ارزیابی و اولیت بندی ریسک HSE در نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از تحلیل پوششی داده های فازی (FDEA)

دکتر سید علی حسینی شریف[1]، حسن حقیقت پور

دانشگاه فنی و حرفه ای، ایران، تهران (sa-hosseini@tvu.ac.ir)

دانشگاه فنی و حرفه ای، ایران، تهران (hasann6279@gmail.com)

چکیده

امروزه، سازمانها در حال ایجاد و پیروی از قوانین و مقررات در سراسر جهان برای ایجاد یک محل کار امن و سالم هستند. خطرات تقریباً در همه جا مانند نیروگاه ها وجود دارد اما متأسفانه، بیشتر اوقات تا زمان وقوع حادثه شناسایی نمی شوند. بنابراین، شناسایی خطرات و کاهش خطر به عنوان اقدامات پیشگیرانه از اقدامات اولیه مهم است. در این راستا در این پژوهشی به ارزیابی و اولیت بندی ریسک HSE در نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از تحلیل پوششی داده های فازی (FDEA)پرداخته شد. با بررسی ادبیات و پیشینه تحقیق، ریسک های HSE در نیروگاه سیکل ترکیبی شناسایی شدند. پس از شناسایی ریسکهای HSE در نیروگاه سیکل ترکیبی، بر اساس اطلاعات جمع آوری شده از خبرگان، با استفاده از روش تحلیل پوششی داده های فازی به اولویت بندی هر یک از این ریسک ها پرداختیم. نتایج نشان داد خطرات آتش سوزی، خطرات سقوط از ارتفاع، خطرات پاتولوژیک، خطرات برق گرفتگی از جمله مهم ترین ریسک های HSE در نیروگاه سیکل ترکیبی هستند.

کلمات کلیدی: ریسک، ریسک HSE، نیروگاه سیکل ترکیبی، ریسک های سیستم ایمنی، بهداشت، و محیط زیست در نیروگاه سیکل ترکیبی

مقدمه

انرژی الکتریکی بدلیل سادگی تبدیل آن به سایر انواع انرژی، سهولت انتقال، کنترل آسان و پاک بودن از نظر زیست محیطی، در زندگی امروزی نقشی بسیار مهم و کلیدی را ایفا می‌نماید. افزایش جمعیت و توسعه بخش های صنعتی و کشاورزی موجب گردیده تا تقاضا برای انرژی

[1] مسئول مکاتبات (sa-hosseini@tvu.ac.ir و 09133510883)

الکتریکی به صورت مداوم رو به افزایش باشد. بنابراین توسعه شبکه برق کشور اجتناب ناپذیر و نیازمند برنامه ریزی برای تولید می باشد. در این راستا، با توجه به اهمیت روز افزون بخش انرژی در کشور، یکی از مهمترین صنایع، صنعت نیروگاهی می باشد که به دلیل دارا بودن منابع عظیم سوخت های فسیلی، در جهت احداث نیروگاه های حرارتی سرمایه گذاری های بالای به عمل آمده است. بیشترین مقدار برق در ایران توسط نیروگاه های حرارتی تولید می شود(12). حدود 30 درصد از کل برق تولیدی توسط انواع مختلف از نیروگاه های حرارتی (بخار، گاز و سیکل ترکیبی) تولید می شود(29).

افزایش نیاز به برق برای توسعه و پیشرفتی مدرن ضروری می باشد (30). در کشور ما به دلیل وجود منابع سرشار و غنی گاز طبیعی، ساخت نیروگاه های برق حرارتی که از گاز طبیعی به عنوان سوخت استفاده می کنند، یکی از اصلی ترین بخش های توسعه شبکه برق کشور است. از میان انواع نیروگاه های حرارتی، نیروگاه سیکل ترکیبی به دلیل راندمان الکتریکی بالاتر نسبت به سایر گونه ها و دانش فنی کشور در احداث چنین نیروگاه هایی، مناسبترین گزینه می باشد.

نیروگاه های سیکل ترکیبی یکی از موثرترین انواع در میان تمام نیروگاه ها هستند. اولین نیروگاه سیکل ترکیبی در سال1950 ساخته شد. از آن به بعد تعداد نیروگاه های سیکل ترکیبی به خصوص در دهه 70 میلادی به سرعت افزایش یافت(16).

