ارزیابی عملکرد فرایندهای ایمنی پالایشگاه های گاز با استفاده از AHP/DEA

هادی شیرویه زاد
hadi.shirouyehzad@gmail.com

گروه مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف آباد

سهیل زندیه
rtreex@yahoo.com

گروه مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

چکیده

به منظور مدیریت پویا و موثر بر یک فرایند ایمنی و بهبود مستمر آن نیاز به استفاده از سیستمی برای سنجش عملکرد و اندازه گیری کارایی فرایند ایمنی وجود دارد تا از این طریق با تعیین وضعیت و میزان کارایی هر سازمان مجری ایمنی، اقدامات اصلاحی مناسب در جهت بهبود مستمر شناسایی و بکار گرفته شود. هدف این مقاله ارزیابی کارایی واحدهای ایمنی پالایشگاه های گازی با استفاده از AHP/DEA است. از این طریق با استفاده از روشی ریاضی و منطقی نقاط ضعف هر واحد تصمیم گیری روشن و فرصت های بالقوه برای بهبود آشکار می گردد. این روش با مطالعه موردی در پالایشگاه های گاز منطقه عسلویه مورد بررسی قرار گرفته و با تعیین واحدهای برتر، نحوه و میزان الگوبرداری از آنها، برای سایر واحدها مشخص شده است.

واژه های کلیدی: ایمنی، پالایشگاه گاز، تحلیل پوششی داده ها[1]، الگوبرداری، فرایند تحلیل سلسله مراتبی[2]

[1] Data Envelopment Analysis (DEA)
[2] Analytical Hierarchy Process (AHP)

Abstract

In order to dynamic and effective managing of safety process and to reach continuous improvement, it is necessary to apply a system for performance measurement as indicator to help managers to determine current status and diagnose inefficiency points and take appropriate corrective actions. This article attempts to evaluate the performance of safety sections in gas refineries using AHP/DEA. Though this way the weak points of decision making units appear and consequently the potential improvement points will be reveal by means of a reasonable and mathematical tool. The proposed model was studied in gas refineries of Assaluyeh. Through determining peer group, it was found for other units how they can benchmark.

۱- مقدمه

طبق تعریف رئوف و دهلیون، ایمنی عبارت است از حفاظت از زندگی و اثربخشی انسان ها و پیشگیری از وارد شدن آسیب به مواد و تجهیزاتی که در رفع نیازهای انسان دخیل هستند[۱]. امروزه ایمنی در کشورهای توسعه یافته و همچنین در کشورهای در حال توسعه به امری مهم بدل شده است که تاثیر بسزایی بر بهره وری دارد [۲]. بنابراین بهبود مداوم در عملکرد ایمنی، از اهداف سازمان های موفق می باشد. از آنجا که در هر برنامه بهبود، تعیین شاخص و اندازه گیری کمّی شاخص ها به منظور ارزیابی عملکرد و مشخص کردن جایگاه سازمان در هر دوره زمانی امری اجتناب ناپذیر است، در مورد مساله ایمنی نیز سنجش عملکرد سازمان ها در خصوص شناسایی عوامل آسیب رسان و کنترل حوادث، امری ضروری است. از شاخص های موجود برای ارزیابی عملکرد ایمنی می توان به شاخص موسسه ملی استانداردهای امریکا ANSI[۳] که شامل محاسبه فرکانس موارد مرگ و جراحات ناتوان کننده (DIFR[۴]) و شدت موارد مرگ و جراحات ناتوان کننده (DISR[۵]) است و همچنین شاخص استانداردهای OSHA و دفتر کار امریکا BLS اشاره کرد[۱]. آدبیی در سال ۲۰۰۷ روش های ارزیابی عملکرد ایمنی را در قالب رویکردهای آماری، کارکردهای انتظاری، ارزیابی ریسک، کنترل کیفیت آماری، فاکتورهای اقتصاد مهندسی، تئوری سیستم ها، هوش مصنوعی و غیره معرفی کرد[۳]. آرزس و میگوئل در سال ۲۰۰۳ به تعریف شاخص هایی برای ارزیابی عملکرد ایمنی با تمرکز بر نقش فرهنگ ایمنی پرداختند[۴]. بریها و همکاران در سال ۲۰۱۱ به ارزیابی عملکرد و الگوبرداری از واحدهای برتر ایمنی با استفاده از DEA پرداخته اند [۵] .

در این مقاله برای ارزیابی عملکرد ایمنی از تکنیک تحلیل پوششی داده ها استفاده می شود. تحلیل پوششی داده ها ابزاری مبتنی بر برنامه ریزی خطی است که برای ارزیابی عملکرد نسبی موجودیت های مشابه مورد استفاده قرار می گیرد. این روش در سال ۱۹۷۸ توسط چارنز و همکاران ارایه شده است[۶] و بطور گسترده ای در الگوبرداری، بهبود مستمر و تحلیل استراتژیک به کار می رود [۷]. در استفاده از مدل DEA با توجه به شرایط جامعه مورد نظر می توان از الگوهای بازده به مقیاس ثابت، بازده به مقیاس متغیر استفاده کرد. در جوامعی که میزان تغییرات در مولفه های خروجی اعضای جامعه، متناسب با میزان تغییرات در مولفه های ورودی آنهاست، الگوی بازده به مقیاس ثابت در نظر گرفته می شود و در جوامعی که میزان تغیرات در مولفه های خروجی اعضای جامعه، متناسب با میزان تغییرات در مولفه های ورودی آنها نبوده و ممکن است کمتر یا بیشتر باشد، الگوی بازده به مقیاس متغیر به کار برده می شود.

