

## **Applying the Exhaust Emission Index for Assessing of Flue Gases Quality of Stacks in MAHSHAR and ASSALUYEH Petrochemical Companies of Special Zones**

**Leila Azari\*<sup>1</sup>**

\*1. Environmental Department of Persian Gulf Petrochemical Industries Company, Tehran, Iran  
\*Email Address: [le.azari@PGPIC.IR](mailto:le.azari@PGPIC.IR)

<b>Article Info</b>	<b>ABSTRACT</b>
<b>Article Type:</b>  <b>Research Paper</b>	<p>One of the biggest sources of air pollution in industrial areas is the exhaust from boilers, furnaces and incinerator stacks, which in order to reduce this pollution, companies are required to measure and monitor and consequently reduce the amount of pollution. Considering the multiplicity of measurement parameters, this study defined an equivalent index including all parameters. According to the measured data from the emission of the stationary resources of the petrochemical industry located in the two special economic zones of MAHSHAR and ASSALUYEH and also the nature of the production processes, the obvious pollution parameters were identified. By using the weighting of the parameters regarding to their importance, a multiple linear equation was obtained. The data calculated from this formula can be used as a quantitative index for overall assessment of regulatory organizations. This index, which is called EEI (Exhaust Emission Index), is a linear equation of the sum of several prominent and important sub-indices identified based on the measured data. In fact, this concept involves a quick assessment of the stacks based on the emission parameters that determines the health of the process performance.</p>
<b>Article history:</b> Received Date: <b>2024/05/18</b> Revised Date: <b>2024/06/02</b> Accepted Date: <b>2024/06/09</b> Published Date: <b>2024/07/01</b>	
<b>Keywords:</b> EEI, Index, Sub-Indexes, Emission; Parameter,	

**Cite this article:** Leila Azari (2024). Applying the Exhaust Emission Index for Assessing of Flue Gases Quality of Stacks in MAHSHAR and ASSALUYEH Petrochemical Companies of Special Zones, Journal of Environmental Sciences Studies, 10 (1), Pages 9789 - 9795 .

## EXTENDED ABSTRACT

### Introduction

Due to the large number of parameters required to be measured in short time intervals, every industry after a period of measurement, identifies the nature of the pollutants of its emitted gases and makes them the basis of its routine measurement. In each of the production processes of the petrochemical industry, according to the type of product, the characteristic compounds of the gases released into the atmosphere can be identified after a certain period of time, subject to all the different operational conditions including start-up, normal operation and shutdowns. Air Quality Index (AQI) is a measure of ambient air pollution that is used to quantify air pollution. In fact, the air quality index is a key tool for knowing the air quality and determining its pollution level. Studies have been done to create an index of this type in various industries, including the calculation and use of EEI to check the performance of gasoline-burning vehicles [1]. The index is a new scientific approach proposed to evaluate a car's emission performance along the lines of an air quality index (AQI).

### Materials and methods

This study started by focusing on the analysis of measured multi-year analysis of emitted gases from combustion and process of petrochemical plants located in MAHSHAR and ASSALUYEH regions. Among these data, the parameters of SOX, NO<sub>x</sub> and CO, PM, HCL, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S and BTEX, which has the most importance in air pollution, were considered as the basis and variable. By using these values, a comprehensive index was defined under the title of EEI, including all the above influential parameters in a single number, which resulted in a linear equation. Actually, the EEI index as a quick and brief tool derived from the AQI to combine all possible pollutants in a numerical value is used in identifying and predicting how polluting a process produces.

### Results and discussion

Regarding to the different studies, the EEI as well as AQI is based on various mathematical formulae that are used to evaluate a stack's state showing how much pollution it emits. By considering this subject and lots of trial and error, an equation was created from the sum of several sub-indexes with proportional weighting coefficients. These sub-indices are obtained by dividing the number by the value of the standard limit released to the atmosphere and then to the power of 2. The weights assigned to each of these sub-indices are proportional to the region and the importance of each parameter in the formula is defined as 1.5 for SOX, NO<sub>x</sub> and CO parameters and 1 for PM, HCL, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S and BTEX parameters.