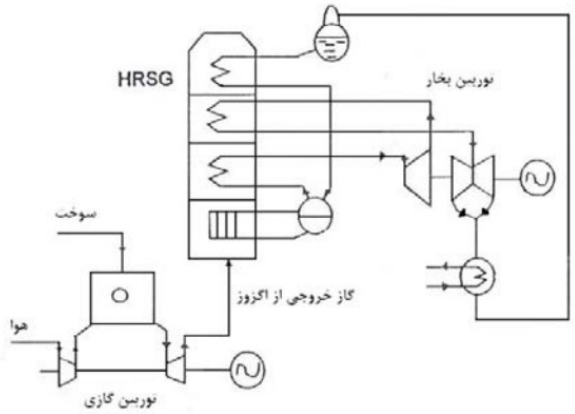
نیروگاه سیکل ترکیبی دارای هر دو نوع توربین گازی و توربین بخار است. در این نوع نیروگاه، با استفاده از بویلر بازیاب از حرارت موجود در گازهای خروجی از توربین های گاز، برای تولید بخار آب مورد نیاز در توربین های بخار استفاده می شود. اگر توربین گاز به صورت سیکل ترکیبی نباشد، گازهای خروجی ان که می توانند تا 600 درجه سانتی گراد دما داشته باشند، مستقیما وارد هوا شده و انرژی باقی مانده در آنها تلف می شود، در حالی که در نیروگاه سیکل ترکیبی از این انرژی استفاده می شود و بویلر بازیاب بدون نیاز به سوخت، بخار آب تولید می کند(23). بنابراین بخار مورد نیاز توربین بخار این نوع نیروگاه ها، از بویلر بازیابی حرارتی که حرارت خود را از گازهای خارج شده از دودکش توربین گازی دریافت می کند، تهیه می شود. با این ترکیب راندمان نیروگاه به مقدار بالای افزایش می یابد. در حال حاضر بسیاری از نیروگاه های برق با بار پایه که از گاز طبیعی برای سوخت استفاده می کنند، از این نوع می باشند.

کلاسبن دي نيروگاه هاي سيكل تركيبي بر پايه مقالاتي كه توسط بويسنن و كاستانير[2] در سال 1998 (15) و ماركی[3] در سال 1991 (24) انتشار يافته است، صورت مي پذيرد(27). سه نوع متداول از نيروگاه هاي سيكل تركيبي معرفي شده اند:

1. **تركيب بندي استاندارد** (شكل 1): گاز خروجي از اگزوز توربين گازي براي توليد گرما در مولّد بخار مبتني بر بازياب حرارتي (HRSG[4]) استفاده مي شود. با استفاده از دماي گازهاي خروجي از اگزوز توربين گازي پارامترهاي بخار (دما و فشار) را افزايش مي

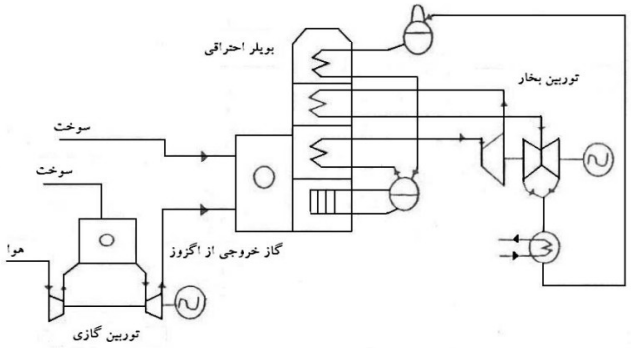
[2] Boissenin & Castanier
[3] Marecki
[4] Heat Recovery Steam Generation

دهد. در اين تركيب بندي توربين گازي نقش اصلي را در توليد توان الكـتريكي در نيروگـاه سيكل تركيبي ايفا مي كند(24).



شكل 1: پيكربندي استاندارد نيروگاه سيكل تركيبي

2. **سيكل با هواي اضافي (يا تركيب بندي جعبـه هـواي گـرم)** (شـكل 2): در اين مورد گازهاي خروجي از اگزوز توربين گـازي هـواي مـورد نيـاز بـراي محفظـه ي احـتراق بويلر را فـراهم مي نماينـد. در اين مـورد قسـمت اصـلي توليـد تـوان در نيروگـاه سـيكل تركيبي توربين بخار 80 تا 85 درصد می باشد(15).



