

# الگوی پایش آلاینده‌های صنایع پیرو متالورژی در مناطق مختلف

سید ابراهیم وحدت<sup>۱\*</sup>، ناصر توحیدی<sup>۲</sup>

۱- مربی دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد آیت الله آملی (پست الکترونیک: e.vahdat@iauamol.ac.ir)

۲- استاد دانشکده مهندسی متالورژی و مواد دانشگاه تهران (پست الکترونیک: ntowhidi@ut.ac.ir)

## The Model for Monitoring of Pollutants in Pyrometallurgy Industries Located in Different Regions

S. E. Vahdat<sup>1\*</sup>, N. Towhidi<sup>2</sup>

1- Department of Engineering, Ayatollah Amoli Branch, Islamic Azad University, E-Mail: e.vahdat@iauamol.ac.ir

2- Professor, Department of Metallurgical and Materials, Tehran University, E-Mail: ntowhidi@ut.ac.ir

### چکیده

حفظ و تعادل زیست محیطی، از جمله ارکان توسعه پایدار است. در این مقاله با کمک منطق فازی الگویی برای پایش آلاینده‌های صنعت به تفکیک منطقه به همراه یک مطالعه موردی شامل پایش آلاینده دی اکسید کربن در صنایع پیرومتالورژی تولید آهن و فولاد، تولید آلومینیم، تولید روی و تولید سرب در برخی از مناطق جهان در دسامبر سال ۲۰۰۵، ارائه می‌شود؛ بطوریکه مشخص می‌شود کدام صنعت در کدام منطقه در تولید کدام آلاینده به چه میزان با محیط زیست، سازگار است. برای سنجش سازگاری با محیط زیست ابتدا مجموعه صنایع، مجموعه مناطق، مجموعه آلاینده‌ها و مجموعه سازگاری با محیط زیست تعریف شده و سپس برای محاسبه درجه عضویت اعضای مجموعه سازگاری با محیط زیست، تابع عضویت سازگاری با محیط زیست تعریف می‌شود. با درجه بندی صنایع مختلف در مناطق مختلف در ایجاد آلاینده‌های مختلف به صورت ارقامی پیوسته، سازگاری با محیط زیست صنایع مختلف در تولید آلاینده مختلف در مناطق مختلف، به طور دقیق و صحیح مقایسه می‌شود. با توجه به درجه سازگاری با محیط زیست در مکان، نوع آلودگی و صنعت مرتبط، کمترین درجه سازگاری با محیط زیست باید در اولویت اول بررسی قرار گیرد. در مطالعه موردی انجام شده، بدون احتساب ضریب منطقه، صنعت تولید آلومینیم کشوری در قاره آمریکا، عضو C<sub>241</sub>، در دسامبر سال ۲۰۰۵ با درجه سازگاری با محیط زیست برابر با ۰/۰۵۵۹، بحرانی‌ترین شرایط را در تولید آلاینده هوا، دی اکسید کربن، دارد در حالیکه با احتساب ضریب منطقه، صنعت تولید فولاد کشوری در خاور دور، عضو C<sub>121</sub>، در دسامبر سال ۲۰۰۵ با درجه سازگاری با محیط زیست برابر با ۰/۰۶۵۵، بحرانی‌ترین شرایط را در تولید آلاینده هوا، دی اکسید کربن، دارد. بنابراین بایستی تمرکز بیشتری بر روی کنترل آلاینده دی اکسید کربن در صنعت فولاد کشوری در خاور دور، صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: آلومینیم، دی اکسید کربن، روی، سرب، فولاد، مدیریت، منطق فازی

### Abstract

Ecological sustainability and balance are the elements of sustainable development. In this paper, using fuzzy logic, a model is presented to monitor region wise industrial pollutants in pyrometallurgy industries. The model has been used in a case study that will determine which industry, in which region, producing which and how much pollutants, is compatible with ecology. To assess the ecological compatibility, first, the set of industries, regions, pollutants and ecological compatibility were defined, then to calculate the membership degree of the members of the ecology compatibility set, the membership function of ecological compatibility was defined. By ranking different industries in various regions, creating different pollutants, as continuous figures, the ecological compatibility of these industries was accurately compared. Given the degree of ecological compatibility in a region, the type of pollution, and the related industry, identification of the lowest degree of ecological compatibility was the first priority of this case study. Results of the conducted case study, without considering the region coefficient, show that member C<sub>241</sub>, in December 2005 with an ecological degree of compatibility equivalent to 0.0559 has the most critical condition in producing the air pollutant, carbon dioxide. However, on considering the region coefficient, member C<sub>121</sub>, in December 2005 with an ecological degree of compatibility equivalent to 0.0655 has the most critical condition in producing the air pollutant, carbon dioxide.

**Keywords:** Aluminum, Carbon Dioxide, Zinc, Lead, Steel, Management, Fuzzy Logic

(کد: ۹۱۱۰۶۲)

زیست ارایه داد. Chen و همکارانش [۶] از منطق فازی برای سیستم تهویه هوا تونل‌های طویل استفاده کردند. Icağa [۷] برای تعیین میزان آلاینده‌های آب، الگویی بر اساس منطق فازی ارایه داد و سپس الگوی خود را با داده‌های اداره آب منطقه Eber Lake ترکیه تطبیق داد. به این ترتیب، هیچکدام از آنها الگویی جامع برای بررسی درجه سازگاری با محیط زیست صنایع مختلف بویژه با تاثیر منطقه، ارایه ندادند.

در مقاله حاضر، از ویژگی سازگاری با محیط زیست استفاده می‌شود بطوریکه درجه سازگاری با محیط زیست هر صنعت در هر منطقه (در یک زمان معین) در تولید هر آلاینده به طور کمی و نسبی قابل پایش است. به این ترتیب، کمترین درجه سازگاری با محیط زیست مشخص می‌کند که کدام صنعت در کدام منطقه در تولید کدام آلاینده باید در اولویت اول بررسی و کنترل قرار گیرد.

