

دسترسی در سایت <http://jnrm.srbiau.ac.ir>

سال هفتم، شماره سی و یکم، مرداد و شهریور ۱۴۰۰

شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X



پژوهش‌های نوین در ریاضی



دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

اولویت‌بندی گازهای آلاینده کارخانه سیمان بر اساس مدل‌های FDH و CRA

فاطمه دادخواه^۱، محمدرضا مظفری^{۲*}، جواد گرامی^۳

(^۱) گروه ریاضی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
(^{۲*}) گروه ریاضی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۰۷/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۸

چکیده

در بسیاری از کشورها کنترل و کاهش میزان آلودگی‌های محیط زیست بسیار حائز اهمیت می‌باشد. در این مقاله بر اساس نظر کارشناسان، گازهای آلاینده در صنعت سیمان مشخص شده و بر اساس مدل‌های تحلیل پوششی داده‌ها کنترل و فیلتر کردن این گازها اولویت‌بندی شده‌اند. با دو مدل شعاعی و غیرشعاعی پیشنهادی، کاهش مجموع هزینه‌ها و تأثیرات گازهای آلاینده و با یک مدل غیر شعاعی پیشنهادی دیگر، کاهش هزینه و تأثیرات گازهای آلاینده اولویت‌بندی شده است. این گازهای آلاینده، براساس مدل‌های FDH و تخصیص منابع مرکزی، نیز با در نظر گرفتن نوع بیماری و هزینه، اولویت‌بندی شده است. در خاتمه نتایج اولویت‌بندی گازهای آلاینده صنعت سیمان فارس با سه مدل پیشنهادی و روش تاپسیس و مدل FDH مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: تحلیل پوششی داده‌ها^۱ (DEA)، مدل^۲ FDH، روش تاپسیس، تخصیص منابع مرکزی^۳ (CRA)، صنعت سیمان، آنتروپی شانون.

Email: Mozaffari854@yahoo

* عهده‌دار مکاتبات:

^۱ Data Envelopment Analysis

^۲ Free Disposal Hull

^۳ Centralized Resource Allocation

۱- مقدمه

برای ارزیابی عملکرد سازمان‌ها از روش غیر پارامتری DEA می‌توان استفاده کرد. مدل‌های معمول CCR و BCC در DEA به ترتیب با در نظر گرفتن شرط بی‌کرانی اشعه و اصل تحدب توسط چارنز و همکاران [1] و بنکر و همکاران [2] معرفی شدند. مدل‌های فوق در ماهیت ورودی و خروجی می‌توانند واحدهای تصمیم‌گیرنده (DMU^1) را ارزیابی کنند. مدل FDH اولین بار توسط دپریز و همکاران [3] ارائه شد که بر خلاف مدل‌های معمول DEA، در این مدل شرط تحدب وجود نداشت. طی سالیان گذشته مطالعاتی نیز روی مدل FDH انجام شده است. از جمله در سال ۲۰۰۴، پودینوسکی [4] توانست یک مدل خطی برای تعیین RTS در مدل FDH را ارائه کند. در مقاله‌ای که توسط سلیمانی دامنه و رشادی [5] در سال ۲۰۰۷ ارائه شد، الگوریتمی برای تعیین RTS در نقاط کارای FDH پیشنهاد شد. این الگوریتم زمان حل کوتاه دارد و فقط با محاسبه چندین نسبت ساده، RTS را تعیین می‌کند. سلیمانی دامنه و مصطفایی [6] روشی ارائه کردند که می‌توان با محاسبه تعدادی نسبت ساده، بجای حل مسئله برنامه‌ریزی ریاضی، نقاط anchor را در مدل FDH محاسبه کرد. در سال ۲۰۱۶، گارسیا و همکاران [7] کاربرد متفاوتی از مدل FDH خروجی محور ارائه دادند. آنها توانستند ۲۳۲ ژورنال اقتصادی را با این مدل رتبه‌بندی کنند و نشان دهند که نتایج بدست آمده برای رتبه‌بندی، بسیار نزدیک به نتایج بدست آمده از روش‌های معروف برای رتبه‌بندی ژورنال‌ها است. بعلاوه بکارگیری نتایج بدست آمده از رتبه‌بندی توسط مدل FDH، اطلاعات اضافی دیگری، در جهت بهبود وضعیت هر ژورنال، در اختیار سردبیر آن قرار می‌دهد. محققانی نیز بوده‌اند که ایده بررسی کاهش

مجموع کل ورودی‌ها و افزایش مجموع کل خروجی‌ها را مدنظر قرار داده‌اند. از جمله: گولانی و همکاران [8] که یک مدل تخصیص منابع براساس DEA با ماهیت خروجی ارائه داد. گولانی و تمیر [9] مقاله‌ای ارائه کردند که در آن مدل تخصیص منابعی معرفی کردند که یک کران بالا برای مجموع کل ورودی‌های مصرفی در نظر گرفته شده بود. لوزانو و ویلا [10] مدل شعاعی و غیر شعاعی CRA را مطرح کردند که در آن هدف، کاهش مجموع کل ورودی‌ها و افزایش مجموع کل خروجی‌ها می‌باشد. یک مدل به‌طور شعاعی مجموع کل ورودی‌ها را کاهش می‌دهد و مدل دیگر برای هر ورودی، ضریب اهمیتی در نظر می‌گیرد و بصورت غیر شعاعی، کل ورودی‌های مصرفی را کاهش می‌دهد. هر دو مدل تضمین می‌کند که خروجی‌ها کاهش پیدا نکنند. در دو مدل، تمام DMU ها روی مرز کارایی تصویر می‌شوند. مزیت دیگر مدل‌های ارائه شده در مقاله‌ی لوزانو و ویلا این است که بجای حل LPهای جداگانه برای هر DMU ، همه DMU ها همزمان با یک LP ارزیابی و تصویر می‌شوند. در این مقاله سعی شده است به کمک لوزانو و ویلا ایده جدیدی مطرح شود.

یکی از روش‌های معروف برای رتبه‌بندی کردن گزینه‌ها^۲ روش تاپسیس است. این روش توسط وانگ و یون [11] پیشنهاد شد و یکی از بهترین روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه^۳ MCDM است. تاپسیس در سال‌های بعد توسط چن و وانگ [12] توسعه داده شد. ایده این روش این است که هر DMU باید تا حد امکان به جواب ایده‌آل^۴ نزدیک و از جواب غیر ایده‌آل^۵ دور باشد. یو [13] روش تاپسیس را برای داده‌های فاصله‌ای بکار برد و به کمک آن توانست کیفیت هوا را در ۱۶ آمین

² Alternative

³ Multiple Criteria Decision Making

⁴ Ideal

⁵ Non- Ideal

¹ Decision Making Unit

حمل و نقل، طوفان‌های صحرائی، صنایع، احتراق ساکن شهری و ... دارد. یکی از صنایع انتشار دهنده گازهای سمی که باعث آلودگی هوا می‌شوند صنعت سیمان است. واضح است که صنعت سیمان در هر کشوری یکی از علائم پیشرفت آن کشور می‌باشد و نمی‌توان این صنعت و تولیداتش را محدود کرد. اما می‌توان با بررسی میزان آلاینده‌گی این صنعت و اثراتی که بر سلامت انسان، گیاهان و جانوران دارد، در جهت کاهش میزان آلاینده‌گی آن برآمد. آلودگی هوا ناشی از صنایع به خصوص صنعت سیمان اثرات مخربی روی لایه ازن و آب و هوای کره زمین دارد. همچنین می‌توانند باعث کاهش میدان دید شده و باعث بروز حوادث رانندگی و سوانح هوایی شوند. تخریب لایه ازن در جو زمین نیز به طور مستقیم باعث بروز سرطان پوست، آب مروارید و تضعیف سیستم دفاعی بدن می‌شود و همچنین کاهش محصولات کشاورزی و کاهش جمعیت ماهی‌ها را در پی دارد. مطالعات و تحقیقات زیادی در صنعت سیمان و اثرات آن در اکو سیستم انجام شده است از جمله در مقاله‌ای که توسط بویلاکو و براگلیا [17] ارائه شده، به کمک DEA، کارایی زیستی ۷ پالایشگاه در ایتالیا در ۹۶-۱۹۹۳ بررسی شد. در این مقاله آلودگی هوا بعنوان یک خروجی نامطلوب در نظر گرفته شده است. در سال ۲۰۰۹ میزان انتشار گاز CO₂ از کارخانه سیمان هندوستان توسط کومار و مدسواران [18] بررسی شد. در مقاله ارائه شده از DEA، بعنوان روش اندازه‌گیری کارایی زیستی استفاده شده است. بن هلال و همکاران [19] مقاله‌ای ارائه کردند که در آن راه‌هایی برای کاهش آلودگی صنعت سیمان پیشنهاد شده است. تاثیر فعالیت‌های کارخانه سیمان روی کیفیت هوا و سلامت انسان در جنوب غربی نیجریه در سال ۲۰۱۲ توسط اوونتوک و همکاران [20] مورد بررسی