برای فراهم کردن مقدار برایند "حوادث" و "حجم فعالیت ها" که به عنوان خروجی و ورودی در مدل DEA این مقاله در نظر گرفته شده اند، از فرایند تحلیل سلسله مراتبی استفاده شد. فرایند تحلیل سلسله مراتبی از متداول ترین و پر کاربرد ترین الگوریتم های تصمیم گیری چند شاخصه است که در سال ۱۹۸۰ توسط ساعتی ارائه شد[۸]. این فرایند طی چند مرحله به اولویت بندی و وزن دهی به گزینه های موجود می پردازد.

در این مقاله به ارزیابی عملکرد فرایندهای ایمنی در پالایشگاههای گازی منطقه عسلویه پرداخته می شود و با استفاده از روش AHP برایند خروجی "حوادث" و ورودی "حجم فعالیت ها" تعیین می گردد. سپس با تشکیل واحدهای تصمیم گیری از طریق داده های سه ماهه مربوط به هر یک از پالایشگاه های مورد بررسی، به ارزیابی عملکرد و مقایسه آنها به روش DEA پرداخته

---

[3] American National Standards Institute
[4] Disabling Injury Frequency Rate
[5] Disabling Injury Severity Rate

می شود. تعیین تعداد واحدهای کارا در هر یک از مدل های CRS و VRS، مقایسه زوجی مقدار کارایی حاصل در هر یک از مدل ها، مقایسه میانگین ورودی ها و خروجی ها در واحدهای کارا و واحدهای ناکارا در مدل VRS، آنالیز حساسیت بررسی میزان اثرگذاری هر یک از مولفه های ورودی و خروجی در تبدیل یک واحد ناکارا به کارا قسمت های مختلف این مقاله را تشکیل می دهد.

۲- ایمنی

بروز حوادث متعدد در حین کار و کشته یا مجروح شدن تعداد زیادی از افراد در اثر عدم رعایت مسائل ایمنی و نیز خسارات اقتصادی، صنعتی و اجتماعی ناشی از اینگونه حوادث باعث جلب توجه و اهتمام روزافزون به امر ایمنی شده است. امروزه مدیریت نوین با در نظر گرفتن اهمیت انکار ناپذیر نقش نیروی انسانی در توسعه پایدار و تحقق اهداف سازمان ها، بر حفظ و صیانت از نیروی کار به عنوان یک اصل مهم در خط مشی مدیریت هر سازمان تاکید دارد[۹]. به همین دلیل در بسیاری از سازمان های بزرگ ساز و کارهایی برای تامین ایمنی نیروی انسانی در نظر گرفته شده است که تشکیل معاونت HSE[6] یا واحدهایی که متولی امر ایمنی در سازمان ها هستند، از آن جمله است.

در یک تعریف کلی ایمنی را می توان میزان یا درجه فرار از خطر دانست [۱۰]. به این ترتیب واحدهای ایمنی سازمان ها مسئول شناسایی، ارزیابی و کنترل عوامل آسیب رسان موجود در محیط کار هستند. طبیعتا برای اندازه گیری میزان نیل به اهداف و برنامه ریزی به منظور بهبود مستمر یک سیستم ایمنی، نیاز به سنجش و ارزیابی عملکرد این سیستم ها وجود دارد. هدف غایی یک سیستم ایمنی افزایش فرهنگ ایمنی در سازمان و کاهش رخداد و شدت حوادث است. بنابراین از شاخص های مهم ارزیابی عملکرد سیستم ایمنی می توان به کاهش تعداد حوادث سازمان اشاره کرد. یعنی در مدت زمان مساوی، سازمانی که حوادث کمتری داشته باشد سازمان موفق تری است. بمنظور تفاوت قائل شدن بین حوادث با توجه به شدت آسیب رسانی آنها، حوادث را بر اساس میزان شدت و اثرگذاری به صورت زیر تقسیم بندی می کنند[۱۱]: Near Miss یا شبه حادثه به رویدادی اطلاق می شود که منجر به آسیب به افراد یا صدمه به تجهیزات نشده، اما پتانسیل آن را دارد .FAC[7] به آسیب های جزیی اطلاق می کردد که در آن شخـــــص آسیب دیده به طور سرپایی مداوا شده و قادر به ادامه کارهای محوله می باشد. MTC[8] به آسیب هایی اطلاق می گردد که در آن شخص نیاز به مداوای پزشک داشته و این موارد جدی تر از FAC می باشد .LTI[9] به آسیب هایی اطلاق می گردد که در آن شخص آسیب دیده قادر به انجام کارهای محوله به مدت بیش از یک روز کاری نمی باشد. RWDC[10] به آسیب هایی اطلاق می گردد که در آن شخص قادر به انجام کارهای محوله نبوده و باید موقتا محیط کاری یا دوره کاری وی تغییر نماید. FAT[11] حوادثی که در آن شخص در اثر حادثه جان خود را از دست می دهد.