منطق فازی در کلیه زمینه‌ها کاربرد دارد. در این مقاله، هدف تعیین درجه سازگاری با محیط زیست صنایع در مناطق مختلف جهان می‌باشد. مجموعه آلاینده‌ها می‌تواند در حالت‌های جامد (مانند گرد و غبار، دوده، و غبار سرب)، مایع (مانند جیوه محلول در آب)، گازی (مانند گاز کربنیک، اکسید کربن، متان) و نیز صدا و موج (مانند آسعه‌های رادیو آکتیو) وجود داشته باشد. مجموعه مناطق در جهان از مجموعه قاره‌های مختلف (آسیا، اروپا، آفریقا، آمریکا و اقیانوسیه) و قاره‌ها از مجموعه کشورهای مختلف (روسیه، چین، هندوستان و ایران...) و کشورهای از مجموعه نواحی مختلف (شهرها، دهات، مناطق صنعتی) و الی آخر تشکیل می‌شود. مجموعه آلاینده سازها از مجموعه صنایع خانگی (سیستم گرمایش، ...)، مجموعه صنایع حمل و نقل (خودرو، ...)، مجموعه صنایع هیدرومتالورژی (فاضلاب‌ها، ...)، مجموعه صنایع پیرو متالورژی (صنایع تولید آهن و فولاد، مس، سرب، روی و آلومینیم و ...) و سایر تشکیل می‌شود. به علت محدودیت آمار در این مقاله از مجموعه آلاینده‌ها: گاز کربنیک، از مجموعه آلاینده سازها: صنایع پیرو متالورژی، از مجموعه صنایع پیرو متالورژی: صنایع تولید آهن و فولاد، آلومینیم، سرب و روی و از مجموعه مناطق: کشوری در خاور دور، کشوری در خاورمیانه، کشوری در اروپا و کشوری در قاره آمریکا به صورت موردی مورد ارزیابی قرار گرفته و درجه سازگاری با محیط زیست آنها محاسبه و مقایسه می‌گردد. به منظور جلوگیری از پیش داوری از نام کشورها صرف نظر شد.

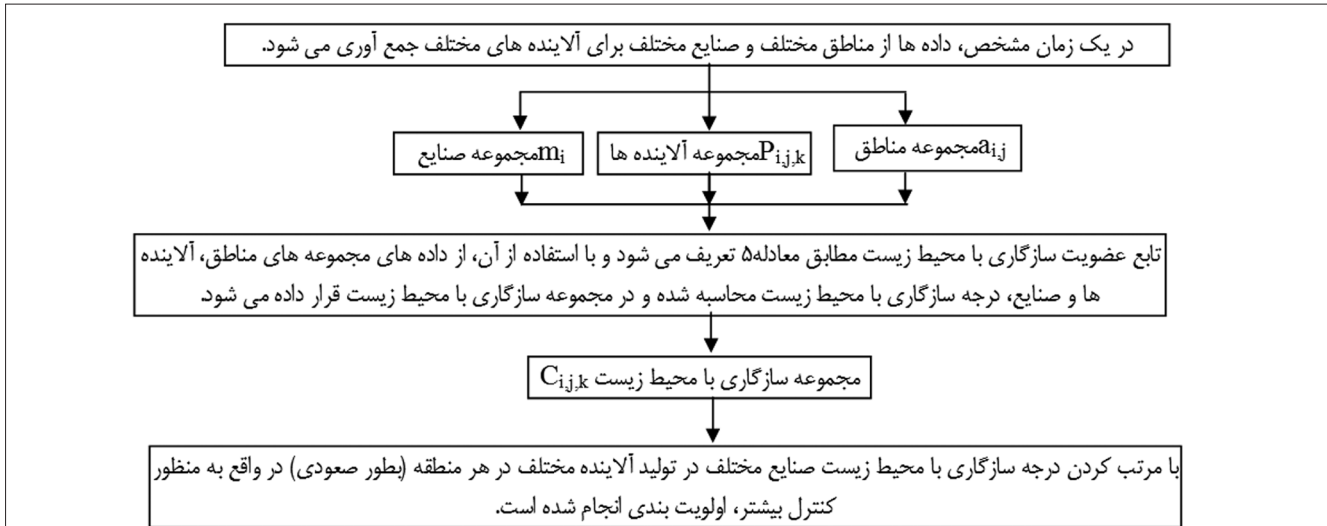
### مواد و روش تحقیق

برای سنجش سازگاری با محیط زیست ابتدا مجموعه صنایع، مجموعه مناطق، مجموعه آلاینده‌ها و مجموعه سازگاری با محیط

با توجه به گستردگی و قابلیت توسعه پایدار در مناسبات زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی و صنعتی، این پدیده به سرعت به مهمترین مناظره و نیز یکی از مهمترین چالش‌های قرن بیست و یکم تبدیل شد. با وجود هزاران آلاینده ساز که هر کدام چند آلاینده تولید می‌کنند و هر کدام در منطقه‌ای با مقدار آلودگی متفاوت قرار دارند، بسیار مشکل است که در مدتی کوتاه به طور دقیق و صحیح به تمام آنها پرداخت. اما با اولویت بندی آنها از نظر زیست سازگاری به صورت ارقامی پیوسته، می‌توان تعیین کرد کدام آلاینده ساز در کدام منطقه و برای کدام آلاینده در اولویت بررسی قرار دارد.