### Conclusion

According to the study conducted and the actual data measured from the exhaust emission of petrochemical companies in MAHSHAR and ASSALUYEH Special Economic Zones, it was concluded that with the current conditions and no change in the process, the EEI equivalent index calculated in this research as a brief and quick tool for evaluating and sometimes ranking companies is very useful. And also, it is an indicator stating how much pollution a process emits and, as a result, recommends a variety of solutions or directions to improve the plant's performance. In continuation to the research, by converting a numerical value into a qualitative expression classified as "excellent", "good", "healthy", "unhealthy", "very unhealthy" and "dangerous", it is also tangible for the general public. Considering that this index is defined for a specific petrochemical process, with a fundamental change or the addition of a new production process, it is necessary to measure all the parameters required by the environmental organization again in a continuous period of time. This is done to determine whether another pollutant parameter is added to this formula, or a parameter should be removed, in which case the formula for calculating the equivalent index should be changed and redefined.

تعریف یک شاخص کمی و کیفی معادل برای گازهای خروجی از دودکش های  
احتراقی و فرآیندی شرکت های پتروشیمی مناطق ویژه عسلویه و ماهشهرلیلا آذری<sup>\*۱</sup><sup>\*۱</sup> شرکت صنایع پتروشیمی خلیج فارس ، اداره محیط زیست<sup>\*</sup> ایمیل نویسنده مسئول: le.azari@PGPIC.IR

چکیده	اطلاعات مقاله
یکی از بزرگترین منابع آلودگی هوا در مناطق صنعتی، خروجی دودکش های فرآیندی و احتراقی است که بمنظور کاهش این آلودگی شرکت ها ملزم به اندازه گیری و پایش و بالتبع کاهش میزان آلودگی ها می باشند. با توجه به تعدد پارامترهای اندازه گیری طبق الزام سازمان حفاظت محیط زیست، این مطالعه اقدام به تعریف یک شاخص معادل دربرگیرنده کلیه پارامترها نموده است. بر همین اساس، با استفاده از داده های اندازه گیری شده از دودکش های منابع ثابت صنایع پتروشیمی مستقر در دو منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر و عسلویه و ماهیت فرآیندهای تولیدی، پارامترهای SO <sub>x</sub> ، NO <sub>x</sub> و CO، PM، HCL، NH <sub>3</sub> ، H <sub>2</sub> S و BTEX بعنوان پارامترهای بارز و متغیر در معادله شاخص معادل شناسایی گردیدند در فرمول تعریف شده که تحت عنوان EEI(Exhaust Emission Index) می باشد، یک معادله خطی چندتایی از مجموع چند زیرشاخص با وزن های مختص به خود می باشد و زیرشاخص ها با تقسیم عددی هر متغیر بر میزان حد استاندارد دورریز به اتمسفر و سپس توان ۲ بدست می آید. وزن های اختصاص داده شده به هریک از این زیرشاخص ها متناسب با منطقه و میزان اهمیت هر پارامتر در فرمول برای پارامترهای SO <sub>x</sub> ، NO <sub>x</sub> و CO برابر ۱،۵ و برای پارامترهای PM، HCL، NH <sub>3</sub> ، H <sub>2</sub> S و BTEX برابر ۱ تعریف شده است. شاخص EEI در حال حاضر بعنوان یک شاخص معادل در فرایندهای ارزیابی و تهیه گزارش های خوداظهاری استفاده می گردد.	<p><b>نوع مقاله:</b> مقاله علمی پژوهشی</p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۲۹</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۱۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۰</p> <p>تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۱۱</p> <p><b>کلید واژه ها:</b> آلودگی هوا، زیر شاخص، شاخص آلودگی، EEI</p>