انومالی نیز هر وضعیت یا اعمال ناایمنی است که پتانسیل آسیب رسانی به نفرات، تجهیزات یا محیط زیست را دارا باشد.

۳- روش شناسی

۳-۱- محاسبه ضریب حوادث DMUs

---

6 Health Safety Environment
7 First Aid Case
8 Medical Treatment Case
9 Lost Time Injury
10 Restricted Work Day Case
11 Fatality

چناچه قبلا ذکر شد حوادث بر اساس شدت و اثرگذاری آنها به انواع Near Miss و FAC و MTC و RWDC و LTI و FAT تقسیم شده اند که به منظور به دست آوردن یک برایند به عنوان مقدار خروجی تعداد حوادث، از رویکرد فرایند تحلیل سلسله مراتبی، و وزن دهی به هر دسته از حوادث استفاده شد. بدین منظور درخت سلسله مراتب تهیه شد. که در آن "تعیین ضریب حوادث" در بالاترین سطح سلسله مراتب قرار گرفته است. "صدمه به اعتبار سازمان"، "ضرر مالی" و "آسیب های اجتماعی" در سطح میانی قرار گرفته و معیارها را تشکیل داده اند و در سطح پایین گزینه ها یا همان انواع حوادث رسم شده اند.

پس از انجام مقایسات، عناصر ماتریس مقایسات زوجی بی مقیاس شده و وزن هر یک از گزینه های مورد مقایسه، محاسبه می شود. اما به دلیل آنکه از نظرسنجی برای مقایسات استفاده می شود و امکان ناسازگاری بین مقادیر اختصاص داده شده به مقایسات زوجی وجود دارد، با محاسبه شاخص سازگاری از وجود میزان قابل قبول سازگاری در مولفه های ماتریس های مقایسات اطمینان حاصل می شود. در پایان وزن هر یک از گزینه های مورد مقایسه، از طریق محاسبه میانگین مولفه های سطر متناظر آن گزینه در ماتریس به دست می آید. پس از مشخص شدن وزن هر یک از انواع حوادث، ضریب حادثه برای هر DMUj از طریق فرمول زیر به دست می آید:

$$\text{ضریب حادثه DMUj} = \sum Wi*Ni \qquad i= \{FAT, FAC, MTC, RWDC, LTI, Near\ Miss\} \qquad (1)$$

که در آن Wi نشـان دهنده وزن اختصاص داده شده به حادثه نوع i ام است و Ni نشان دهنده تعداد حادثه نوع i که در طول دوره ارزیابی رخ داده است. نتیجه به دست آمده از محاسبه این فرمول به عنوان مقدار خروجی "ضریب حادثه" در محاسبات استفاده می شود.

۲-۳- محاسبه ضریب حجم کار DMUs

به طریق مشابه برای تعیین ضریب حجم کار که یکی از ورودی های هر DMU است نیز از رویکرد AHP با سه سطح استفاده شد. که در آن "تعیین ضریب کار" در سطح هدف قرار گرفته است. "میزان ریسک کار" و " زمان بر بودن کار" در سطح دوم، معیارها را تشکیل دادند و در سطح سوم انواع کار مطابق با دستورالعمل مجوز کار شرکت گاز ایران[12]- که مورد مطالعاتی این مقاله در یکی از شرکت های زیر مجموعه شرکت ملی گاز ایران انجام گرفت- قرار دارند. طبق این دستورالعمل فعالیت هایی که در پالایشگاه های گازی انجام می گیرند باید تحت یکی از انواع مجوز کار ثبت شوند. که این مجوزها تحت سه دسته کلی Cold و Hot و H.N.F تقسیم می شوند و بسته به نوع کار ممکن است مجوزهای تکمیلی دیگری به آنها الحاق شود که در این مقاله فعالیت هایی که تحت مجوز تکمیلی Confined space انجام می گیرند، بخاطر اهمیت و ریسک بالا بطور مجزا در محاسبات در نظر گرفته شده اند. فعالیت Cold به آن دسته از فعالیت ها اشاره دارد که پتانسیل بروز حریق بواسطه انجام آن فعالیت وجود ندارد. فعالیت Hot به آن دسته از فعالیتها اشاره دارد که پتانسیل بروز حریق بواسطه انجام آن فعالیت وجود دارد. مجوز فعالیت H.N.F شامل فعالیتهایی است که ماهیت آنها در بردارنده منبع شعله است عملیات جوشکاری از این فعالیتها است. فعالیت Confined space به فعالیتی اطلاق می شود که به هر دلیل مستلزم ورود نفرات به داخل فضاهای بسته که تردد به آنها دشوار است، می باشد. سپس طبق الگوریتم AHP عوامل هر سطح نسبت به هر یک از عوامل سطح بالاتر در ماتریس های مقایسات زوجی جداگانه مورد مقایسه قرار می گیرند و پس از حصول اطمینان از سازگاری داده ها، گزینه های مورد مقایسه، وزن دهی می