الگوی مقایسه شاخص‌های مختلف بر اساس منطق فازی (fuzzy logic) بیان گر نسبی بودن ویژگی‌های مختلف است و برای هر ویژگی یک مجموعه تعریف می‌کند و میزان مطلوبیت هر متغیر را برای تامین ویژگی مورد نظر با درجه‌ای بین صفر و یک تعیین می‌کند. این مقدار به نام درجه تعلق متغیر مورد نظر نسبت به ویژگی ذکر شده، سنجش می‌شود. درجه مطلوبیت صفر یعنی ویژگی مورد نظر برای متغیر مورد نظر اصلا تامین نمی‌شود و یا متغیر مورد نظر برای ویژگی مورد نظر اصلا مطلوب نیست و درجه مطلوبیت یک یعنی ویژگی مورد نظر برای متغیر مورد نظر کاملاً تامین می‌شود و یا متغیر مورد نظر برای ویژگی مورد نظر کاملاً مطلوب است و درجه مطلوبیت بین صفر و یک، یعنی ویژگی مورد نظر تاحدی برای متغیر مورد نظر تامین می‌شود و یا متغیر مورد نظر برای ویژگی مورد نظر تاحدی مورد نظر مطلوب است.

پژوهشگران اندکی از منطق فازی برای بررسی آلاینده‌ها در محیط زیست استفاده کردند. بطور مثال وحدت و توحیدی [۱] از منطق فازی در بررسی توسعه پایدار صنعت آهن و فولاد در ایران از دیدگاه محیط زیست استفاده کردند. صولت و همکارانش [۲] بخوبی آلاینده‌های هوا را در پنج منطقه از شهر تهران درجه بندی کردند منتهی اثر آلاینده‌های موجود در منطقه مورد ارزیابی را در الگوی خود لحاظ نکردند. بعبارت دیگر، اثر تولید آلاینده در منطقه‌ای که آلاینده کمتری دارد نسبت به منطقه‌ای که آلاینده بیشتری دارد متفاوت است و این مهم باید در الگو لحاظ شود. Mintz و همکارانش [۳] از منطق فازی برای پیش بینی غلظت آزون استفاده کردند و الگوی خود را با داده‌های اداره هواشناسی کانادا تطبیق دادند. Pokrovsky و همکارانش [۴] از منطق فازی برای کمی کردن مدل فتوشیمیایی و همچنین پیش بینی آلاینده‌ها استفاده کردند و الگوی خود را با داده‌های اداره هواشناسی هنگ کنگ تطبیق دادند. Astel [۵] نحوه استفاده از اصول منطق فازی را برای مطالعات محیط



شکل ۱: الگوریتم استنتاج فازی برای تعیین درجه سازگاری با محیط زیست صنایع مختلف در تولید آلاینده مختلف در مناطق مختلف

خواهند بود. مجموعه  $A$  می تواند شامل  $a$  عضو باشد و  $a_{i,j}$  فرآیند  $i$  در منطقه  $j$  است که مورد مطالعه قرار می گیرد:

$$A = \{j \in N, j \in [1, a], a_{i,j}\} = \{a_{i,j}\} \quad (2)$$

مجموعه نوع سوم:  $P$  مربوط به نوع آلاینده است که منجر به تشکیل مجموعه ای مانند گاز کربنیک، مونواکسید کربن، دی اکسید گوگرد، سرب، اکسیدهای نیتروژن، ترکیبات آلی قابل تبخیر، آرسنیک، سرب و مس در آب و ... می شود و بر اساس معادله ۳ تعریف می شود و می تواند شامل  $p$  عضو باشد.  $P_{i,j,k}$  کمیت آلاینده  $k$  متعلق به فرآیند  $i$  در منطقه  $j$  است:

$$P = \{k \in N, k \in [1, p], P_{i,j,k}\} = \{P_{i,j,k}\} \quad (3)$$

دقت شود که میزان آلاینده ها باید نرمال شوند لذا  $P_{i,j,k,Normalized}$  یعنی آلاینده  $k$  به ازای واحد محصول فرآیند  $i$  در منطقه  $j$  باید ارائه شود. برای محاسبه  $P_{i,j,k,Normalized}$  از معادله ۴ استفاده می شود:

$$P_{i,j,k,Normalized} = \frac{\text{total } k \text{ pollution in the } a_{i,j}}{\text{total mass production of } a_{i,j}} \quad (4)$$

مجموعه  $M$  می تواند شامل  $m$  عضو باشد، مجموعه  $A$  می تواند شامل  $a$  عضو و مجموعه  $P$  می تواند شامل  $p$  عضو باشد. به این ترتیب تعداد اعضا مجموعه  $C$ ، حداکثر برابر با  $m \times a \times p$  خواهد بود.

## ۲- الگوی تعیین درجه سازگاری با محیط زیست

هدف تعیین درجه سازگاری با محیط زیست صنعت  $i$  در تولید آلاینده  $k$  برای تامین درجه ایمنی در منطقه  $j$  می باشد. به این دلیل مجموعه  $C$ ، مجموعه سازگاری با محیط زیست به معنی فرآیندهای سازگار با محیط زیست در تولید آلاینده های مختلف در مناطق مختلف، تعریف می شود. در این مجموعه، هر عضو با درجه ای به مجموعه  $C$  تعلق دارد. این عامل، درجه سازگاری با محیط زیست

زیست تعریف شده و سپس برای محاسبه درجه عضویت اعضای مجموعه سازگاری با محیط زیست، تابع عضویت سازگاری با محیط زیست تعریف می شود. برای بیان ساده تر، الگوریتم روش کار در شکل ۱ ارائه می شود.