یکی از منابع اصلی آلودگی هوا، خروج آلاینده‌ها از دودکش‌های فرآیندی و احتراقی است. شاخص کیفیت هوا (Air Quality Index) که به اختصار با AQI شناخته می‌شود، معیاری برای سنجش میزان آلودگی هوای محیطی است که به جهت کمی‌سازی آلودگی هوا از آن استفاده می‌شود. در واقع شاخص کیفیت هوا یک ابزار کلیدی جهت آگاهی از کیفیت هوا و تعیین میزان آلودگی آن است که برای پنج آلاینده اصلی هوا یعنی ذرات معلق، دی‌اکسیدنیترژن، ازن سطح زمین (ازن بد)، مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدگوگرد محاسبه می‌شود. با افزایش عددی شاخص کیفیت هوا، درصد بیشتری از مردم احتمالاً دچار پیامدهای بهداشتی ناشی از آلودگی هوا می‌شوند. مقادیر شاخص آلودگی هوا معمولاً به صورت طیف‌هایی گروه‌بندی می‌شوند. هر طیف با یک نام توصیف‌کننده، یک کد رنگی و توصیه‌هایی برای بهداشت عمومی مشخص می‌شود. محدوده این شاخص بین ۰ تا ۵۰۰ متغیر است. هر چه شاخص بالاتر باشد، هوا آلوده‌تر و اثرش بر سلامتی بیشتر است. مثلاً شاخص ۵۰ نشان‌دهنده‌ی هوای پاک با اثری خیلی کم بر سلامت عموم مردم است، اما شاخص ۳۰۰ نشان‌دهنده‌ی وضعیت هوای اضطراری است. بر همین اساس، در تمام دنیا قوانین و الزاماتی مبنی بر میزان آلودگی این جریانات متناسب با اقلیم منطقه وضع گردیده و در ایران نیز این الزامات مربوط به اندازه‌گیری پارامترهای آلاینده هوا تحت عنوان استاندارد حدود مجاز تخلیه گازهای آلاینده به هوا از دیرباز تعریف و اجرایی شده است. با توجه به تعدد زیاد این پارامترها و لزوم اندازه‌گیری در فواصل زمانی کوتاه، هر صنعت بعد از یک دوره زمانی اندازه‌گیری، ماهیت ترکیبات گازهای تولیدی خود را شناسایی کرده و اندازه‌گیری روتین خود را به پارامترهای شناسایی شده محدود می‌کند که البته این محدودیت فقط برای کنترل عملکرد واحد مربوطه می‌باشد و به جهت رعایت الزامات قانونی و همچنین انجام فرایند خوداظهاری در دوره‌های زمانی طولانی‌تر، اندازه‌گیری کلیه پارامترها در دستورکار کلیه صنایع قرار دارد. در هریک از فرآیندهای تولیدی صنعت پتروشیمی نیز متناسب با نوع محصول، ترکیبات بارز گازهای تولیدی پس از یک دوره زمانی مشخص که همه شرایط عملیاتی مختلف شامل راه‌اندازی، بهره‌برداری نرمال و توقفات را در بر گرفته باشد، قابل شناسایی است. مطالعات زیادی مبنی بر محاسبه EEI در محفظه‌های احتراقی صنایع مختلف از جمله خودروهای بنزین سوز، توربین‌های احتراقی مربوطه به هواپیما و جت انجام شده است از جمله محاسبه و استفاده از EEI جهت بررسی عملکرد خودروهای بنزین سوز که در آن با استفاده از شاخص آلودگی‌های خروجی از اگزوز به دارندگان خودرو جهت آگاهی از میزان انتشار آلودگی خودرو خود و همچنین به تصمیم‌سازان کلان مبنی بر از رده خارج کردن خودروهای آلاینده کمک می‌کند. در صنعت هواپیمایی و موتورهای جت نیز شاخصی از همین نوع EEI محاسبه شده که تابعی از عملکرد عملیاتی توربین، میزان جریان سوخت و شرایط جوی می‌باشد. در نمونه‌ای دیگری از همین مطالعات که در خصوص تخمین شاخص آلودگی ناشی از احتراق در توربین‌های موتور جت انجام شده و در آن با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده که شامل پارامترهای آلودگی خروجی دودکش‌های توربین‌های موتور جت، جریان سوخت مصرفی، نسبت هوا به سوخت و دور توربین یک شبکه عصبی فیدفوروارد چند لایه طراحی شده است که نهایتاً با استفاده از داده‌های جریان سوخت، نسبت هوا به سوخت و دور توربین شاخص‌های آلودگی CO، NOx، CO2 و هیدروکربن نسوخته بعنوان داده‌های خروجی این شبکه تخمین زده می‌شود. که یکی از موارد مربوط به ادامه این مطالعه طراحی یک شبکه عصبی جهت تخمین میزان آلودگی خروجی از دودکش‌ها براساس شرایط عملیاتی احتراق و همچنین جلوگیری از اندازه‌گیری‌های مکرر و کاهش مشکلات استفاده از آنالیزورهای محلی می‌باشد. در تحقیق انجام شده در این مقاله، از داده‌های آماری گازهای خروجی از دودکش‌های صنایع پتروشیمی، پارامترهای SOx، NOx، CO، PM، HCL، NH3، H2S و BTEX که بیشترین اهمیت در آلودگی هوا را دارند، برای دستیابی به یک شاخص معادل که در برگیرنده همه پارامترهای تاثیرگذار فوق باشد، استفاده شده است. طبق تجزیه و تحلیل داده‌ها، آلاینده‌های NOx، SOx، CO، PM ناشی از منابع احتراقی و HCL، NH3، H2S، BTEX نیز خروجی از دودکش‌های فرآیندی لحاظ گردیده است. در ادامه کار و جهت دستیابی به یک شاخص معادل، یک معادله خطی چندتایی با استفاده از خطی‌سازی چندتایی از مجموع چند زیرشاخص با ضرایب وزنی متفاوت حاصل گردید. سپس عملکرد این شاخص معادل آلاینده‌ی (EEI) بدست آمده، برای اندازه‌گیری‌های واقعی از خروجی دودکش‌های واقع در مناطق ویژه اقتصادی ماهشهر و عسلویه مورد بررسی قرار گرفت و در حال حاضر مبنای استفاده در فرایندهای ارزیابی و بعضاً رنکینگ شرکت‌های پتروشیمی دو منطقه مذکور قرار گرفته است.