شوند. پس از مشخص شدن وزن هر یک از انواع مجوز کار، ضریب حجم کار برای هر DMUj از طریق فرمول زیر به دست می آید:

$$\text{ضریب حجم کار DMUj} = \sum Wi*Ni \qquad i= \{ \text{Cold, Hot, H.N.F, Confined Space} \} \qquad (2)$$

که در آن Wi نشـان دهنده وزن اختصاص داده شده به کار نوع i ام است و Ni نشان دهنده تعداد کار نوع i است که در طول دوره ارزیابی در سازمان jام انجام شده است. نتیجه به دســت آمده از محاسبه این فرمول به عنوان مقدار ورودی "ضریب حجم کار" در محاسبات استفاده می شود.. در این مقاله از نظرات خبرگان و کارشناسان ایمنی شرکت مورد مطالعه در انجام مقایسات زوجی، استفاده شد.

۳-۳- تشکیل مدل DEA

در این مقاله عملکرد شانزده DMU با در نظر گرفتن دو ورودی شامل "تعداد نفرات" و "ضریب حجم کار" و دو خروجی شامل " ضریب حوادث" و "تعداد گزارش آنومالی" مورد ارزیابی و مقایسه قرار می گیرد. اطلاعات ورودی و خروجی هر DMU متشکل از داده های مربوط به دوره های سه ماهه از پالایشگاه ها می باشد. که با توجه به داده های جمع آوری شده، از یکی از پالایشگاه ها یک DMU ، از یکی دیگر از آنها سه DMU و از مابقی آنها، هریک چهار DMU را تشکیل داده اند. در مورد مولفه های ورودی، مولفه تعداد نفرات به طور مستقیم بر کنترل بهتر و بهبود عملکرد ایمنی اثرگذار است اما افزایش حجم کار، باعث کاهش امکان کنترل و نظارت دقیق بر تمام فعالیت ها و متعاقب آن افزایش پتانسیل بروز حادثه می شود بنابراین از معکوس مقدار به دست آمده از فـرمول (۲) به عـنوان مقدار ورودی گزینه ضریب حجم کار استفـاده می شود.

در مورد مولفه های خروجی نیز به همین صورت، مولفه تعداد گزارشات آنومالی نشانگر عملکرد بهتر و شناسایی بیشتر عوامل، فعالیت ها و شرایط نا ایمن که امکان بروز حادثه را در پی داشته اند می باشد و بنابراین تعداد این گزارشات بصورت مستقیم به عنوان مقدار خروجی مولفه تعداد گزارشات آنومالی بکار می رود اما با توجه به اینکه تعداد حوادث، یک خروجی نامطلوب است و کاهش مقدار این مولفه نشانگر عملکرد بهتر ایمنی در سازمان است، از معکوس مقدار به دست آمده از فرمول (۱) به عنوان مقدار خروجی مولفه ضریب حوادث استفاده می شود.

به منظور ارزیابی عملکرد DMUهااز مدل های BCC و CCR خروجی محور استفاده می شود. از مدل خروجی محور به این علت استفاده می شود که امکان تغییر در حجم فعالیت های سازمان ها به منظور بهبود عملکرد ایمنی وجود ندارد و تعداد و نوع فعالیت ها به تناسب نیازهای عملیاتی سازمان تعیین می شود که ممکن است در برهه های زمانی مختلف کاهش یا افزایش یابد. در ادامه به منظور مقایسه نتایج حاصل از مدل های بازده به مقیاس ثابت (CRS[12]) و بازده به مقیاس متغیر (VRS[13])، میانگین کارایی های به دست آمده از دو مدل از طریق آزمون t زوجی با هم مقایسه می شوند به این ترتیب اگر اندازه تغییرات در مولفه خروجی کمتر از اندازه تغییرات در مولفه ورودی باشد، بازده به مقیاس کاهشی و اگر بیشتر باشد، بازده به مقیاس افزایشی است.

۴- مطالعه کاربردی

در این مقاله به منظور ارزیابی و مقایسه کارایی تشکیلات ایمنی، صنعت گاز انتخاب شد دلیل این امر آن است که با توجه به ماهیت صنعت گاز، پتانسیل بروز حوادث در این صنعت بسیار بالا است و همچنین خطرات موجود می تواند خسارات فراوان

---

[12] Constant Return to Scale
[13] Variable Return to Scale

جانی، مالی و زیست محیطی را به دنبال داشته باشد. در میان پالایشـــگاه های گازی نیز، پالایشـگاه های گازی منطقه عسلویه به دلیل موقعیت استراتژیک آنها و نیز پیشرفت هایی که در نهادینه کردن فرهنگ ایمنی و پیاده سازی مدیریت HSE داشته اند انتخاب شدند.

با توجه به عدم تناسب تعداد واحدهای تصمیم گیری با تعداد مجموع ورودی و خروجی ها، کارایی ایمنی هر پالایشگاه در دورههای سه ماهه مورد ارزیابی قرار گرفت به این ترتیب میزان نوسانات کارایی پالایشگاه ها در طول زمان نیز مشخص گردید.