## ۱- تعریف مجموعه ها

در این تحقیق، برای سنجش سازگاری با محیط زیست صنایع پیرو متالورژی در مناطق مختلف با استفاده از منطق فازی، سه مجموعه تعریف و بررسی می شود:

مجموعه نوع اول  $M$ : شامل فرآیندهای تولید آهن و فولاد، آلومینیم، مس، سرب، روی و ... هستند که از جمله آلاینده گاز کربنیک ایجاد می کنند و بر اساس معادله ۱ تعریف می شوند. مجموعه  $M$  می تواند شامل  $m$  عضو باشد و  $m_i$  فرآیند متالورژی  $i$  است که مورد مطالعه قرار می گیرد:

$$M = \{i \in N, i \in [1, m], m_i\} = \{m_i\} \quad (1)$$

مجموعه نوع دوم:  $A$  مناطقی است که آلاینده ها در آن مناطق، تولید و توزیع و بر اساس معادله شماره ۲ تعریف و بررسی می گردند. مجموعه  $A$  می تواند مجموعه مناطق محصور در کارخانه های متالورژی در جهان مانند کارخانه های ذوب آهن اصفهان، فولاد هامبورگ، ... یا مجموعه شهرهای ایران مانند خوزستان، اصفهان، ... یا مجموعه استان های جهان مانند مازندران، فلوریدا، ... یا مجموعه کشورهای جهان مانند ایران، ژاپن، ... یا مجموعه استان های ایران مانند استان های مازندران، گیلان، ... باشد. قطعا هر چه مناطق مورد تحقیق گسترده تر (کل جهان) و اجزای آن مجموعه، جزئی تر (نواحی محصور شده) باشند برآوردها منطقی تر

$$C_{i,j,k,Environmental} = \text{Max}\{C_{i,j,k}\} \quad (6)$$

ناسازگارترین فرآیند با محیط زیست (فرآیند  $i$  ام در تولید آلاینده  $k$  ام در منطقه  $j$  ام)، فرآیندی است که کمترین درجه سازگاری با محیط زیست را در تولید آلاینده  $k$  ام در ناحیه  $j$  ام دارد. به همین دلیل  $C_{i,j,k,critical}$  از قانون عطف فازی، مطابق معادله ۷، حاصل می‌شود.

$$C_{i,j,k,critical} = \text{Min}\{C_{i,j,k}\} \quad (7)$$

شاید به نظر برسد پایش آلاینده‌ها فقط از طریق مجموعه فرآیند، همراه کننده باشد. بطور مثال، مناطقی که از فناوری‌های پیشرفته برخوردار هستند درجه سازگاری با محیط زیست بالایی دارند زیرا مقدار نرماله شده آلاینده پایین است اما ممکن است آنقدر مقدار کل تولید فرآیند در واحد زمان، زیاد باشد که عملاً بخش عمده‌ای از تولید آلاینده را به خود اختصاص دهد. نکته قابل توجه این است که چنانچه حجم محصول در مناطق صاحب فناوری‌های پیشرفته کاهش یابد کمبود ناشی از کاهش تولید، با چه فناوری تولید خواهد شد؟ اگر فناوری مورد نظر در حد فناوری پیشرفته نباشد، مقدار آلاینده کل بیش از پیش، روند افزایشی پیدا خواهد کرد. به همین دلیل متغیر مقدار کل تولید محصول در یک منطقه با توجه به گذشت زمان در جمله دوم معادله ۵ یعنی  $\frac{G_{k,critical}}{G_{k,j}}$ ، گنجانده شد.

### ۳- مطالعه موردی تعیین درجه سازگاری با محیط زیست در صنایع پیرو متالورژی

در این مطالعه موردی، داده‌ها از آمار منتشر شده در ماه دسامبر سال ۲۰۰۵ برای چهار صنعت پیرومتالورژی، یکی صنعت تولید آهن و فولاد، دومی صنعت تولید آلومینیم، سومی صنعت تولید روی و چهارم صنعت تولید سرب، استخراج شد یعنی مجموعه  $M$  شامل چهار عضو ( $m=4$ ) می‌باشد. همچنین در مجموعه مناطق، مجموعه کشورها مطالعه شد که شامل ۴ عضو ( $a=4$ ) کشوری در خاور میانه، کشوری در خاور دور، کشوری در اروپا و کشوری در قاره آمریکا می‌باشد. به منظور اجتناب از هرگونه پیش داوری، از نام کشورها صرف نظر شد. همچنین برای ساده سازی و یکسان سازی داده‌ها، فقط آلاینده هوا، دی اکسید کربن، مورد بررسی قرار می‌گیرد. یعنی مجموعه عوامل آلاینده فقط یک عضو ( $p=1$ ) دارد. به این ترتیب تعداد اعضا مجموعه  $C$ ، حداکثر برابر با  $4 \times 4 \times 1 = 16$  می‌شود.

### ۳-۱- درجه سازگاری با محیط زیست در صنعت تولید آهن و فولاد

عوامل عمده آلاینده صنعت پیرومتالورژی تولید آهن و فولاد

یا درجه ایمنی در فرآیندی خاص ( $i$ ) در تولید آلاینده‌ای خاص ( $k$ ) در منطقه‌ای خاص ( $j$ )، یعنی  $C_{i,j,k}$  است. معادله ۵، تابع سازگاری با محیط زیست صنایع در تولید گازکربنیک در مناطق مختلف برای تعیین درجه عضویت اعضای مجموعه  $C$ ، یعنی  $C_{i,j,k}$  می‌باشد. معادله ۵ اصلاح شده معادله استفاده شده در مطالعه قبلی است [۸].

$$C = \{C_{i,j,k}\} \quad \text{and} \quad C_{i,j,k} = \left( \frac{\text{Min}\{P_{i,j,k,Normalized}\}}{\{P_{i,j,k,Normalized}\}} \times \left( \frac{G_{k,critical}}{G_{k,j}} \right) \right) \quad (5)$$