## ۲- روش انجام تحقیق

در این مقاله، با استفاده از داده های موجود و با الگوبرداری از روش های دستیابی به یک شاخص جامع در هندبوک " شاخص های کیفیت آب" و همچنین مطالعه قبلی انجام شده در خصوص محاسبه شاخص برای پساب های دورریز پتروشیمی سعی شده از تجمیع یا ترکیب داده های فوق و دستیابی به یک شاخص کمی تک عددی، گامی در جهت تسهیل فرایند ارزیابی سازمان های حاکمیتی و نظارتی برداشت. برای این منظور با در نظر گرفتن روش های مختلف معادله سازی، یک معادله درجه یک خطی با ترکیب پارامترهای بارز و ضرایب وزنی متفاوت بعنوان بهترین معادله انتخاب گردید و پس از سعی و خطاهای بسیار، شاخص معادلی تعریف گردید. این شاخص بصورت کلی با فرمت خطی رابطه ۱ تعریف می گردد که از جمع چندین زیرشاخص (Sub Index) تشکیل شده است این زیرشاخص ها با تقسیم عددی بر میزان حد استاندارد دورریز به اتمسفر و سپس توان ۲ بدست آمده است. وزن های اختصاص داده شده به هر یک از این زیرشاخص ها متناسب با منطقه و میزان اهمیت هر پارامتر در فرمول برای پارامترهای SO<sub>x</sub>، NO<sub>x</sub> و CO برابر ۱،۵ و برای پارامترهای HCL، PM، NH<sub>3</sub> و H<sub>2</sub>S و BTEX برابر ۱ تعریف شده است. محاسبات مربوط به این شاخص و همچنین زیرشاخص های مرتبط در جدول ۱ آورده شده است دستور استفاده از این فرمول جهت استفاده در برنامه Excel نیز ارائه گردیده است.

$$EEI = (1.5 \times SI-SO_x) + (1.5 \times SI-NO_x) + (1.5 \times SI-CO) + (1.5 \times SI-BTEX) + (1 \times SI-PM) + (1 \times SI-HCL) + (1 \times SI-H_2S) + (1 \times SI-NH_3) \quad \text{رابطه (۱)}$$