همانطور که قبلا ذکر شد از دو ورودی و دو خروجی مطابق موارد زیربه منظور ارزیابی و مقایسه کارایی DMUها استفاده شد:

"نیروهای عملیاتی ایمنی" آن دسته از پرسنل واحد ایمنی هستند که وظیفه کنترل و نظارت مستقیم بر کلیه فعالیت ها و شرایط سایت عملیاتی را بر عهده دارند. مقدار "حجم فعالیت ها" نشان دهنده تعداد و شدت فعالیت ها از جنبه طول مدت زمان و پتانسیل ریسک آن است که با اولویت بندی انواع مجوزهای کار صادر شده از طریق فرایند تحلیل سلسله مراتبی و میانگین وزنی به دست می آید. پس از تایید سازگاری مقایسات زوجی مقادیر وزنی "حجم فعالیت ها" مطابق جدول۱. تعیین شد.

جدول ۱. اوزان مجوزهای انجام کار در "حجم فعالیت ها"

گزینه ها	COLD	HOT	HNF	Confined
وزن ها	0.084	0.152	0.352	0.411

به دلیل آنکه با افزایش حجم فعالیت ها به همان نسبت احتمال رخداد حوادث ناشی از این فعالیت ها نیز افزایش می یابد، از معکوس مقدار معادل حجم فعالیت ها به عنوان ورودی مدل DEA شد. مقدار " تعداد حوادث" نمایانگر فراوانی و شدت آسیب ناشی از حوادث است که با اولویت بندی انواع حوادث از طریق فرایند تحلیل سلسله مراتبی و میانگین وزنی به دست می آید. پس از تایید سازگاری مقایسات زوجی مقادیر وزنی " تعداد حوادث" مطابق جدول۲. تعیین شد.

جدول ۲. اوزان انواع حوادث در "ضریب حوادث"

گزینه ها	FAT	LTI	RWDC	MTC	FAC	near miss
وزن	0.558	0.170	0.095	0.072	0.054	0.045

"گزارشات ایمنی(انومالی)" نمایش دهنده میزان توانایی پرسنل ایمنی در شناسایی، برخورد و گزارش دهی فعالیت های نا ایمن و شرایط ناایمنی است در صورت عدم توجه و رفع آنها می تواند منجر به صدمه و آسیب به نفرات، ماشین آلات و محیط زیست گردد. شرایط ناایمن در محیط پالایشگاهی شـــامل مواردی از قبیل آلودگی بهداشت و محیط زیست، آلودگی صوتی، نشت گاز، آب، روغن، مواد شیمیایی و مواد نفتی می باشد[11]. به این ترتیب برای سنجش و ارزیابی عملکرد سیستم ایمنی، در نظر گرفتن توام میزان حوادث و میزان شناسایی و گزارش دهی عوامل نا ایمن (Anomaly) معیار مناسب تری است.

داده های مورد نیاز از طریق بخش گزارش دهی واحد ایمنی هر پالایشگاه و همچنین گزارشات موجود در ستاد HSE منطقه به دست آمد. این گزارشات مربوط به دوره های زمانی سه ماهه در سال ۲۰۱۰ بود. به خاطر کم بودن تعداد DMUها (۵ پالایشگاه) نسبت به مجموع تعداد ورودی و خروجی ها (۴ عدد)، از اطلاعات مربوط به دوره های زمانی سه ماهه به عنوان یک DMU مستقل استفاده شد به این ترتیب علاوه بر مقایسه واحد ایمنی پلایشگاه های مختلف با یکدیگر، تغییرات کارایی واحد ایمنی هر پالایشگاه در دوره های مختلف زمانی نیز بررسی می شود. تعداد ۱۶ DMU متشکل از چهار دوره سه ماهه از سال ۲۰۱۰ مربوط به پالایشگاههای دوم وسوم و چهارم، سه دوره از پالایشگاه اول و یک دوره نیز از پالایشگاه پنجم است. داده های

مورد استفاده در این مقاله به صورت جدول۳ می باشد.

جدول ۳. مقادیر ورودی و خروجی DMU ها

DMU name	Inputs		Outputs	
	نفرات	حجم کار	حوادث	انومالی
DMU 1	8	107	2.496	1728
DMU 2	8	103	3.268	2198
DMU 3	8	91	1.61	1615
DMU 4	9	119	1.292	1160
DMU 5	9	129	0.907	935
DMU 6	10	115	0.772	1601
DMU 7	9	71	0.661	1023
DMU 8	9	82	1.292	1070
DMU 9	8	48	0.561	1276
DMU 10	9	65	0.992	1578
DMU 11	9	65	1.145	836
DMU 12	9	63	1.736	2310
DMU 13	10	86	1.235	3668
DMU 14	9	111	1.307	1748
DMU 15	9	72	1.522	1926
DMU 16	8	80	0.482	2408

۵- یافته ها و بحث

نتایج ارزیابی کارایی نسبیDMU ها پس از حـــل مدل ستاده گرا با نرخ بازگشت به مقیاس متغیر، مطابق جدول ۴ و با نرخ بازگشت به مقیاس ثابت، مطابق جدول۵ ارائه شده است. ستون اول جداول نام واحدهای تصمیم گیری و ستون دوم مـــیزان کارایی نسبی هر واحد تصمیم گیری را نشان میدهد.