مسابقات المپیک آسیایی بررسی کند. در سال ۲۰۱۲، بهزادیان و همکاران [14] یک مقاله مروری را برای کاربردهای تاپسیس در مسائل و علوم مختلف ارائه کردند و نشان دادند که این روش در همه علوم قابل بکارگیری است. در این مقاله روش تاپسیس برای مسائل مربوط به صنعت سیمان و آلودگی ناشی از آن به کار خواهد رفت. برای بکارگیری روش تاپسیس باید وزن‌هایی را برای معیارهای مورد نظر تعیین کرد. این وزن‌ها یا توسط مدیر مشخص می‌شوند و یا از طریق روش‌هایی مثل AHP، ANP، Linmap، آنتروپی و ... بدست می‌آیند. یکی از آنتروپی‌های معروف، آنتروپی شانون^۱ است. ایده آنتروپی شانون برای اولین بار توسط شانون [15] بیان شد و با گذشت سال‌ها این روش را می‌توان برای بیان ارزش هر معیار^۲ در رتبه-بندی کردن گزینه‌ها در علوم مختلف به کار برد. میزان آنتروپی هر کدام از معیارها، میزان عدم قطعیت آنرا بیان می‌کند. یعنی هر چه اطلاعات آن گروه تصادفی‌تر باشد، آنتروپی آن بیشتر و هر چه کمتر تصادفی باشد، آنتروپی آن کمتر است.

یکی از مسائلی که امروزه مورد توجه محققان و دانشمندان قرار گرفته است، محیط زیست و سلامت انسان می‌باشد. در این میان مشکلات ناشی از آلودگی هوا یکی از مهمترین خطرات موجود برای محیط زیست و کره زمین است. آلودگی هوا عبارت است از حضور یک یا چند آلاینده در هوای آزاد مانند گرد و خاک، دود غلیظ، بوی نامطبوع و ... که می‌تواند بر سلامت انسان و گیاهان و جانوران اثرات مخربی داشته باشد. بر اساس آمارهای منتشر شده از سازمان بهداشت جهانی، آلودگی هوا سالانه جان ۳۳۰۰۰۰۰ نفر از انسان‌ها را می‌گیرد که درصد بیشتری از این افراد ساکن کشورهای درحال توسعه هستند [16]. آلودگی هوا منشاهاى مختلفی مثل

¹ Shannon's entropy

² Criterion

در نهایت به کمک نتایج بدست آمده گازهای الاینده را برای فیلتر شدن رتبه‌بندی می‌کنیم.

۲- مروری بر مفاهیم اولیه

در این بخش مفاهیم اولیه تخصیص منابع مرکزی، مدل‌های FDH و تاپسیس ارائه می‌شود.

۲-۱- مدل تخصیص منابع مرکزی (CRA)

مدل تخصیص منابع مرکزی توسط لوزانو و ویلا [10] پیشنهاد شد. فرض کنیم $i=1, \dots, n$ ، $j=1, \dots, m$ DMUها باشد اندیس مربوط ورودی‌ها و $k=1, \dots, p$ اندیس مربوط به خروجی‌ها باشد. در اینصورت x_{ij} ، y_{kj} به ترتیب نشان‌دهنده ورودی i مصرفی و خروجی k تولید شده توسط DMU j است. θ متغیری است برای کاهش کل ورودی‌ها. t_k ، s_i به ترتیب متغیرهای کمبود و مازاد مربوط به خروجی k ام و ورودی i ام و $(\lambda_{1r}, \lambda_{2r}, \dots, \lambda_{nr})$ برداری برای تصویر کردن DMU r ام روی مرز است.

فاز اول:

$$\begin{aligned} \min \theta \\ \text{s.t.} \\ \sum_r \sum_j \lambda_{jr} x_{ij} \leq \theta \sum_j x_{ij} \quad \forall i, \\ \sum_r \sum_j \lambda_{jr} y_{kj} \leq \sum_j y_{kj} \quad \forall k, \\ \sum_j \lambda_{jr} = 1 \quad \forall r, \\ \lambda_{jr} \geq 0 \quad \forall j, \forall r \\ \theta \text{ free} \end{aligned} \quad (1)$$

فرض کنید θ^* جواب بهینه مدل (۱) باشد. در اینصورت مدل فاز ۲ بصورت زیر (مدل (۲)) توسط لوزانو و ویلا [10] پیشنهاد شد.

فاز دوم:

$$\begin{aligned} \max \sum_{i=1}^m s_i + \sum_{r=1}^s t_r \\ \text{s.t.} \\ \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jt} x_{ij} = \theta^* \sum_{j=1}^n x_{ij} - s_i \quad \forall i, \\ \sum_{t=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_{jt} y_{rj} = \sum_{j=1}^n y_{rj} + t_r \quad \forall r, \\ \sum_{j=1}^n \lambda_{jt} = 1 \quad \forall t, \end{aligned} \quad (2)$$

قرار گرفت. در سال 2012 چند کارخانه سیمان در ایران با توجه به استاندارد ISO 14001 به کمک تاپسیس توسط زندحسامی و همکاران [21] رتبه‌بندی شدند. ۲۹ منطقه اداری چین بین سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۰ توسط وانگ و همکاران [22] به کمک DEA از نظر کارایی انرژی و کارایی زیستی بررسی شدند. سانا و همکاران [23] وضعیت سلامتی کارگران کارخانه سیمان در هند را مورد بررسی قرار داد. در سال ۲۰۱۵ تاثیر آلودگی ناشی از کارخانه سیمان بر سلامتی افراد ساکن در نزدیکی کارخانه‌ای در نیجریه توسط اوینلوی [24] بررسی شد که در آن افراد ساکن در سه گروه، بر حسب فاصله محل سکونت تا کارخانه دسته‌بندی شده بودند. در سال ۲۰۱۵ یک روش DEA شبکه‌ای خطی بدون ماهیت ورودی یا خروجی توسط لوزانو [25] ارائه شد. روش پیشنهاد شده در آن مقاله برای بررسی کارایی سازمان‌ها و کارخانجات است و بطور همزمان به میزان تولید الودگی‌های مختلف توسط آنها نیز توجه دارد. لوزانو روش پیشنهادی خود را در دو مجموعه داده‌ها اجرا کرده است. اولین مورد بررسی ۹۲ نیروگاه که از زغال سنگ و نفت بعنوان سوخت استفاده می‌کردند. دومین مورد ارزیابی ۲۳ کشور عضو سازمان همکاری و توسعه طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۲ بوده است.

عباسی و کاویانی [26]، تعداد ۹ کارخانه سیمان در ایران را با روش‌های مختلفی به کمک DEA ارزیابی کردند. لی و همکاران [27] مقاله ارائه دادند که در آن در جهت کاهش آلودگی حاصل از صنعت سیمان و افزایش سود کارخانه راه‌هایی پیشنهاد شده است.

در بخش ۲ مطالب و روشهایی که در این مقاله استفاده می‌شود را خواهیم گفت. در بخش ۳ مدل‌های پیشنهادی این مقاله آورده می‌شود. در بخش ۴ مدل‌های پیشنهادی را برای یک کارخانه سیمان و اثرات آن بر سلامت انسان بررسی می‌کنیم.

کارایی بدست آمده برای DMU_o از رابطه ساده زیر بدست می‌آید.

$$\theta_j^o = \min_{j \in J} \left\{ \max_i \left\{ \frac{x_{ij} \lambda_{jo}}{x_{io}} \right\} \right\}$$

۲-۳- روش تاپسیس:

روش تاپسیس یکی از روش‌های مهم در اولویت بندی مسائل در حالت چند معیاره می‌باشد. در این بخش برای تعیین رتبه گزینه‌های A_1, \dots, A_p بر اساس معیارهای x_1, \dots, x_k روش تاپسیس ارائه می‌شود. مراحل اصلی روش تاپسیس بصورت زیر می‌باشد:

گام ۱: جمع‌آوری داده‌های ماتریس تصمیم

$$x_{cl} \quad (c = 1, \dots, p, l = 1, \dots, k)$$

$$A_1 \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1k} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{p1} & \dots & x_{pk} \end{bmatrix}$$

این ماتریس شامل p گزینه و k معیار می‌باشد.