$G_{k,j}$  کمیت آلاینده  $k$  در ناحیه  $j$  که از طریق اندازه‌گیری آلاینده در هر منطقه گزارش می‌شود و تابع شرایط زمانی و مکانی است.  $G_{k,critical}$  کمیت بحرانی آلاینده  $k$  می‌باشد که مقدار ثابتی است و تابع شرایط زمانی و مکانی نیست و توسط سازمان محیط زیست از طریق استانداردهای مجاز برای آلاینده‌ها تعیین می‌شود. به این ترتیب تمامی فرآیندها بر حسب آلاینده‌هایی که تولید می‌کنند در ارتباط با منطقه‌ای که در آن قرار دارند به طور نسبی بین صفر و یک به طور پیوسته درجه بندی می‌شوند. بطوریکه درجه صفر برای عضو  $C_{i,j,k}$  یعنی تولید آلاینده  $k$  در فرآیند  $i$  که در ناحیه  $j$  قرار دارد اصلاً با محیط زیست، سازگار نیست و درجه یک برای عضو  $C_{i,j,k}$  یعنی تولید آلاینده  $k$  در فرآیند  $i$  که در ناحیه  $j$  قرار دارد کاملاً با محیط زیست، سازگار است و درجه‌ای بین صفر و یک برای عضو  $C_{i,j,k}$  یعنی تولید آلاینده  $k$  در فرآیند  $i$  که در ناحیه  $j$  قرار دارد تاحدودی با محیط زیست، سازگار است.

چنانچه مقدار آلاینده  $k$  ام در منطقه  $j$  ام یعنی  $G_{k,j}$ ، از مقدار بحرانی آن آلاینده یعنی  $G_{k,critical}$ ، بیشتر باشد درجه سازگاری با محیط زیست کوچکتر می‌شود زیرا ضریب منطقه، یعنی  $\frac{G_{k,critical}}{G_{k,j}}$ ، از یک کوچکتر است. هر چه درجه سازگاری با محیط زیست کوچکتر می‌شود تغییر شرایط برای سازگار شدن با محیط زیست فرآیند  $i$  ام که در منطقه  $j$  ام در تولید آلاینده  $k$  ام نقش دارد مشکل‌تر می‌شود. از طرف دیگر، وقتی مقدار آلاینده در منطقه از مقدار بحرانی آن آلاینده کمتر باشد ضریب منطقه از یک بزرگتر می‌شود بنابراین ممکن است برخی از اعضا، درجه سازگاری با محیط زیست بزرگتر از یک پیدا کنند. اگرچه در فازی درجات عضویت بزرگتر از یک تعریف نشده است اما اینجا معنی دارد. هر چه درجه سازگاری با محیط زیست بزرگتر می‌شود به این معنی است که تغییر شرایط برای سازگار شدن با محیط زیست عضو مورد نظر مشکل‌تر می‌شود.

سازگارترین فرآیند با محیط زیست (فرآیند  $i$  ام در تولید آلاینده  $k$  ام در منطقه  $j$  ام)، فرآیندی است که بیشترین درجه سازگاری با محیط زیست را در تولید آلاینده  $k$  ام در ناحیه  $j$  ام دارد. به همین دلیل  $C_{i,j,k,Environmental}$  از قانون فصل فازی، مطابق معادله ۶، حاصل می‌شود.

شامل آلاینده‌های گازی: گازکربنیک، گازهای گلخانه‌ای، مونوکسید کربن، دی‌اکسید گوگرد، اکسیدهای نیتروژن، کلریدها و فلوریدها، ترکیبات آلی فرار، هیدروکربن‌های حلقوی آروماتیک، دی‌اکسید سرب و فلزات و آلاینده‌های جامد: ذرات غبار، فلزات سنگین شامل آهن اسفنجی، روی، کادمیم، سرب، نیکل، جیوه، منیزیم و کرم، دوده و آلاینده‌های مایع: فاضلاب و پساب‌های صنایع تولید آهن و فولاد یعنی آب خنک کننده، از باران، آب شستشو و سایر فاضلاب‌ها است که به طور عمده حاوی ذرات معلق، غبار و مواد روانساز هستند. آلودگی‌های صوتی نیز در واحدهای تولید آهن و فولاد ایجاد می‌شود که علت آن جابجایی محصولات و فولاد قراضه، فن‌های خنک کننده، آسیاها، سیستم‌های غبارگیر، بارگیری کوره، فرایند نوب در کوره قوس الکتریکی، مشعل‌های سوخت، عملیات شکل دادن و برش سیم و میلگرد و سیستم‌های تهویه و حمل و نقل است [۱]. برای ساده سازی و یکسان سازی داده‌ها، فقط آلاینده هوا، گاز کربنیک، مورد بررسی قرار می‌گیرد. یعنی مجموعه عوامل آلاینده مربوط به صنعت تولید آهن و فولاد فقط یک عضو ( $k=1$ ) دارد.

### ۳-۲-درجه سازگاری با محیط زیست در صنعت تولید آلومینیم

عوامل عمده آلاینده صنعت پیرومتالورژی تولید آلومینیم شامل دی‌اکسید کربن در هوا، هگزا فلئورومتان، تترافلئورومتان به صورت گازی و غبار، دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن و جیوه می‌باشد [۹]. برای ساده سازی و یکسان سازی داده‌ها، فقط آلاینده هوا، دی‌اکسید کربن، مورد بررسی قرار می‌گیرد. یعنی مجموعه عوامل آلاینده مربوط به صنعت تولید آلومینیم فقط یک عضو ( $k=1$ ) دارد.

### ۳-۳-درجه سازگاری با محیط زیست در صنعت تولید روی

عوامل عمده آلاینده صنعت پیرومتالورژی تولید روی شامل دی‌اکسید کربن در هوا، ترکیبات گوگرد و اکسیدهای نیتروژن می‌باشد [۱۰، ۱۱]. برای ساده سازی و یکسان سازی داده‌ها، فقط آلاینده هوا، دی‌اکسید کربن، مورد بررسی قرار می‌گیرد. یعنی مجموعه عوامل آلاینده مربوط به صنعت تولید روی فقط یک عضو ( $k=1$ ) دارد.