ســـــتون سوم جدول۵ نشان دهنده نوع بازگشت به مقیاس هر واحد است و ستون آخر جداول ۴ و ۵ نشان دهنده مجموعه گروه مرجع برای هر واحد تصمیم گیری و وزن هر یک از اعضای گروه مرجع برای واحد متناظر می باشد. همانطور که از جدول۴ مشخص است با حل مدل VRS،۵ واحد تصمیم گیری(DMUi / i= 2,9,12,13&16)دارای کارایی برابر یک هستند. تعداد۶ عدد از واحدهای تصمیم گیری ناکارآمد (DMUi / i=1,4,5,6,8&11)دارای دو واحد کارای مرجع هستند. تعداد ۳ عدد از واحدهای تصمیم گیری ناکارآمد (DMUi / i=3,14&15) دارای سه واحد کارای مرجع هستند و تعداد ۲ عدد از واحدهای تصمیم گیری ناکارآمد (DMUi / i=7&10)دارای چهار واحد کارای مرجع هستند. با توجه به جدول مشخص است که DMU2 ده بار به عنوان واحد مرجع قرار گرفته است، DMU9 دو مرتبه، DMU12 پنج مرتبه، DMU13 هفت مرتبه، DMU16 پنج مرتبه واحد مرجع بوده است.

طبق جدول۵ از طریق حل روش CRS تعداد۳ واحد تصمیم گیری (DMUi / i=2,12&13)دارای کارایی برابـــر یک هســـتند. یکی از واحدهای تصمیم گیری ناکارآمد (DMU 16)دارای تنها یک واحد کارای مرجع است. تـــعداد ۱۰ عدد از

واحدهای تصمیم گیری ناکارآمد (DMUi / i=1,3,4,5,6,8,9,10,11&14)دارای دو واحد کارای مرجع هستند. و ۲ عدد از واحدهای تصمیم گیری ناکارآمد (DMUi / i=7&15)دارای سه واحد کارای مرجع هستند. با توجه به جدول مشخص است که DMU2 ده بار به عنوان واحد مرجع قرار گرفته است، DMU 12شش مرتبه، DMU 13 یازده مرتبه واحد مرجع بوده است.

جدول ۴. کارایی و گروه مرجع برای هر DMU در BCC خروجی محور

DMU Name	*Output-Oriented VRS Efficiency*	*Benchmarks*							
DMU 1	1.276	0.970	DMU 2	0.030	DMU 16				
DMU 2	1.000	1.000	DMU 2						
DMU 3	1.349	0.604	DMU 2	0.090	DMU 9	0.306	DMU 16		
DMU 4	2.178	0.777	DMU 2	0.223	DMU 13				
DMU 5	2.867	0.672	DMU 2	0.328	DMU 13				
DMU 6	2.112	0.195	DMU 2	0.805	DMU 13				
DMU 7	2.475	0.066	DMU 2	0.676	DMU 12	0.162	DMU 13	0.096	DMU 16
DMU 8	1.907	0.475	DMU 2	0.525	DMU 12				
DMU 9	1.000	1.000	DMU 9						
DMU 10	1.512	0.112	DMU 9	0.721	DMU 12	0.139	DMU 13	0.028	DMU 16
DMU 11	1.583	0.050	DMU 2	0.950	DMU 12				
DMU 12	1.000	1.000	DMU 12						
DMU 13	1.000	1.000	DMU 13						
DMU 14	1.680	0.480	DMU 2	0.500	DMU 13	0.020	DMU 16		
DMU 15	1.267	0.162	DMU 2	0.728	DMU 12	0.110	DMU 13		
DMU 16	1.000	1.000	DMU 16						

با استفاده از نتایج به دست آمده از حـــل مـدل VRS، تعداد پنج واحد کارا هستند(DMUi / i=2,9,12,13&16)، و بقیه ناکارا می باشند. مقایسه بین میانگین مقادیر ورودی ها و خروجی ها در واحدهای کارا و واحدهای ناکارا طبق جدول۶ ارائه شده است.مطابق جدول مشخص است که میانگین تعداد نیروها در واحدهای ناکارا ۰,۳۱ بیشتر از میانگین تعداد نیروها در واحدهای کارا است. و در مورد خروجی ها میانگین تعداد حوادث در واحدهای ناکارا ۰,۱۹ کمتر از میانگین تعداد حوادث در واحدهای کارا است. مجددا یاد آوری می شود از معکوس برایند حجم حوادث استفاده شده است.همچنین میانگین تعداد گزارشات آنومالی در واحدهای ناکارا ۹۸۸,۴ واحد کمتر از میانگین تعداد گزارشات آنومالی در واحدهای کارا است.