جدول ۱- محاسبه زیر شاخص های EEI		
دستور برنامه در Excel		
$SI-SO_x = (SO_x/800)^2$	if $SO_x > 800$ else 0	= IF ( $SO_x <= 800, 0, (SO_x/800)^2$ )
$SI-NO_x = (NO_x/350)^2$	if $NO_x > 350$ else 0	= IF ( $NO_x <= 350, 0, (NO_x/350)^2$ )
$SI-CO = (CO/150)^2$	if $CO > 150$ else 0	= IF ( $CO <= 150, 0, (CO/150)^2$ )
$SI-PM = (PM/150)^2$	if $PM > 150$ else 0	= IF ( $PM <= 150, 0, (PM/150)^2$ )
$SI-HCL = (HCL/67)^2$	if $HCL > 67$ else 0	= IF ( $HCL <= 67, 0, (HCL/67)^2$ )
$SI-H_2S = (H_2S/7.2)^2$	if $H_2S > 7.2$ else 0	= IF ( $H_2S <= 7.2, 0, (H_2S/7.2)^2$ )
$SI-NH_3 = (NH_3/5)^2$	if $NH_3 > 5$ else 0	= IF ( $NH_3 <= 5, 0, (NH_3/5)^2$ )
$SI-BTEX = (BTEX/0.4)^2$	if $BTEX > 0.4$ else 0	= IF ( $BTEX <= 0.4, 0, (BTEX/0.4)^2$ )
مقدار 0.4 قرار داده شده برای BTEX حد مجاز نمی باشد بعنوان یک مقدار قراردادی منظور شده است.		

به منظور تبدیل شاخص کمی EEI بدست آمده به یک شاخص کیفی، یک دسته بندی مطابق جدول شماره ۲ تعریف شده است که در حال حاضر بعنوان یک مرجع در اختیار نهادهای بالاسری قرار گرفته است. بعنوان مثال وقتی شاخص EEI در بازه صفر تا ۲ قرار دارد، شاخص در وضعیت بسیار خوب (عالی) قرار دارد و در موارد بالاتر از عدد ۲۰، وضعیت های ناسالم، بسیار ناسالم و خطرناک مشاهده می شود.

جدول ۲- تبدیل شاخص کمی EEI به کیفی	
0-2	EXCELLENT
2-10	GOOD
10-20	MODERATE
20-100	UNHEALTHY
100-200	VERY UNHEALTHY
200+	HAZARDOUS

## ۳- نتایج

مقادیر واقعی مربوط به برخی پارامترهای تعیین کننده در شاخص آلاینده‌های هوا در جدول شماره ۳ آورده شده است. در هر ردیف از این جدول مقادیر واقعی پارامترهای خروجی از دودکش مربوط به دو منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر و عسلویه مشاهده می‌شود. در هر ردیف مقادیر مربوط به زیر شاخص‌های هر پارامتر و همچنین مقدار شاخص معادل EEI در دو وضعیت کمی و کیفی گزارش شده است. بعنوان مثال با توجه به اطلاعات ردیف شماره ۱، پس از محاسبه زیر شاخص‌های پارامتر، عدد شاخص معادل  $EEI=0.0$  بدست آمده است و گازهای تخلیه شده از نظر کیفی در وضعیت عالی قرار دارد.

جدول شماره ۳- مقادیر شاخص EEI بدست آمده از نتایج واقعی آلاینده‌های خروجی از دودکش

	SOx	NOx	CO	BTEX	PM	HCL	H <sub>2</sub> S	NH <sub>3</sub>	SI-SOx	SI-NOx	SI-CO	SI-BTEX	SI-PM	SI-HCL	SI-H <sub>2</sub> S	SI-NH <sub>3</sub>	AQI <sub>s</sub>	Status
1	0.0	132	7	0.0	0	0	0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Excellent
2	800	350	150	0.4	150	67	7.2	5	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Excellent
3	1000	500	250	1.0	300	130	14	10	1.6	2.0	2.8	6.3	4.0	3.8	3.8	4.0	34	Unhealthy
4	1500	800	500	5.0	5	5	5	200	3.5	5.2	11.1	156	0.0	0.0	0.0	1600	1864	Hazardous
5	300	1500	8000	6.0	800	400	150	85	0.0	18.4	2844	225	28	35	434	289	5418	Hazardous
6	10000	125	250	12	100	200	10	2	156	0.0	2.8	900	0.0	8.9	1.9	0.0	1599	Hazardous
7	100	400	160	0.6	180	90	10	8	0.0	1.3	1.1	2.3	1.4	1.8	1.9	2.6	14	Moderate
8	100	350	160	0.4	150	70	8	6	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	1.1	1.2	1.4	5.5	Good