### ۳-۴-درجه سازگاری با محیط زیست در صنعت تولید سرب

عوامل عمده آلاینده صنعت پیرومتالورژی تولید سرب شامل دی‌اکسید کربن در هوا، سرب در آب و هوا، ترکیبات گوگرد و اکسیدهای نیتروژن می‌باشد [۱۲]. برای ساده سازی و یکسان سازی داده‌ها، فقط آلاینده هوا، دی‌اکسید کربن، مورد بررسی قرار می‌گیرد. یعنی مجموعه عوامل آلاینده مربوط به صنعت تولید سرب فقط یک عضو ( $k=1$ ) دارد.

### ۳-۵-محاسبه درجه سازگاری با محیط زیست صنایع پیرومتالورژی

کمیت گازکربنیک در مناطق مختلف،  $G_{k,j}$ ، در جدول ۱ فهرست شد. بنابراین ضریب منطقه برای اعضا مختلف در مجموعه سازگاری با محیط زیست یعنی برای  $C_{i,j,k}$ ها، مقدار متفاوتی دارد.

$$M = \{i \in N, i \in [1,2,3,4]\} = \{\text{تولید سرب، تولید روی، تولید آلومینیم، تولید آهن و فولاد}\}$$

$$A = \{j \in N, j \in [1,2,3,4]\} = \{\text{کشوری در قاره آمریکا، کشوری در اروپا، کشور خاور دور، کشور خاور میانه}\}$$

$$P = \{k \in N, k \in [1]\} = \{\text{دی‌اکسید کربن}\}$$

### نتایج و بحث

مطابق معادلات ۱ تا ۵ و داده‌های ارایه شده در جدول ۱، مقادیر درجه سازگاری با محیط زیست با و بدون ضریب منطقه محاسبه و در همان جدول فهرست شده است.

مطابق معادله ۶ با احتساب ضریب منطقه، سازگارترین عضو با محیط زیست در مجموعه C، عضو  $C_{341}$ ، صنعت تولید روی در کشوری در قاره آمریکا در دسامبر سال ۲۰۰۵ در تولید آلاینده دی‌اکسید کربن با درجه  $1/5000$  است زیرا داریم:

$$C_{i,j,k,Environmental} = \text{Max}\{0.0912, 0.0655, 0.1056, 0.0990, 0.0838, 1.5000, 1.0962\} = C_{341} = 1.5000$$

مطابق معادله ۷ با احتساب ضریب منطقه، ناسازگارترین عضو با محیط زیست در مجموعه C،  $C_{121}$ ، صنعت تولید فولاد در کشوری در خاور دور در دسامبر سال ۲۰۰۵ در تولید آلاینده دی‌اکسید کربن با درجه  $0.655$  است زیرا داریم:

$$C_{i,j,k,critical} = \text{Max}\{0.0912, 0.0655, 0.1056, 0.0990, 0.0838, 1.5000, 1.0962\} = C_{121} = 0.0655$$

درجه سازگاری با محیط زیست سایر نواحی و صنایع در تولید دی‌اکسید کربن در دسامبر سال ۲۰۰۵ در مجموعه سازگاری با محیط زیست، C، با و بدون احتساب ضریب منطقه در شکل ۲ مقایسه شد.

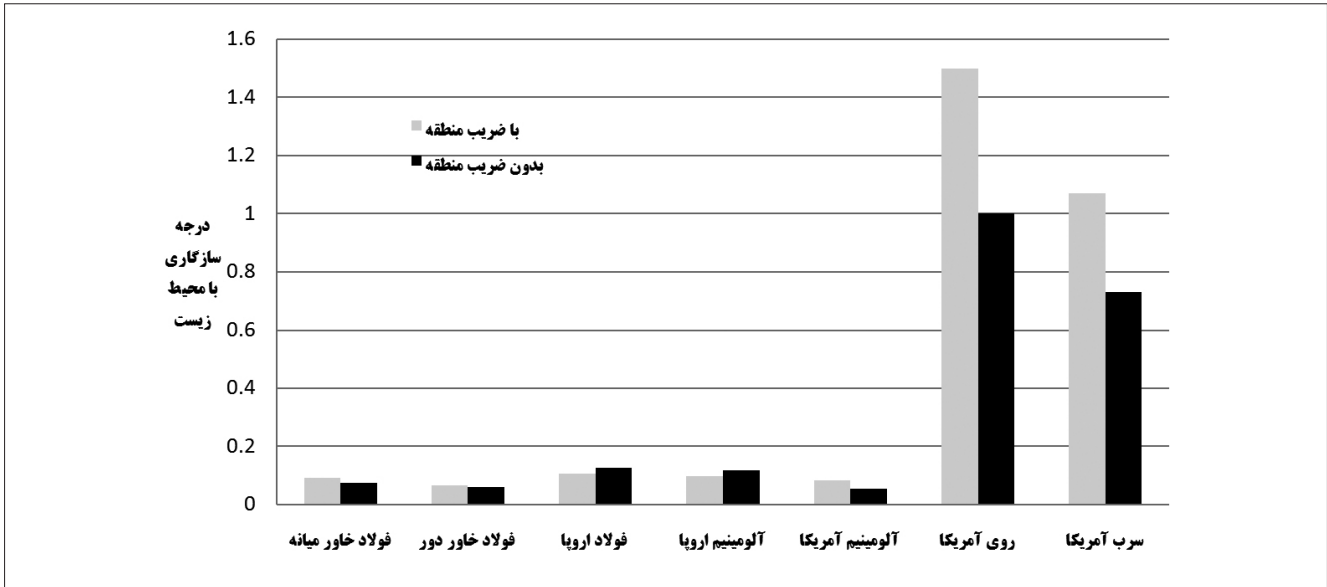
### نتیجه گیری

در دسامبر سال ۲۰۰۵، در مناطقی از جهان که مقدار دی‌اکسید کربن در جهان بیشتر از مقدار مجاز است تولید آلاینده دی‌اکسید کربن حتی به مقدار بسیار ناچیز مخاطره آمیز خواهد بود.