جدول ۵. کارایی و گروه مرجع برای هر DMU در CCR خروجی محور

DMU Name	*Output-Oriented CRS Efficiency*	*RTS*	*Benchmarks*					
DMU 1	1.284	Increasing	0.972	DMU 2	0.022	DMU 13		
DMU 2	1.000	Constant	1.000	DMU 2				
DMU 3	1.524	Increasing	0.643	DMU 2	0.286	DMU 13		
DMU 4	2.321	Decreasing	0.827	DMU 2	0.238	DMU 13		
DMU 5	2.981	Decreasing	0.698	DMU 2	0.341	DMU 13		
DMU 6	2.198	Decreasing	0.203	DMU 2	0.838	DMU 13		
DMU 7	2.555	Increasing	0.080	DMU 2	0.634	DMU 12	0.266	DMU 13
DMU 8	1.944	Increasing	0.587	DMU 2	0.342	DMU 12		
DMU 9	1.542	Increasing	0.211	DMU 12	0.403	DMU 13		
DMU 10	1.576	Increasing	0.758	DMU 12	0.201	DMU 13		
DMU 11	1.778	Increasing	0.568	DMU 2	0.103	DMU 12		
DMU 12	1.000	Constant	1.000	DMU 12				
DMU 13	1.000	Constant	1.000	DMU 13				
DMU 14	1.687	Increasing	0.479	DMU 2	0.517	DMU 13		
DMU 15	1.270	Decreasing	0.156	DMU 2	0.746	DMU 12	0.104	DMU 13
DMU 16	1.219	Increasing	0.800	DMU 13				

در هر دو روش CRS و VRSواحد پنجم حائز کمترین مقدار کارایی است. به منظور تحلیل تاثیر هر یک از ورودی و خروجی ها بر کارایی، برای هر یک از آنها طی چند مرحله افزایش های ۱۰٪ در خروجی Jام با ثابت باقی نگه داشتن سایر مولفه ها صورت گرفت. همین روش با کاهش های ۱۰٪ در ورودی تعداد نفرات با ثابت باقی نگه داشتن سایر مولفه ها تکرار شد.

جدول ۶ . مقایسه میانگین ورودی و خروجی در واحدهای کارا و ناکارا

	واحدهای کارا	**واحدهای ناکارا**
ورودی		
تعداد نیروها	8.6	8.91
حجم فعالیتهای	76	91.91
خروجی		
تعداد حوادث	1.46	1.27
گزارشات آنومالی	2372	1383.6

طبق جدول۷ الف) با فرض ثابت بودن سایر مولفه ها، مقادیر خروجی اول که عبارت است از معکوس برایند حجم حوادث در هر مرحله ۱۰٪ افزایش می یابد تا اینکه پس از ۱۴ مرحله تبدیل به واحدی کارا می شود. در قسمت ب) با فرض ثابت بودن سایر مولفه ها، مقادیر خروجی دوم که عبارت است از تعداد گزارشات شرایط و رفتارهای دارای پتانسیل خطر، در هر مرحله ۱۰٪ افزایش می یابد تا اینکه پس از ۱۳ مرحله تبدیل به واحدی کارا می شود.در قسمت ج) با فرض ثابت بودن سایر مولفه ها، مقادیر ورودی تعداد نفرات واحد ایمنی، در هر مرحله ۱۰٪ کاهش می یابد تا اینکه پس از ۲ مرحله تبدیل به واحدی کارا می شود.

این تحلیل نشان می دهد که ورودی تعداد نفرات حساسیت و تاثیربیشتری بر اندازه کارایی دارد و می توان با کاهش ۱/۷ نفر به حد کارایی برای DMU 5 رسید. پس از آن تعداد گزارشات آنومالی تاثیربیشتری بر میزان کارایی دارد. به منظور مقایسه نتایج حاصل از مدل های CRS و VRS، میانگین کارایی به دست آمده از دو مدل از طریق آزمون t زوجی به وسیله نرم افزار MINITAB13 با هم مقایسه شدند:

H0: کارایی حاصل از مدل CRS = کارایی حاصل از مدل VRS

H1: کارایی حاصل از مدل CRS≠ کارایی حاصل از مدل VRS

با در نظـــــر گرفتن مقدار خطای نوع یک $\alpha = 0.05$ و مقدار P Value = 0.000 و T Value = -6.32 می توان نتیجه گرفت فرض صفر رد می شود و کارایی حاصل از دو مدل برابر نیستند ، لذا برای تعیین کارایی لازم است چگونگی نرخ برگشت به مقیاس جامعه بررسی گردد.

۶- نتیجه گیری

در این مقاله تلاش شد چارچوبی برای ارزیابی عملکرد ایمنی در صنعت بخصوص در صنایع نفت و گاز بر پایه رویکرد DEA فراهم شود. این روش به شناسایی واحدهای برتر و الگوبرداری از آنها در صنعت کمک می کند. از محدودیت های این مقاله می توان به تعداد کم پالایشگاه ها اشاره کرد. به دلیل آنکه اخذ نتیجه مطلوب از روش تحلیل پوششـی داده ها منوط به آن است که تعداد واحدهای تصمیم گیری بیش از سه برابر مجموع تعداد ورودی و خروجی های هر واحد باشد، عدم برقراری رابطه مذکور، از محدودیت های مطالعه موردی بود که با استفاده از داده های چند دوره زمانی مختلف برای هر واحـد مورد بررســی، به عنوان یک واحد تصمیم گیری مجزا این مشکل مرتفع شد. نتایج تحقیق عبارتند از:

۱. نتایج نشان دهنده ۳ واحد کارا در مدل CRS و ۵ واحد کارا در مدل VRS بود.

۲. میانگین ورودی های مصرف شده و خروجی های به دست آمده از واحدهای کارا و واحدهای ناکارا VRS طبق جدول۶ مقایسه شدند.