گام ۲: نرمال کردن ماتریس تصمیم

$$r_{cl} = \frac{x_{ck}}{\sqrt{\sum_{h=1}^p x_{hl}^2}}$$

$$c = 1, \dots, p, \quad l = 1, \dots, k$$

r_{cl} مقدار نرمال شده متناظر با x_{cl} می‌باشد.

گام ۳: تعیین وزنهای مربوط به هر معیار

$$w_l, \quad l = 1, \dots, k; \quad \sum_{l=1}^k w_l = 1$$

گام ۴: محاسبه ماتریس تصمیم نرمال شده وزندار

$$V_{cl} = w_l r_{cl}$$

گام ۵: تعیین جواب ایده‌آل و ایده‌آل منفی

$$A^+ = \{(\max_c v_{cl} \mid l \in L), (\min_c v_{cl} \mid l \in L')\}, c = 1, \dots, p = \{v_1^+, \dots, v_k^+\}$$

$$A^- = \{(\min_c v_{cl} \mid l \in L), (\max_c v_{cl} \mid l \in L')\}, c = 1, \dots, p = \{v_1^-, \dots, v_k^-\}$$

در صورتیکه $J \subset \{1, \dots, p\}$ شامل معیارهای سوددهی

و $J' \subset \{1, \dots, n\}$ شامل معیارهای هزینه است.

$$\lambda_{jt}, t_r, s_i \geq 0 \quad \forall j, \forall t, \forall r, \forall i$$

در مدل‌های (۱) و (۲)، هدف، کاهش همزمان مجموع کل ورودی‌های مصرف شده برای تولید خروجی‌ها است و تفاوتی که با مدل‌های معمول در DEA دارد، این است که با حل یک LP همه DMUها بطور همزمان روی مرز کارایی تصویر می‌شوند. بعد از حل فاز II مقادیر بهینه $\lambda_{1t}^*, \lambda_{2t}^*, \dots, \lambda_{nt}^*$ بدست می‌آیند که با بکارگیری آنها تصویر واحدها روی مرز کارایی توسط رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

$$(\hat{x}_{ij}, \hat{y}_{rj}) = (\sum_j \lambda_{jt}^* x_{ij}, \sum_j \lambda_{jt}^* y_{rj}) \quad \forall i, \forall r \quad (3)$$

۲-۲- مدل FDH:

ارزیابی DMU_o تحت مدل FDH با ماهیت ورودی با تکنولوژی CRS^۱ بصورت (۴) می‌باشد.

$$\min \min_{1 \leq j \leq n} \theta_j^o \quad (4)$$

$$s.t \quad \lambda_{jo} x_{ij} \leq \theta_j^o x_{io} \quad i=1, \dots, m,$$

$$\lambda_{jo} y_{rj} \geq y_{ro} \quad r=1, \dots, s,$$

$$\lambda_{jo} \geq 0 \quad j=1, \dots, n, \quad o=1, \dots, n$$

DMU_o را کارای FDH می‌گوییم اگر جواب بهین در مدل (۴) $\theta_o^* = 1$ باشد.

شرط $\sum_j \lambda_j = 1$ و $\lambda_j \in \{0, 1\}$ تضمین می‌کند که ارزیابی فقط با DMUهای واقعی انجام می‌شود. در حالیکه در دیگر مدل‌های DEA از DMUهای مجازی نیز استفاده می‌شود. روش ارائه شده در [6] یک روش با زمان حل چندجمله‌ای است. فرض کنید برای $o, j \in J = \{1, \dots, n\}$ داریم:

$$\lambda_{jo} = \max_r \left\{ \frac{y_{ro}}{y_{rj}} \right\}$$

که J مجموعه اندیس‌های DMUهاست. مقدار

¹ Constant Return to Scale

عدد اطمینان برای معیار لام بصورت زیر بدست می‌آید:

$$d_l = 1 - e_l \quad l = 1, \dots, n$$

وزن مربوط به هر معیار (ضرایب شانون) برابر است با:

$$w_l = \frac{d_l}{\sum_{l=1}^n d_l}$$

در صورتیکه از قبل برای هر معیار ضریب اهمیت λ_l در نظر گرفته شده باشد، ضرایب شانون را بصورت زیر محاسبه می‌کنیم:

$$w'_l = \frac{\lambda_l w_l}{\sum_{l=1}^n \lambda_l w_l}, \quad \sum_{l=1}^n \lambda_l = 1$$

۳- مدل‌های پیشنهادی

در این بخش براساس مدل‌ها و روش‌های معرفی شده در بخش قبلی مقاله، ۳ مدل اصلی جدید (مدل‌های (۶)، (۷) و (۸)) برای اولویت‌بندی گزینه‌ها ارائه شده است، که هدف اصلی مدل‌های (۶) و (۸) کاهش همزمان کل ورودی‌هاست. مدل‌های (۶)، (۷) و (۸) با الهام از مطالعات انجام شده توسط سلیمانی دامنه و مصطفایی [6] و لوزانو و ویلا [10] پیشنهاد شده است. مدل‌های ارائه شده در این دو مطالعه FDH و CRA بودند که مهمترین مزیت مدل FDH عدم وجود محدودیت تحذب است. در بسیاری از مسائل دنیای واقعی، محدودیت تحذب عملاً قابل توجیه نیست. به‌عنوان مثال، در مطالعه موردی بخش ۴ در مورد آلاینده‌های هوا، ترکیب محدب از گازها معنای عملی نخواهد داشت.

گام ۶: محاسبه کردن فاصله هر گزینه از جواب ایده‌آل و جواب ایده‌آل منفی

$$s_{c+} = \sqrt{\sum_{l=1}^k (v_{cl} - v_l^+)^2} \quad c = 1, \dots, p$$

$$s_{c-} = \sqrt{\sum_{l=1}^k (v_{cl} - v_l^-)^2} \quad c = 1, \dots, p$$

گام ۷: محاسبه نزدیکی نسبی به جواب ایده‌آل

$$C_c = \frac{s_{c-}}{s_{c-} + s_{c+}}$$

گام ۸: مرتب کردن گزینه‌ها به ترتیب نزولی از C_c ($c = 1, \dots, p$)

در گام ۳ از روش تاپسیس باید برای هر معیار، وزنی را تعیین کرد (w_l ($l = 1, \dots, k$)). در این مقاله از روش آنتروپی شانون برای تعیین وزن معیارها استفاده شده است. آنتروپی شانون با بکارگیری روش زیر (w_l ($l = 1, \dots, k$)) را انتخاب می‌کند. فرض کنیم داده‌هایی به صورت جدول (۲) داریم.

m تعداد گزینه‌ها و n تعداد شاخص‌ها می‌باشد. متناظر با هر E_{jl} ($j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, n$) اعداد \overline{E}_{jl} ($j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, n$) را طبق رابطه زیر بدست می‌آوریم:

$$\overline{E}_{jl} = \frac{E_{jl}}{\sum_{j=1}^m E_{jl}}$$

در جدول ۲ برای هر ستون (معیار)، عدد e_l ($l = 1, \dots, n$) را با رابطه زیر محاسبه می‌کنیم:

$$e_l = -e_0 \sum_{j=1}^m \overline{E}_{jl} \cdot \ln \overline{E}_{jl} \ni e_0 = \frac{1}{\ln m}$$

جدول ۲: ماتریس تصمیم

L \ j	1	2	...	n
1	E_{11}	E_{12}	...	E_{1n}
2	E_{21}	E_{22}	...	E_{2n}
.
.
m	E_{m1}	E_{m2}	...	E_{mn}

$$\left\{ \frac{x_{io}}{\sum_j x_{ij}} \quad i = 1, \dots, m \right\}$$

گام ۳: با بکارگیری λ_j^* در محدودیت‌های ورودی (6.2):

$$\theta_t \geq \lambda_t^* \cdot \max_i \left\{ \frac{x_{io}}{\sum_j x_{ij}} \right\}$$

به ازای هر DMU یک مقدار برای θ_t بدست می‌آید که کمترین مقدار θ_t بعنوان بهترین کارایی محسوب می‌شود.