۱- زیرا  $\frac{G_{k,critical}}{G_{k,j}}$  کوچکتر از یک است یعنی اصلاً مطلوب نیستند. اولاً عملاً مقدور نیست که فولاد و آلومینیم، تولید نکرد زیرا در حال حاضر وابستگی بشر به این محصولات اجتناب ناپذیر است. ثانیاً در حقیقت، مقدار این ضریب در مناطق مختلف (برای اعضا مختلف) متفاوت است. یعنی منطقه‌ای که از آلاینده کمتری برخوردار است شرایط مطلوب‌تری برای تولید این فلزات را دارد.

جدول ۱: مقدار متغیرها و مقدار درجه سازگاری با محیط زیست صنایع در مناطق مختلف با و بدون ضریب منطقه

C	$G_{kj}$ ، $G_{krij}$ : درجه سازگاری با محیط زیست با ضریب منطقه $\frac{\text{Min}\{P_{i,j,k,Normalised}\}}{\{P_{i,j,k,Normalised}\}} \times \left( \frac{G_{krij}}{G_{kj}} \right)$	$G_{kj}$ : مقدار آلایندگی گاز کربنیک در منطقه ppm $G_{kj}$ [۱۵]	مقدار بحرانی آلایندگی گاز کربنیک $G_{krij}$ [۱۴]	Min $\{P_{i,j,k,Normalised}\}$ $\{P_{i,j,k,Normalised}\}$	$P_{i,j,k,Normalised}$ CO <sub>2</sub> میانگین تولید (تن CO <sub>2</sub> به ازای تن محصول) [۱۳]	صنایع			
						آروش	منطقه	آلایندگی k	نوع
C <sub>۱,۱,۱</sub> ۰/۰۹۱۲	۱/۲	۲۵۰	۳۰۰	۰/۰۷۶۰	$P_{۱,۱,۱,Normalised}$ ۲/۵	۱	۱	۱	آهن و فولاد در کشوری از خاور میانه
C <sub>۱,۱,۲</sub> ۰/۰۶۵۵	۱/۰۷	۲۸۰	۳۰۰	۰/۰۶۱۳	$P_{۱,۱,۲,Normalised}$ ۳/۱	۱	۲	۱	آهن و فولاد در کشوری از خاور دور
C <sub>۱,۲,۱</sub> ۰/۱۰۵۶	۰/۸۳	۳۶۰	۳۰۰	۰/۱۲۶۷	$P_{۱,۲,۱,Normalised}$ ۱/۵	۱	۳	۱	آهن و فولاد در کشوری از اروپا
C <sub>۲,۲,۱</sub> ۰/۰۹۹۰	۰/۸۳	۳۶۰	۳۰۰	۰/۱۱۸۷	$P_{۲,۲,۱,Normalised}$ ۱/۶	۲	۳	۱	آلمینیوم کشوری از قاره اروپا
C <sub>۲,۴,۲</sub> ۰/۰۸۳۸	۱/۵	۲۰۰	۳۰۰	۰/۰۵۵۹	$P_{۲,۴,۲,Normalised}$ ۳/۴	۲	۴	۱	آلمینیوم کشوری از قاره آمریکا
C <sub>۲,۴,۳</sub> ۱/۵۰۰۰	۱/۵	۲۰۰	۳۰۰	۱/۰۰۰۰	$P_{۲,۴,۳,Normalised}$ ۰/۱۹	۳	۴	۱	روی کشوری از قاره آمریکا
C <sub>۴,۴,۲</sub> ۱/۰۹۶۲	۱/۵	۲۰۰	۳۰۰	۰/۷۳۰۸	$P_{۴,۴,۲,Normalised}$ ۰/۲۶	۴	۴	۱	سرب کشوری از قاره آمریکا



شکل ۲: مقایسه درجه سازگاری با محیط زیست صنایع تولید فلزات در مناطق مختلف در تولید آلایندگی اکسید کربن در دسامبر سال ۲۰۰۵، بدون ضریب منطقه و با ضریب منطقه

- آلومینیم کشوری در قاره آمریکا،  $C_{241}$ ، با درجه سازگاری با محیط زیست ۰/۰۸۲۸ بنابراین در اولویت دوم بررسی است.
- آهن و فولاد کشوری در خاورمیانه،  $C_{111}$ ، با درجه سازگاری با محیط زیست ۰/۰۹۱۲ بنابراین در اولویت سوم بررسی است.
- آلومینیم کشوری در اروپا،  $C_{231}$ ، با درجه سازگاری با محیط زیست ۰/۰۹۹۰ بنابراین در اولویت چهارم بررسی است.
- آهن و فولاد کشوری در اروپا،  $C_{131}$ ، با درجه سازگاری با محیط زیست ۰/۱۰۵۶ بنابراین در اولویت پنجم بررسی است.
- سرب کشوری در قاره آمریکا،  $C_{441}$ ، با درجه سازگاری با محیط زیست ۱/۰۹۶۲ بنابراین در اولویت ششم بررسی است.
- روی کشوری در قاره آمریکا،  $C_{341}$ ، با درجه سازگاری با محیط زیست ۱/۰۵۰۰ بنابراین در اولویت هفتم بررسی است.