۳. اثرگذاری هر یک از مولفه های ورودی و خروجی در تبدیل DMU5 از حالت ناکارا به کارا مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴. به منظور بررسی نتایج حاصل از دو مدل CRS و VRS از آزمون t زوجی برای اثبات فرض برابری میانگین کارایی حاصل از دو مدل استفاده شد که مشخص کننده وجود تفاوت معنادار بین دو میانگین بود.

از محدودیت های مقاله می توان به عدم توجه به وروری هایی از قبیل میزان سرمایه گذاری در امر آموزش و فرهنگ سازی، میزان تحصیلات، تجربه و مهارت پرسنل واحد ایمنی و همچنین تجربه و مهارت پرسنل واحدهای بهره برداری و تعمیرات و نیزعدم توجه به خروجی های مربوط به مسائل زیست محیطی و آلودگی هوا اشاره کرد که می تواند مورد توجه تحقیقات آتی باشد. برای استفاده از روش DEA جهت ارزیابی کارایی ایمنی در سازمان ها ضروری است زمینه سازی های لازم برای ثبت و جمع آوری یکسان داده ها در هر پالایشگاه صورت گیرد و معیارهای اصلی مدنظر به منظور بهبود کارایی تعیین و به عنوان مولفه های ورودی و خروجی در مدل استفاده گردد.

جدول ۷. تغییرات کارایی به ازای افزایش (کاهش) پلکانی در خروجی (ورودی)

	Accident	Efficiency
Base Value	0.907	2.867
Step 1	0.998	2.754
Step 2	1.097	2.638
Step 3	1.207	2.522
Step 4	1.328	2.406
Step 5	1.461	2.235
Step 6	1.607	2.032
Step 7	1.767	1.847
Step 8	1.944	1.679
Step 9	2.139	1.526
Step 10	2.353	1.387
Step 11	2.588	1.261
Step 12	2.847	1.147
Step 13	3.131	1.042
Step 14	3.444	1.000

الف) تغییرات کارایی DMU5 به ازای افزایشهای ۱۰٪ در خروجی تعداد حوادث

	Anomaly Report	Efficiency
Base Value	935.00	2.867
Step 1	1028.50	2.708
Step 2	1131.35	2.552
Step 3	1244.49	2.363
Step 4	1368.93	2.159
Step 5	1505.83	1.971
Step 6	1656.41	1.799
Step 7	1822.05	1.641
Step 8	2004.26	1.497
Step 9	2204.68	1.365
Step 10	2425.15	1.244
Step 11	2667.66	1.134
Step 12	2934.43	1.033
Step 13	3227.87	1.000

ب) تغییرات کارایی DMU5 به ازای افزایشهای ۱۰٪ در خروجی تعداد گزارشات انومالی

	Personal	Efficiency
Base Value	9.00	2.867
Step 1	8.10	2.502
Step 2	7,29	1.000

ج) تغییرات کارایی DMU5 به ازای کاهشهای ۱۰٪ در ورودی تعداد پرسنل ایمنی

منابع

[۱] Raouf.A&Dhillon.B.S "ارزیابی کمی ایمنی" ترجمه محمد فام ا. چاپ سوم همدان انتشارات فن آوران، ۱۳۸۵

[۲] Dhillon.B.S "مهندسی *ایمنی*" ترجمه بنی نجاریان ا. ح. اصفهان انتشارات پویش اندیشه، ۱۳۸۶

[۳] Adebiyi K.A.، Charles-Owaba O.E،Waheed M.A. *Safety performance evaluation models: a review* Disaster Prevention and Management Vol. 16 No. 2، 2007

[٤] Arezes P.M. & Miguel A.S. *the role of safety culture in safety performance measurement* Measuring Business Excellence Vol. 7 No. 4، 2003، pp. 20-28،2003

[٥] Beriha G.S. Patnaik B. S. Mahapatra S. *Safety Performance Evaluation of Indian Organizations using Data Envelopment Analysis*Benchmarking: An International Journal Volume: 18 Issue: 2،2011

[٦] Charnes A., Cooper W.W. and Rhodes E. Measuring the efficiency of decision making units, *Eur. J. Opl. Res 2,* 429-444، 1978

[۷] مومنی م"مباحث نوین تحقیق در عملیات" چاپ دوم ایران انتشارات دانشکده مدیریت دانشگاه تهران، ۱۳۸۷

[۸] قدسی پور ح "فرایند تحلیل سلسله مراتبی AHP " چاپ هشتم تهران انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۹

[۹] Mu¨ngen، U.،Gu¨ rcanli، G.E.، Fatal traffic accidents in Turkish construction industry. Safety Science، Vol. 43، No. 5/6، pp.299–322، 2005.

[۱۰] سرمد نهری ا، کاردان م "*ایمنی و حفاظت کار در حین اجرا*" چاپ اول ایران: انتشارات آذر، ۱۳۸۷

[۱۱] اصولی ع "*آشنایی اجمالی با HSE* " چاپ اول ایران، ص ۲۵، ۱۳۸۹

[12] SPGC-GEN-PR-HSE-SAF-043-REV02، 2008