۳-۲- مدل غیر شعاعی کاهش ورودی‌ها:

در این بخش، مدل (۷) برای ارزیابی و اولویت‌بندی DMU ها را پیشنهاد می‌شود.

این مدل برای کاهش ورودی‌های استفاده شده برای تولید خروجی‌ها است و ترکیبی محذب از DMU را شامل نمی‌شود.

$$\theta_o^* = \min \frac{\sum_{i=1}^m \theta_i}{m}$$

s.t.

$$\sum_j \lambda_j x_{ij} \leq \theta_i x_{io} \quad \forall i, \quad (7.1)$$

$$\sum_j \lambda_j y_{rj} \geq y_{ro} \quad \forall r, \quad (7.2)$$

$$\lambda_j \in \{0,1\}, \quad \theta_i \geq 0$$

مراحل زیر برای ارزیابی DMU_o توسط مدل (۷) پیشنهاد شده است:

گام ۱: با استفاده از محدودیت مربوط به خروجی‌ها (7.2) مقدار λ_{to}^* برای DMU_o محاسبه می‌شود.

$$\lambda_{to}^* = \max_r \left\{ \frac{y_{ro}}{y_{rj}} \right\} \quad j = 1, \dots, n$$

گام ۲: با در نظر گرفتن λ_{to}^* از گام اول، نسبت‌های ورودی سایر واحدها به ورودی DMU_o محاسبه می‌شود.

$$\left\{ \frac{x_{ij}}{x_{io}} \mid j = 1, \dots, n \right\} \quad i = 1, \dots, m$$

چون محدودیت مربوط به ورودیها به صورت غیر

مزیت مدل CRA این است که به جای کاهش مقادیر مصرفی هر ورودی، هدف اصلی این مدل کاهش کل ورودی‌ها می‌باشد. با توجه به مزیت مدل‌های غیر شعاعی می‌توان گفت که نتایج تولید شده آنها کاربردی‌تر است. یکی دیگر از مزیت‌های مدل‌های (۷) و (۸) این است که علی‌رغم غیرخطی بودن، مانند مدل FDH ، این مدل‌ها را می‌توان از طریق مقایسه زوجی حل کرد.

۳-۱- مدل شعاعی کاهش مجموع کل ورودی‌ها بطور همزمان:

در این بخش مدل پیشنهادی (۶) بر اساس کاهش مجموع کل ورودی‌ها ارائه می‌شود. به عبارت دیگر، به جای اینکه ورودی‌ها را یک به یک کاهش دهیم، هدف اصلی در اینجا کاهش کل ورودی‌ها است. توجه داشته باشید که از مدل FDH در طراحی مدل (۶) استفاده می‌شود، با توجه به اینکه ترکیبی محذب از DMU ها در اکثر مسائل در دنیای واقعی معنی ندارد.

$$\min \quad \theta$$

s.t.

$$\sum_j \lambda_j x_{ij} \leq (\sum_j x_{ij}) \theta \quad \forall i, \quad (6.1)$$

$$\sum_j \lambda_j y_{rj} \geq \sum_j y_{rj} \quad \forall r, \quad (6.2)$$

$$\lambda_j \in \{0,1\}, \quad \theta \geq 0$$

برای حل مدل (۶) به هیچ نرم افزار خاصی احتیاج نیست و می‌توان با انجام عملیات ریاضی ساده آنرا حل کرد. مراحل زیر برای اولویت‌بندی DMU ها توسط مدل (۶) پیشنهاد شده است:

گام ۱: با استفاده از محدودیت مربوط به خروجی‌ها (6.2) مقدار λ_j^* از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\lambda_t^* = \max_r \left\{ \frac{\sum_j y_{rj}}{y_{ro}} \right\}$$

گام ۲: در این گام نسبت‌های ورودی DMU_o به مجموع ورودی‌های سایر واحدها محاسبه می‌شود.

گام ۳:

$$\theta_o^* = \text{average} \left\{ \lambda_t^* \cdot \frac{x_{ij}}{\sum_j x_{ij}}, i = 1, \dots, m \right\}$$

به ازای هر گزینه، یک مقدار برای θ_o^* بدست می‌آید که در پایان با مرتب کردن θ_o^* های بدست آمده بر حسب صعودی می‌توان گزینه‌ها را رتبه‌بندی کرد. روش‌های پیشنهادی اجازه می‌دهد که با انجام تعدادی محاسبات ریاضی ساده، اولویت‌بندی گزینه‌ها انجام شود. در بخش ۴، نتایج مدل‌های پیشنهادی را با نتایج حاصل از روش تاپسیس و مدل FDH غیر شعاعی مقایسه می‌کنیم تا نشان دهیم که نتایج بسیار مشابه می‌تواند با عملیات محاسباتی بسیار کمتری حاصل شود.

۴- مطالعه کاربردی:

کشور ایران جز ۱۵ کشور برتر دنیا در صنعت سیمان است و روز به روز به میزان تقاضای محصول این صنعت از کشورهای دیگر رو به افزایش است. بنابراین، این موضوع ضروری به نظر می‌رسد که باید برای کاهش آلودگی‌های ناشی از این صنعت تصمیمات مهم و جدی گرفته شود. برای تولید محصول در صنعت سیمان مراحل مختلفی انجام می‌شود از جمله تهیه مواد خام، آسیاب کردن مواد خام، آماده‌سازی مخلوط مواد خام، خنک کردن کلینکر، آسیاب نهایی، بسته‌بندی و بارگیری. در هر کدام از مراحل بالا مقداری گازهای سمی و آلوده کننده هوا و محیط زیست منتشر می‌شود. با توجه به موقعیت جغرافیایی هر کارخانه و قرارگیری آن در نزدیکی شهرها و روستاها و یا در مجاورت زمین‌های کشاورزی و حتی جنگل‌ها، انتشار این گازهای سمی تأثیری جبران ناپذیر روی سلامت انسان، حیوان و گیاهان خواهد داشت. با توجه به این موضوع ضرورت بررسی میزان انتشار این آلاینده‌ها واضح است. در کارخانه‌های سیمان در هر مرحله از روند تولید می‌توان از تجهیزات غبارگیری استفاده کرد

شعاعی و تابع هدف $\sum_{i=1}^m \theta_i$ می‌باشد، قید مربوط به ورودی‌ها (7.1) بصورت نافذ برقرار می‌شود.

گام ۳:

$$\theta_t^{o*} = \text{average} \left\{ \lambda_{to}^* \cdot \frac{x_{ij}}{x_{io}}, i = 1, \dots, m \right\}$$

گام ۴:

$$\theta_o^* = \min_{1 \leq j \leq n} \theta_t^{o*}$$

با انجام مراحل بالا می‌توان برای هر DMU مقدار کارایی را محاسبه کرد. در نهایت بعد از محاسبه مقدار θ_o^* برای همه DMU ها می‌توان آنها را به ترتیب نزولی مرتب کرد و با توجه به آن، DMU ها را رتبه‌بندی نمود.

۳-۳- مدل غیرشعاعی کاهش مجموع ورودی‌ها:

در این بخش مدل غیر شعاعی کاهش مجموع ورودی‌ها بر اساس مدل FDH و CRA پیشنهاد می‌شود.

$$\theta_o^* = \min \frac{\sum_{i=1}^m \theta_i}{m}$$

s.t.

$$\sum_j \lambda_j x_{ij} \leq (\sum_j x_{ij}) \theta_i \quad \forall i, \quad (8.1)$$

$$\sum_j \lambda_j y_{rj} \geq \sum_j y_{rj} \quad \forall r, \quad (8.2)$$

$$\lambda_j \in \{0,1\}, \quad \theta_i \geq 0$$

با استفاده از مدل (۸) اولویت‌بندی DMU ها با بکارگیری گام‌های زیر پیشنهاد می‌شود.