۳- در این تحقیق برای ساده سازی، تنها تعداد محدودی از صنایع و مناطق و همچنین تعداد محدودی از آلایندگیها مورد بررسی قرار گرفت. با افزایش تعداد اعضای مجموعه‌های انواع آلایندگیها، انواع صنایع و مناطق در زمان‌های مختلف، پایش در محدوده گسترده‌تری صورت خواهد گرفت و به شرایط واقعی نزدیک خواهد شد. بطور مثال چنانچه تعداد اعضا مجموعه  $M$ ،  $m$  و تعداد اعضا مجموعه  $A$  بوده و تعداد اعضا مجموعه  $P$  باشد تعداد اعضا مجموعه  $C$ ، حداکثر برابر با  $m \times a \times p$  خواهد بود. اگر چه در این تحقیق از این الگو برای پایش آلایندگی‌های صنعت تولید فلزات استفاده شد اما این الگو برای تمام صنایع و تمام آلایندگیها در اقصی نقاط جهان قابل استفاده است. بطور مثال برای پایش و مدیریت آلایندگی در خودروهای مختلف با توجه به هر منطقه، کاربرد دارد.

به همین دلایل بررسی می‌شود که کدام صنعت در کدام منطقه در تولید آلایندگی اکسید کربن، کمترین سازگاری با محیط زیست را دارد. به عبارت دیگر، تغییر شرایط برای سازگار شدن با محیط زیست برای کدام فرآیند در کدام منطقه در تولید آلایندگی اکسید کربن، مشکل‌تر است.

۲- در مجموعه سازگاری با محیط زیست، در بین صنایع آلومینیم، مس، روی و فولاد و در بین مناطق کشوری در خاور میانه، کشوری در خاور دور، کشوری در اروپای غربی و کشوری در قاره آمریکا، بدون احتساب ضریب منطقه، صنعت تولید آلومینیم کشوری در قاره آمریکا، عضو  $C_{241}$ ، در دسامبر سال ۲۰۰۵ با درجه سازگاری با محیط زیست برابر با ۰/۰۵۵۹، بحرانی‌ترین شرایط را در تولید آلایندگی هوا، دی اکسید کربن، دارد در حالیکه با احتساب ضریب منطقه، صنعت تولید فولاد کشوری در خاور دور، عضو  $C_{121}$ ، در دسامبر سال ۲۰۰۵ با درجه سازگاری با محیط زیست برابر با ۰/۰۶۵۵، بحرانی‌ترین شرایط را در تولید آلایندگی هوا، دی اکسید کربن، دارد. بنابراین بایستی تمرکز بیشتری بر روی کنترل آلایندگی اکسید کربن در صنعت فولاد کشوری در خاور دور، صورت گیرد. روشهای کنترل بیشتر می‌تواند شامل آموزش نیروی انسانی، استفاده از دستگاه‌های جدید و یا نوسازی دستگاه‌ها، نوآوری در ایجاد تکنولوژی پاک‌تر، پاکسازی محیط (مانند کاشت درخت)، استفاده از مواد جایگزین فولاد و افزایش کیفیت محصولات در جهت کاهش مصرف فولاد باشد. درجه سازگاری با محیط زیست سایر صنایع با احتساب ضریب منطقه در مجموعه مورد بررسی به ترتیب صعودی عبارت است از:

## منابع و مراجع

- 7-Icaga Y., 2007. Fuzzy evaluation of water quality classification, Ecological Indicators, Volume 7, Issue 3, pages 710-718
- 8-Vahdat S.E., Nakhaee F.M., 2011, Air Pollution Monitoring using Fuzzy Logic in Industries, Advanced Air Pollution, chapter2, InTech publication, pages 21-30
- 9-URL: <http://www.world-aluminium.org>, 2005
- 10-Lamm K., 2010. The CO<sub>2</sub> - Story – A Fairy – Tale – (Or a Nightmare?), Lead Zinc 2010 conference, A John and Sons Inc., MetSoc, COM2010, 953-959.
- 11-Moradkhani D., Sedaghat B., Rashtchi A., Khodadadi A., 2010. Heavy metal pollution potential of zinc leach residues discarded in IZMDC, Lead Zinc 2010 conference book, A John and Sons Inc., MetSoc, COM2010, 141-149.
- 12-URL: <http://www.lead.org>, 2005
- 13-Geir O. Braathen, 2005. An overview of the 2005. Antarctic Ozone Hole, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project, Report No. 49, WMO TD No. 1312, WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, pages 76.
- 14-URL: <http://epa.gov/air/emissions/index.htm>, 2005
- 15-URL: <http://www.sdapcd.org>, 2005
- ۱- وحدت س.ا.، توحیدی ن.، ۱۳۸۸، توسعه پایدار تولید آهن و فولاد در ایران از جنبه زیست محیطی با استفاده از منطق شلال، مجله محیط شناسی، شماره ۵۱، صفحات ۱۱۱ تا ۱۲۲
- 2-Sowlat M.H., Gharibi H., Yunesian M., Tayefeh Mahmoudi M., Lotfi S., 2011. A novel fuzzy-based air quality index (FAQI) for air quality assessment, Atmospheric Environment, Volume 45, Issue 12, pages 2050-2059
- 3-Mintz R., Young B. R., Svrcek W. Y., 2005. Fuzzy logic modeling of surface ozone concentrations, Computers & Chemical Engineering, Volume 29, Issue 10, pages 2049-2059
- 4-Pokrovsky O.M., Kwok R. H. F., Ng C. N., 2002, Fuzzy logic approach for description of meteorological impacts on urban air pollution species: a Hong Kong case study, Computers & Geosciences, Volume 28, Issue 1, pages 119-127.
- 5-Astel A., 2007. Chemometrics based on Fuzzy logic principles in environmental studies, Talanta, Volume 72, Issue 1, pages 1-12
- 6-Chen P.H., J.-H. Lai and C.-T. Lin., 1998. Application of Fuzzy control to a road tunnel ventilation system, Fuzzy Sets and Systems, Volume 100, Issues 1-3, pages 9-28.