشورهایی که فن آوری هسته ای در آنها دارای سابقه طولانی می باشند، استفاده از جاذبهای زغال فعال پوشش داده شده با TEDA دارای کاربری زیادی می باشند[٦]. اما در کلیه تجهیزات مورد استفاده در شرایط اضطراری، استفاده از تجهیزات تصفیه کننده هوای حاوی زغال فعال معمولی نیز توصیه می‌گردد [۱۱]. بر اساس رتبه‌بندی با روش تاپسیس ترتیب اولویت‌بندی شامل زغال فعال معمولی، زغال فعال پوشش داده شده با TEDA، زغال فعال آغشته با HMTA و در نهایت زئولیت‌های نقره بود. با استفاده از روش میانگین‌گیری وزنی ساده هم نتایج اولویت‌بندی همانند نتایج تاپسیس بود و به‌عبارت دیگر هر دو روش موید همدیگر بودند. لذا، نیازی به ترکیب این دو روش نبود. نتایج مربوط به این قسمت به‌صورت ذیل قابل بیان است: اگرچه زغال فعال آغشته به TEDA دارای بهینه‌ترین میزان جذب است، ولی به‌دلیل تاثیری که سایر شاخص‌ها متناسب با ماهیت خود شاخص و هم‌چنین وزن آنها در انتخاب انواع جاذب‌ها دارند، این بستر جاذب علی‌رغم دارا بودن بالاترین توان جذب، اولویت دوم را به‌خود اختصاص می‌دهد. در اینجا است که اهمیت شاخص‌ها و جایگاه اوزان آنها در انتخاب یک گزینه در بین انواع گزینه‌ها، به‌خوبی نشان داده می‌شود.

## نتیجه‌گیری

با توجه به نبود زیر ساخت‌های فنی لازم جهت تولید صنعتی زغال فعال‌های آغشته به TEDA در کشور از یک‌سو و از طرفی با توجه به هزینه سنگین واردات این جاذب و در مواردی عدم امکان واردات آن به‌دلیل شرایط سیاسی، باید تا زمان ساخت و تولید انبوه این بستر جاذب از بستر جذبی زغال فعال استفاده کرد و کلیه اماکن، مراکز و وسایل نقلیه که در زمان بحران مورد استفاده واقع خواهند شد، با این بستر جذبی تحت پوشش سیستم تصفیه جهت استفاده در شرایط اضطراری قرار گیرند و ماسک‌های لازم جهت حضور یا فرار از اماکن دارای سطح تراز بالایی از آلودگی تهیه و توزیع گردد و کاربران نحوه نگهداری و استفاده از آنها را بیاموزند. به موازات آن با تولید صنعتی زغال فعال آغشته به TEDA این سیستم‌های حفاظت فردی و گروهی ارتقا یابند.

## تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از همکاری محققان سازمان پژوهش‌های نوین دفاعی صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم. این مقاله برگرفته از پایان‌نامه دکتری تحت عنوان "طراحی یک مدل تصمیم‌گیری جهت مدیریت آلودگی هوا در شرایط اضطراری هسته‌ای" می‌باشد.

## References:

[1] World Health Organization. Guidelines for iodine prophylaxis following nuclear accidents. Update 1999; 87.
Available at: www.who.int/environmental_information/Information_resources/ documents/Iodine/guide.pdf. 1023, 2011.

[2] ATSDR. Radiation Exposure from Iodine-131. 2002; 123.
Available at: www.ASTDR.gov/Iodine report pdf. 5 12. 2010.

[3] IAEA. Fukushima Nuclear Accident. 2011; 76. Available at: www.iaea.org/news center/new/sumani update01 html. 10 5 2011.
[4] Rosenfeld L. Discovery and Early Uses of Iodine. ***J Chem Educ*** 2000, 77(8): 5.
[5] Nikpey A. Setareh H. Removal of Methyl Iodide from air with Amin salts-Imprignated Activated Carbon Beds. ***14th National Congress of Environmental Health in Yazd***, 2011, Yazd, Iran.
[6] U.S. Department of Energy. Airborne Release Fractions/Rates and Respirable Fractions for Non Reactor Nuclear Facilities. Washington: D.C; 1994. p. 125-33.
[7] Paul Yoon K. Hwang Ch. An Introduction to Multi Criteria Decision Making. 3th ed. Califorinia: Sage University; 2004. p. 202-210.
[8] Kilgour M. Eden C. Group Decision Making & Negotition, 5th ed. London: Springer; 2010. p. 52-80.
[9] Toloie A. A new Apporach for Classification of Wieghting Methods. ***IEEE International Conference of Management of Innovation & Technology Singapore***, 2006, [Singapore, Sinpapore]
[10] Yonstantinov YO. Decision Making Criteria for Radiation Emergency Planning and Response in Russia, St. Petersburg Russia: Research Institute of Radiation Hygiene; 1974.
[11] U.S. Federal Emergency Management Agency. Guidance for developing state, tribal, and local radiological emergency response planning and preparedness for transportation accidents Federal Emergency Management Agency Report. FEMA REP-5, rev 2.Washington: FEMA; 1998. p. 23-67.