گام ۱: براساس محدودیت مربوط به خروجی‌ها (8.2)، λ_t^* محاسبه می‌شود.

$$\lambda_t^* = \max_r \left\{ \frac{\sum_j y_{rj}}{y_{rj}} \right\}$$

گام ۲: چون مدل غیرشعاعی است و قیدهای مربوط به ورودی‌ها (8.1) در بهینگی نافذ هستند، به کمک رابطه زیر نسبت ورودی‌ها محاسبه می‌شود.

$$\left\{ \frac{x_{ij}}{\sum_j x_{ij}}, i = 1, \dots, m \right\}$$

اکسیژن روی هموگلوبین خون جایگزین می‌شود و در مدت کوتاهی می‌تواند باعث خفگی شود. CO₂ اثرات دیگری نیز در بدن ایجاد می‌کند از جمله: رسوب کلسیم در بافت‌های بدن و کاهش نیروی انقباضی قلب. البته وجود CO₂ به مقدار اندک برای تنظیم PH خون ضروری است.

CO: این گاز با ترکیب شدن با هموگلوبین خون باعث نارسایی در اعمال حسی و اندام‌ها از جمله مغز و قلب می‌شود. در نهایت سبب کما و مرگ می‌شود. NO_x: نمادی است که برای NO و NO₂ بکار می‌رود. NO₂ در طولانی مدت باعث آسیب بر چشم و سیستم تنفسی می‌شود و می‌تواند افزایش برونشیت حاد را در پی داشته باشد. همچنین یکی از دلایل اصلی ایجاد باران‌های اسیدی NO₂ می‌باشد. NO₂ می‌تواند باعث افزایش عفونت‌های تنفسی در کودکان و کاهش عملکرد غده تیروئید شود. NO₂ با ترکیب شدن با هموگلوبین خون، مواد سرطان‌زا را در بدن تولید می‌کند. NO نیز باعث اثرات مخربی در بدن است از جمله: بیماری‌های مزمن تنفسی مثل برونشیت، سرطان ریه و نیز سرطان معده، اختلالات ژنتیکی، اختلال در حافظه، افزایش حملات آسم و آسیب به DNA. با واکنش شیمیایی NO_x در هوا مقداری O₃ (ازن) ایجاد می‌شود که این گاز نیز می‌تواند بسیار خطرناک باشد. O₃ باعث حملات آسمی، تشکیل مه دود شیمیایی، التهاب بافت ریه و عفونت ریه می‌شود.

Pb: این گاز که از سوختن زغال سنگ به وجود می‌آید می‌تواند باعث اختلال در عملکرد هموگلوبین شده و در نتیجه باعث کم‌خونی می‌شود. از دیگر اثرات طولانی مدت آن می‌توان به افزایش فشار خون، آسیب کلیه‌ها، سقط جنین و نارسای نوزاد، اختلال سیستم عصبی، آسیب مغز، ناباروری مردان، کاهش قدرت یادگیری در کودکان و بیش‌فعالی کودکان اشاره کرد. در جدول ۳ خلاصه مطالب بالا نمایش داده شده است.

که طبعاً استفاده از آن تجهیزات هزینه‌هایی نیز در بردارد. برخی از این تجهیزات غبارگیری شامل مخازن ته‌نشینی، سیکلون‌ها، مولتی سیکلون‌ها، فیلترهای کیسه‌ای، فیلترهای شنی، و الکتروفیلترها می‌باشد. از جمله گازهای سمی که از دودکش کارخانه سیمان منتشر می‌شود SO₂، NO_x، CO، CO₂ و Pb می‌باشد. حضور هر کدام از این گازها با درصدی خاص در هوا لازم و مفید است ولی اگر این درصد در منطقه‌ای بیشتر از میزان ضرورت شود، مطمئناً مضر خواهد بود. در زیر برخی فواید و مضرات این گازها را توضیح می‌دهیم:

SO₂: این گاز یکی از عوامل مهم در ایجاد باران‌های اسیدی است که در نتیجه آن، تنوع طبیعی گیاهان و جانوران در اکو سیستم تغییر خواهد کرد. همچنین باران اسیدی باعث تخریب ساختمان‌ها از جمله آثار باستانی و مجسمه‌ها می‌شود. باران اسیدی روی سلامت انسان نیز اثرات جبران‌ناپذیری دارد از جمله تنگی نفس، برونشیت، التهاب ریه، آنفولانزا. از طرفی می‌توان SO₂ را برای نگهداری میوه‌های خشک و یا پرکردن سیلندرهای گاز بکار گرفت. SO₂ روی بدن انسان نیز تاثیراتی مخرب دارد از جمله یخ‌زدگی و سوختگی پوست، ناراحتی‌های لته و پوسیدگی دندان‌ها، تخریب بافت چشم و ریه، در طولانی مدت فرد دچار برونشیت خواهد شد و در نهایت ناراحتی‌های قلبی.

CO₂: به طور کلی CO₂ با درصدی خاص در هوا ضروری است. مثال بسیار واضحی از ضرورت وجود آن، نقش حیاتی این گاز در عمل فتوسنتز گیاهان است. اما جمع‌آوری CO₂ منتشر شده از کارخانه سیمان کار دشوار و پر هزینه می‌باشد و نیز به طور کلی نمی‌توان از CO₂ جمع‌آوری شده استفاده زیادی برد. از اثرات مخرب CO₂ می‌توان به گرمای ایجاد شده در سطح زمین طی ۵۰ سال گذشته اشاره کرد که در نتیجه آن تغییرات آب و هوایی زیادی در کره زمین ایجاد شده است. CO₂ بجای

جدول ۳. اثرات مثبت و منفی گازهای مختلف

نام گاز	اثرات مثبت	اثرات منفی
Pb		کم خونی - نارسای نوزاد - افزایش فشار خون - آسیب به کلیه
CO ₂	عمل فتوسنتز گیاهان - تنظیم PH خون	تغییرات آب و هوای کره زمین - رسوب کلسیم در بافت‌های بدن - کاهش نیروی انقباضی قلب
NO _x		آسیب چشم و سیستم تنفسی - باران اسیدی - سرطان ریه - سرطان معده - اختلالات ژنتیکی - اختلال در حافظه - افزایش حملات آسم - آسیب به DNA
CO		نارسایی در اعمال حسی و اندام‌ها از جمله مغز و قلب - در نهایت باعث کما و مرگ
SO _x	نگهداری میوه‌های خشک - پرکردن سیلندرهای گاز	باران‌های اسیدی - تنگی نفس - برونشیت - التهاب ریه - آنفولانزا - یخ‌زدگی و سوختگی پوست - ناراحتی‌های لته و پوسیدگی دندان - تخریب بافت چشم و ریه - برونشیت - ناراحتی‌های قلبی

سطح استاندارد، برآورد شده است. ستون اول از جدول ۵ نشان دهنده این هزینه بر حسب میلیون دلار به طور ماهانه می‌باشد. این هزینه شامل خرید تجهیزات، نصب و نگهداری این تجهیزات در طول یکسال می‌باشد. ستون دوم هزینه درمان هر بیماری بر اثر هر آلاینده، بطور متوسط ماهانه است که شامل هزینه مراجعه به پزشک، هزینه دارو، احتمالاً هزینه بستری در بیمارستان و هزینه مرخصی‌های ناشی از بیماری در طول یک ماه است. البته برای محاسبه این هزینه درصد نقش هر آلاینده در هزینه متوسط هر بیماری ضرب شده و حاصل جمع مربوط به هر آلاینده بدست آمده است. با مشورت با پزشکان داده‌های ستون دوم با متوسط ماهانه برای هر بیماری تخمین زده شده است. این هزینه‌ها در جدول ۵ بر حسب دلار نمایش داده شده است.

با بررسی نظرات کارشناسان محیط‌زیست و استفاده از نظرات پزشکان در زمینه ریه و قلب و استفاده از پرسشنامه در نقش آلاینده‌ها در ایجاد بیماری‌ها از جمله آلرژی، آسم، برونشیت، سرطان ریه و آمفیوزم جدول ۴ تدوین شده است. این اطلاعات در ۵ ستون اول جدول ۴ به صورت درصد بیان شده است. براساس نظر کارشناس‌های محیط‌زیست و پرسشنامه‌ای که تنظیم شده است، نمره‌ای بین ۱۰-۰ برای هر آلاینده در نظر گرفته شده که نشان دهنده اهمیت حضور این مواد در هوا می‌باشد. (به طور طبیعی حضور برخی از این مواد در هوا لازم و ضروری است). داده‌های ذکر شده در جدول ۶ مربوط به یکی از کارخانجات سیمان در استان فارس سال ۲۰۱۶ می‌باشد.