## ۴- نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعه انجام گرفته و داده‌های واقعی اندازه‌گیری شده از خروجی گازهای شرکت‌های پتروشیمی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر و عسلویه این نتیجه حاصل شد که با شرایط فعلی و عدم تغییر فرایندی، شاخص معادل محاسبه شده EEI در این تحقیق بعنوان یک ابزار ارزیابی و بعضاً رنکینگ شرکت‌ها بسیار کاربردی است و حتی پس از تبدیل مقدار کمی آن به یک عبارت کیفی طبقه‌بندی شده بصورت "عالی"، "خوب"، "سالم"، "ناسالم"، "بسیار ناسالم" و "خطرناک" برای عموم مردم نیز ملموس می‌باشد. با توجه به اینکه این شاخص برای یک فرایندهای خاص پتروشیمی تعریف شده است با تغییر اصولی و یا اضافه کردن فرایند جدید تولیدی، ضروری است مجدداً در یک دوره زمانی پیوسته، کلیه پارامترهای ملزم شده توسط سازمان محیط زیست اندازه‌گیری تا مشخص شود که آیا پارامتر آلاینده دیگری به این فرمول اضافه می‌گردد و یا احتمالاً پارامتری باید حذف گردد که در اینصورت فرمول مربوط به محاسبه شاخص معادل، می‌باید تغییر و مجدداً تعریف گردد.

## منابع

- Abhinav Pandey, Govind Pandey and Rajeev Kumar Mishra (October 2022) Volume 478, Issue 2266, Proceeding of The Royal Society A, "Applying the indexing system for assessment of effectiveness of the exhaust emission compliance certification process for passenger cars".
- Bishoi et al, "A Comparative Study of Air Quality Index Based on Factor Analysis and US-EPA Methods for an Urban Environment", Aerosol and Air Quality Research, Vol. 9, No. 1, pp. 1-17, 2009.

- Filippone, A., & Bojdo, N. (2018). "Statistical Model for Gas Turbine Engines Exhaust Emissions", Transportation Research. Part D: Transport & Environment: an international journal, 59, 451-463.
- Handbook of "Water Quality Indices", 1st Edition - March 10, 2012, by Tabassum Abbasi, S. A. Abbasi.
- <https://www.aqi.in/blog/what-is-exhaust-emission-index-eei>.
- Kıyas Kayaalp , Sedat Metlek , "Prediction of burning performance and emissions indexes of a turboprop motor with artificial neural network" , March 2021, Aircraft Engineering and Aerospace Technology.
- Rab Nawaz, Arooj Ashraf, "Assessing the Status of Air Pollution in the selected Cities of Pakistan", Pollution 2022, 9(1): 381-39.
- Suman , "Air quality indices: A review of methods to interpret air quality status", Materials Today: Proceedings, Volume 34, Part 3, 2021, Pages 863-868.
- احمدی، ع.، غلامی، د.، ۱۳۹۱. مدلسازی انتشار غبار خروجی دودکش کارخانه سیمان، مجله مهندسی محیط زیست، سال ۹، شماره ۲۹، ص ۱۳۲-۱۴۱.
- تعریف یک شاخص کمی و کیفی معادل برای پساب های تصفیه شده دورریز به دریا توسط شرکت های پتروشیمی مناطق ویژه عسلویه و ماهشهر، لیلا آذری، JESS-2405-2256.
- راهنمای محاسبه، تعیین و اعالم شاخص کیفیت هوا، مرکز سلامت و محیط کار- گروه سلامت هوا و تغییر اقلیم، پژوهشگاه محیط زیست، وزارت بهداشت و درمان و آموزش پزشکی.