با کمک کارشناسان متخصص در این کارخانه، متوسط هزینه فیلتر کردن هر گاز تا رسیدن به

جدول ۴: داده‌های مربوط به نقش هر آلاینده در هر بیماری و ضرورت وجود هر گاز بر حسب درصد

نوع آلاینده	X1	X2	X3	X4	X5	Y1
	آلرژی	آسم	برونشیت	سرطان ریه	آمفیوزم	ضرورت وجود
Pb	18.9	19.1	15.1	15.6	22	0.9
CO ₂	8.7	15.8	14.8	11.2	9.8	2.2
NO _x	31.5	24.7	20.9	38.7	23.1	3.6
CO	16.3	15	18.5	10.3	15.9	1.3
SO _x	24.6	25.4	30.7	24.2	29.2	7.8

جدول ۵: هزینه برآورد شده برای فرد مبتلا به هر بیماری

نوع بیماری	آلرژی	آسم	برونشیت	سرطان ریه	آمفیزم
هزینه (برحسب دلار)	25	35	50	100	120

شده است.

۲. آلاینده‌ها فقط از نظر اقتصادی ارزیابی می‌شوند که این ارزیابی بر اساس داده‌های ارائه شده در جدول ۶ است. نتایج در جدول ۸ و شکل ۳ نمایش داده می‌شود.

۳. هر دو گروه معیارهای اقتصادی و زیست محیطی به طور همزمان در نظر گرفته می‌شوند. مجموعه داده‌ها از هر دو جدول ۴ و ۶ گرفته شده است. نتایج در جدول ۹ و شکل ۴ ارائه شده است.

توجه داشته باشید که نمرات بدست آمده برای رتبه‌بندی‌ها، در صورت استفاده از روش تاپسیس و مدل (۴) و (۷) به ترتیب صعودی، در مدل‌های (۶) و (۸) به ترتیب نزولی مرتب می‌شوند. مراحل محاسبه، مجموعه داده‌های مورد استفاده و ارائه نتایج در شکل ۱ خلاصه شده است.

بطور مثال هزینه ناشی از انتشار Pb به شرح زیر می‌باشد:

$$Pb = 25(0.189) + 35(0.191) + 50(0.151) + 100(0.156) + 120(0.22) = 60.96$$

ستون سوم در جدول ۶ نشان‌دهنده عمر مفید دستگاه تصفیه بر حسب سال بطور متوسط است که طبق نظر کارشناسان جمع‌آوری شده است.

در این مقاله آلاینده‌ها با استفاده از مدل‌های پیشنهادی (۶)، (۷)، (۸)، روش تاپسیس و مدل (۴) اولویت‌بندی می‌شوند. این اولویت‌بندی را در سه حالت مختلف انجام خواهیم داد:

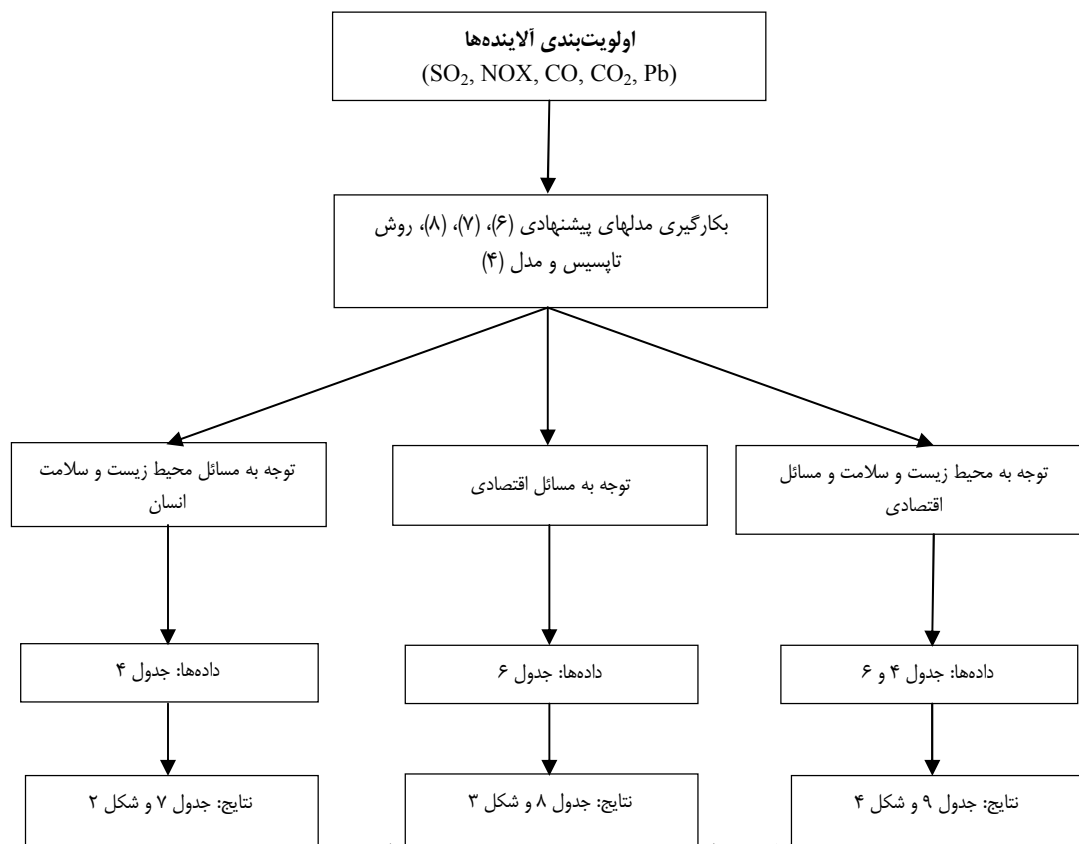
۱. فقط داده‌های مربوط به زیست محیطی و پزشکی در نظر گرفته شود و هیچ مسئله مالی یا اقتصادی مد نظر نباشد. در این مورد داده‌های جدول ۴ استفاده شده و نتایج در جدول ۷ و شکل ۲ ارائه

جدول ۶: داده‌های مربوط به کارخانه سیمان فارس

نوع آلاینده	X1	X2	Y1
	هزینه فیلتر کردن (بر حسب دلار)	هزینه بیماری (بر حسب دلار)	عمر مفید (بر حسب سال)
Pb	251.2	60.96	8.3
CO ₂	233.5	38.065	8.8
NO _x	352.3	93.39	12.1
CO	248.7	47.955	7.9
SO _x	281.3	89.63	10.2

جدول ۷: نتایج رتبه‌بندی آلاینده‌ها براساس معیارهای زیست محیطی و سلامتی انسان

DMU	مدل (۴)		تاپسیس		مدل (۶)		مدل (۷)		مدل (۸)	
Pb	0.1741	(5)	0.2299	(5)	3.8622	(5)	0.1741	(5)	3.1846	(5)
CO ₂	0.6572	(2)	0.3489	(3)	1.1347	(2)	0.6572	(2)	0.8661	(2)
NO _x	0.4770	(3)	0.3535	(2)	1.6985	(3)	0.4770	(3)	1.2192	(3)
CO	0.3016	(4)	0.2835	(4)	2.2485	(4)	0.3016	(4)	1.8474	(4)
SO _x	1.0000	(1)	0.8074	(1)	0.6219	(1)	1.0000	(1)	0.5433	(1)

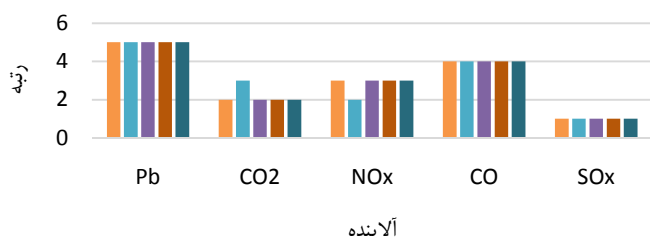


شکل ۱: مراحل رتبه‌بندی و داده‌های مورد استفاده در مقاله

جدول (۶) که این داده‌ها در صورتی بکار برده می‌شوند که فیلتر کردن آلاینده‌ها، فقط از لحاظ مالی و اقتصادی بررسی شوند. داده‌های جدول (۶) هم هزینه فیلتر کردن آلاینده‌ها در کارخانه سیمان را در نظر گرفته و هم هزینه ناشی از درمان بیماری‌های ناشی از انتشار آلاینده‌ها را. CO_2 در جدول ۸ رتبه اول را در همه مدل‌ها دارد. یعنی با در نظر گرفتن هزینه‌های مربوط به فیلتر کردن هر آلاینده و هزینه ناشی از درمان بیماری‌های ناشی از انتشار آلاینده‌ها، همه مدل‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که CO_2 برای فیلتر کردن در اولویت آخر است. SO_x در مدل‌های (۴)، (۶)، (۷) و (۸) رتبه پنجم را دارد و بنابراین برای فیلتر کردن باید اولویت اول باشد. در این جدول رتبه مربوط به CO با مدل‌های (۴)، (۶)، (۷) و روش تاپسیس مشابه است.

در جدول ۷ رتبه‌های بدست آمده برای Pb ، SO_x و CO (رتبه اول و چهارم و پنجم) در هر ۵ مدل یکسان هستند. CO_2 و NO_x با مدل‌های (۴)، (۶)، (۷) و (۸)، به ترتیب رتبه دوم و سوم را دارد و فقط از روش تاپسیس جوابی متفاوت بدست آمده است. نتایج بدست آمده در جدول ۷ با بکارگیری داده‌های جدول ۴ بوده است و نتایج همه مدل‌ها نشان می‌دهد که اگر فقط اثرات زیست محیطی و بخصوص اثر آلاینده‌ها بر سلامت انسان مد نظر باشد، باید ابتدا کارخانه سیمان فیلتر کردن Pb را در اولویت قرار دهد و فیلتر کردن SO_x در اولویت آخر می‌باشد.

شکل ۲ بخوبی می‌تواند نزدیکی نتایج بدست آمده از مدل (۴)، (۶)، (۷) و (۸) و روش تاپسیس را نشان دهد. جدول (۸) نتایج حاصل از روش تاپسیس و مدل (۴)، (۶)، (۷) و (۸) است با بکار بردن داده‌های

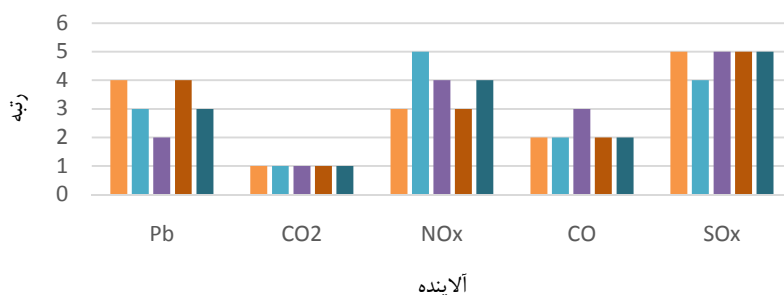


مدل (۴) مدل (۶) تاپسیس مدل (۷) مدل (۸)

شکل ۲: رتبه‌بندی آلاینده‌ها براساس معیارهای زیست محیطی

جدول ۸: نتایج رتبه‌بندی آلاینده‌ها براساس معیارهای اقتصادی

DMU	مدل (۴)		تاپسیس		مدل (۶)		مدل (۷)		مدل (۸)	
Pb	0.7328	(4)	0.5805	(3)	1.0527	(2)	0.7328	(4)	1.0500	(3)
CO ₂	1.0000	(1)	0.9122	(1)	0.9181	(1)	1.0000	(1)	0.7691	(1)
NO _x	0.7359	(3)	0.1091	(5)	1.1063	(4)	0.7359	(3)	1.0569	(4)
CO	0.7777	(2)	0.7917	(2)	1.0893	(3)	0.7777	(2)	0.9797	(2)
SO _x	0.7272	(5)	0.1103	(4)	1.2595	(5)	0.7272	(5)	1.1069	(5)



مدل (۴) مدل (۶) تاپسیس مدل (۷) مدل (۸)

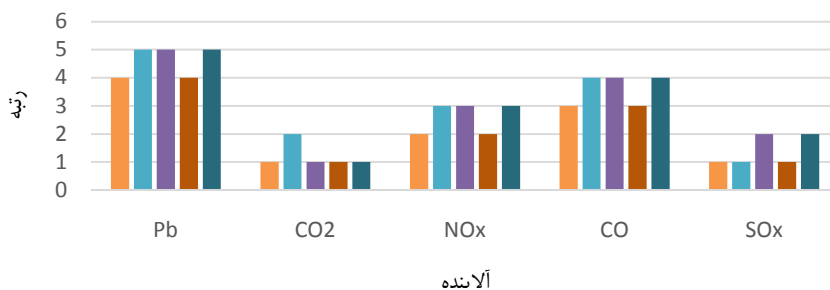
شکل ۳: رتبه‌بندی آلاینده‌ها بر اساس معیارهای اقتصادی

ناشی از انتشار آلاینده‌ها و هم میزان تاثیر آلاینده‌ها در بوجود آمدن بیماری‌ها مد نظر باشد، باید از نتایج جدول ۹ برای فیلتر کردن آلاینده‌ها در کارخانه سیمان استفاده کرد. بطور خلاصه جدول ۹ هم سلامت انسان و محیط زیست و هم صرفه اقتصادی فیلتر کردن آلاینده‌ها را مورد توجه قرار داده است. نتایج بدست آمده در جدول ۹ موارد مشابه زیادی دارد. بعنوان مثال CO₂ در همه مدل‌ها رتبه اول دارد بجز روش تاپسیس.

شکل ۳ نتایج ذکر شده در جدول ۸ را روی نمودار نشان می‌دهد. باتوجه کردن به نمودار، نزدیکی نتایج حاصل از مدل‌های (۴)، (۶)، (۷)، (۸) و روش تاپسیس واضح است. با در نظر گرفتن داده‌های دو جدول ۴ و ۶ با هم، نتایج بدست آمده از روش تاپسیس و مدل (۴) و مدل‌های پیشنهادی (۶)، (۷) و (۸) بصورت جدول ۹ می‌باشد. بنابراین اگر، هم هزینه های ناشی از فیلتر کردن آلاینده‌ها در کارخانه سیمان و هم هزینه‌های درمان بیماری‌های

جدول ۹: نتایج رتبه‌بندی آلاینده‌ها بر اساس کلیه معیارها

DMU	مدل (۴)		تاپسیس		مدل (۶)		مدل (۷)		مدل (۸)	
Pb	0.6717	(4)	0.2327	(5)	3.8622	(5)	0.6472	(4)	3.1988	(5)
CO ₂	1.0000	(1)	0.3542	(2)	1.2267	(1)	1.0000	(1)	0.9123	(1)
NO _x	0.7967	(2)	0.3516	(3)	1.6985	(3)	0.7650	(2)	1.2099	(3)
CO	0.7468	(3)	0.2878	(4)	2.2485	(4)	0.7345	(3)	1.8878	(4)
SO _x	1.0000	(1)	0.7976	(1)	1.4236	(2)	1.0000	(1)	1.2046	(2)



■ مدل (۴) ■ تاپسیس ■ مدل (۶) ■ مدل (۷) ■ مدل (۸)

شکل ۴: رتبه‌بندی آلاینده‌ها بر اساس معیارهای اقتصادی و محیطی

پیشنهادی کل گزینه‌ها بطور همزمان، با حل یک مدل رتبه‌بندی می‌شوند. اما روش تاپسیس و مدل (۴) محاسباتی بسیار بیشتر از مدل‌های پیشنهادی دارند. بخصوص اگر بخواهیم در روش تاپسیس، ضرایب هر معیار را با روش‌هایی از جمله شانون محاسبه کنیم. در نهایت روش تاپسیس و مدل (۴) تعداد محاسبات بیشتر و در نتیجه زمان حل بسیار بیشتر از مدل‌های پیشنهادی خواهند داشت.

۵. نتیجه‌گیری

امروزه آلودگی هوا یکی از عوامل مهم تهدید سلامت محیط‌زیست و انسان می‌باشد. یکی از روش‌های کاهش خطرات آلودگی هوا فیلتر کردن آلاینده‌های ناشی از صنایع مختلف می‌باشد. صنعت سیمان در انتشار گازهای آلاینده و مضر سهم زیادی را دارد. در این مقاله با پیشنهاد سه مدل متفاوت، بر اساس مدل‌های FDH و CRA، گازهای آلاینده اولویت بندی شده است.

Pb در تمامی مدل‌ها و روش تاپسیس دارای آخرین رتبه است. برای دیدن این موضوع باید توجه داشته باشیم که مدل (۴) و (۷) رتبه ۱ تا ۴ را نتیجه داده‌اند. در تمامی موارد رتبه تعیین شده توسط مدل‌های (۴) و (۷) یکسان است. بعنوان یک نتیجه کلی از جدول ۹، باید CO₂ و SO_x آخرین آلاینده‌ها برای فیلتر شدن باشند و Pb اولین آلاینده برای فیلتر شدن.

شکل ۴ نتایج جدول ۹ را بصورت نمودار نشان می‌دهد. با این نمودار می‌توان مشابه بودن نتایج را در اکثر موارد براحتی دید.

از جدول‌های ۷، ۸ و ۹ نتیجه می‌شود که مدل‌های پیشنهادی (۶)، (۷) و (۸) نتایج بسیار نزدیکی در مقایسه با روش تاپسیس و مدل (۴) ارائه می‌کند. مزیت بسیار مهم مدل‌های پیشنهادی بر روش تاپسیس و مدل (۴)، این است که این مدل‌ها فقط با محاسبه چندین نسبت ساده بین داده‌ها بکار می‌روند. ضمن اینکه با بکارگیری مدل‌های

۶. سیاست‌گذاری

از انجمن ایرانی تحلیل پوششی داده‌ها جهت حمایت در اجرای این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

مهمترین مزیت مدل FDH این است که شرایط محذب بودن را فرض نمی‌کند. در بسیاری از شرایط واقعی زندگی، شرط تحدب هیچ‌گونه توجیهی در عمل ندارد. مزیت استفاده از مدل CRA این است که مجموع ورودی‌ها، به جای مقدار هر ورودی مصرف شده، کاهش می‌یابد.

مدل‌های پیشنهادی غیرخطی هستند اما با ارائه الگوریتم، با استفاده از مقایسه زوجی، با محاسبات ساده، طریقه اولویت‌بندی پیشنهاد شده است. نتایج بدست آمده از پنج روش بکار رفته (مدل (۴)، (۶)، (۷) و (۸) و روش تاپسیس) بسیار بهم نزدیک هستند. مثلاً در مورد جدول ۸ نتایج بدست آمده بشرح زیر است:

تمام روشهای بکار رفته، رتبه اول در گازهای آلاینده را، گاز CO₂ معرفی کرده‌اند.

۸۰ درصد رتبه دوم را گاز CO، ۴۰ درصد رتبه سوم را گاز Pb و NO_x، ۴۰ درصد رتبه چهارم را گاز Pb و NO_x و ۸۰ درصد رتبه پنجم را گاز SO_x معرفی کرده‌اند.

بنابر نتایج جدول ۸ آلاینده SO_x بعنوان اولین آلاینده محیط‌زیست در این تحقیق می‌باشد که در صورت عدم توجه به کنترل آن مشکلاتی نظیر باران‌های اسیدی، تنگی نفس، ناراحتی‌های لته و پوسیدگی دندان، تخریب بافت چشم و ریه و ناراحتی‌های قلبی را سبب می‌شود. اولویت دوم آلاینده‌های Pb و NO_x است که عدم توجه به آنها باعث نارسی نوزاد، افزایش فشار خون، باران اسیدی، سرطان ریه، سرطان معده و آسیب به DNA می‌شود. همچنین کنترل آلاینده CO اولویت سوم است، که عامل اصلی مرگ و میر می‌باشد. گاز CO₂ بعنوان آخرین اولویت برای فیلتر شدن است. برای تحقیقات آتی اولویت‌بندی گازهای آلاینده در حالت کاملاً فازی در صنایع مختلف پیشنهاد می‌شود.

فهرست منابع

- [9] Golany B., Tamir E., 1995, Evaluating Efficiency-Effectiveness-Equality Trade-offs: A Data Envelopment Analysis Approach, *Management Science* 41(7) 1172–1184.
- [10] Lozano, S., Villa G., 2004, Centralized Resource Allocation Using Data Envelopment Analysis, *Journal of Productivity Analysis*, 22, 143–161.
- [11] Hwang C.L., Yoon K., 1981, Multiple attribute decision making: Methods and applications, Springer, New York.
- [12] Chen S., Hwang C., 1992, Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods and Applications, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- [13] Yue Z., 2011, An extended TOPSIS for determining weights of decision makers with interval numbers, *Knowledge-Based Systems* 24, 146–153.
- [14] Behzadian M., Khanmohammadi Otagsara S., Yazdani M., Ignatius J., 2012, A state-of-the-art survey of TOPSIS applications, *Expert Systems with Applications* 39, 13051–13069.
- [15] Shanon C.E., 1948, A mathematical theory of communication, *Bell System Technival Journal*, 27, 379-423.
- [16] World Health Organization, 2011, Air pollution report, An inexact optimization modeling approach for supporting energy systems planning and air pollution mitigation in Beijing city, *Energy*, 37, 673-688.
- [17] Bevilacqua M., Braglia M., 2002, Environmental Efficiency Analysis for ENI Oil refineries, *Journal of Cleaner Production*, 10(1) 85-92.
- [1] Charnes A., Cooper W.W., Rhodes E., 1978, Measuring the efficiency of decision making units, *European Jouenal of Operational Research* 2, 429-444.
- [2] Banker R.D., Charnes A., Cooper W.W., 1984, Some Model for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis, *Management Science* 30, 1078-1092.
- [3] Deprins, D., Simar, L., Tulkens, H., 1984, Measuring labor efficiency inpost offices. In M. Marchand, P. Pestieau, H. Tulkens (Eds.), *The performance of public enterprises: Concepts and measurements*. Amsterdam: North Holland.
- [4] Podinovski, V.V., 2004, On the linearization of reference technologies for testing returns to scale in FDH models, *European Journal of Operational Research*, 152, 800–802.
- [5] Soleimani-damaneh M., Reshadi M., 2007, A polynomial-time algorithm to estimate returns to scale in FDH models, *Computers & Operations Research* 34, 2168–2176.
- [6] Soleimani-damaneh M., Mostafae A., 2015, Identification of the anchor points in FDH models, *European Journal of Operational Research*, 246, 936–943.
- [7] García-Romero A., Santín D., Sicilia G., 2016, Another brick in the wall: a new ranking of academic journals in Economics using FDH ,*Scientometrics*, 107, 91–101.
- [8] Golany B., Phillips F.Y., Rousseau J. J., 1993, Models for Improved Effectiveness Based on DEA Efficiency Results, *IIE Transactions* 25(6) 2–10.

Geological and Geophysical Engineering, 9(2) 108-114.

[25] Lozano S., 2015, A joint-inputs Network DEA approach to production and pollution-generating technologies, *Expert Systems with Applications* 42, 7960–7968.

[26] Abbasi M., Kaviani M.A., 2016, Operational efficiency-based ranking framework using uncertain DEA methods, *Management Decision*, 54(4) 902 – 928.

[27] Liu X., Yuan Z., Xu Y., Jiang S., 2017, Greening cement in China: A cost-effective roadmap, *Applied Energy* 189, 233–244.

[18] Kumar Mandal S., Madheswaran S., 2009, Environmental Efficiency of The Indian Cement Industry: an Interstate Analysis; The Institute for Social and Economic Change, Bangalore, working paper 227.

[19] Benhelal E., Rafiei A., Shamsaei E., 2012, Green Cement Production: Potentials and Achievements, *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 3(6) 407-409.

[20] Oguntoke O., Awanu A.E., Annegarn H.J., 2012, Impact of cement factory operations on air quality and human health in Ewekoro Local Government Area, South-Western Nigeria, *International Journal of Environmental Studies*, 69(6), 934–945.

[21] Zand Hessami H., Golsefid-Alavi M., Madan Shekaf S., Kiani Mavi R., 2012, Evaluation of Success Factors of ISO 14001- Based EMS Implementation and Ranking the Cement Industry Using the TOPSIS Method, *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 2(10) 523-530.

[22] Wang K., Yu S., Zhang W., 2013, China's Regional Energy and Environmental Efficiency: a DEA Window Analysis Based Dynamic Evaluation. *Mathematical and Computer Modelling*, 58, 1117-1127.

[23] Sana S., Bhat G.A., Mehraj Balkhi H., 2013, Health Risks associated With Workers in Cement Factories, *International Journal of Scientific and Research Publications*, 3(5) 2250-3153.

[24] Oyinloye M.A., 2015, Environmental Pollution and Health Risks of Residents Living Near Ewekoro Cement Factory, Ewekoro, Nigeria, *International Journal of Environmental, Chemical, Ecological,*