شكل 2: پيكربندي نيروگاه سيكل تركيبي با هواي تزريقي

3. **سيكل تركيبي با بويلر احتراقي الحاقي**: به جزء بازيافت گرما از گازهاي خـروجي توربين گازي (مانند تركيب بندي استاندارد) يـك منبـع احـتراقي ديگـر بـه نـام بـويلر بـراي افزايش ميزان بخار استفاده مي شود. بازده الكتريكي در اين حالت در مقايسه بـا حـالت استاندارد ممكن اسـت پـايين تـر باشـد، امـا اين نـوع تـركيب بنـدي اسـتفاده از سـوختي نامشابه با سوخت توربين گازي را در بويلر فراهم مي سازد. سهمي را كه هر قسمت در توليد توان الكتريكي در اين نوع از نيروگاه هاي سيكل تركيبي به خود اختصـاص مي دهـد

به ميزان گرمايي كه در هـر قسـمت (قسـمت گـازي و قسـمت بخـاري) توليـد مي شـود وابسته است.

علاوه بر تركيب بندي هاي فـوق، سـاختار تـأثير معكـوس نـيز ممكن اسـت مطـرح گـردد. در اين تركيب بندي گرما از قسمت بخار به قسمت گاز شارش مي يابد. در اين تركيب بندي يـا سـاختار توربين بخار نقش اصلي را در توليد توان الكتريكي ايفا مي نمايد(8).

با توجه به نیاز مبرم برق در صنایع مختلف و اهمیت توسعه پایدار در کشورهای درحـال توسـعه و با توجه به اینکه نیروگاه ها از جمله زیرساختهای مهم توسعه اقتصادی محسـوب می شـوند و در اکنون پروژه های نیروگاهی بالای در کشـور در دسـت اجـرا هسـتند. بـه دلایـل مختلـف، از قبیـل پیچیدگی فنی، نیاز به منابع مالی و ارزی شایان توجه، نیـاز بـه تجهـیزات خـاص و همبسـتگی بین فازهای مختلف، این پروژه ها در معرض ریسک های متعدد قـرار دارنـد. بنـابراین مـدیریت مـؤثر ریسک، یکی از الزامات نیروگاهی می باشـد. از سـوی دیگـر هنـوز پایینبودهـای قابـل تـوجهی در حوزه ارزیابی و انتخـاب اقـدامات کـاهش ریسـک پـروژه هـا وجـود دارد(5). بیشـتر پـروژه هـای نیروگاهی، در یک محیط پویا و پیچیده اجرا می شوند. به طوریکه عـدم اطمینـان و ریسـک، جـزء ویژگی های ذاتی آنها بـه شـمار می رود. این عـدم اطمینـان سـبب می شـود کـه در رسـیدن بـه اهداف از پیش تعیین شده (زمان، هزینـه، کیفیت و...) پـروژه هـا مـوفقیت قابـل تـوجهی کسـب نکنند. اصولا ریسک به شرایط یا وضعیتی احتمالی اطلاق می شود که در صورت بـروز می توانـد یـک پـــروژه را از رسـیدن بـه اهـدافش بـاز دارد. در واقـــع مـــدیریت ریـــسک شـــامل انجـــام فرآینـدهایی بـه منظـور شناسـایی ارزیابی ریسک هـایی اسـت کـه پـروژه بـا آن مواجـه اسـت و همچنین تدوین برنامه هـایی بـرای پاسخگویی، کنترل نظـارت است. بنـابراین لـزوم پیشـگیری از بروز حوادث، یک ضرورت برای بقای سازمان ها و واحدهای صنعتی از جمله نیروگاه ها محسوب می شود که این امر مستلزم شناسایی علل حوادث قبل از بالفعل درآمدن آنها اسـت کـه امـروز در قالب رویکرد ارزیابی و مدیریت ریسک مورد توجه قرار گرفته است(25).

لذا، می توان گفت بدون شک امروزه توجه روز افـزونی نسـبت بـه مقولـه ریسـک و روش هـای مبتنی بر ریسک جهت تدوین استراتژی هـای بازرسـی، نگهـداری و مـدیریت در صـنایع نیروگـاهی سراسر جهان از جمله ایران به وجود آمده است. تکنولوژی بازرسی بر مبنای ریسک به صـاحبان صنعت این توانایی را می دهد تا محدوده ای از فاکتورهای کلیـدی، نظـیر در نظـر گـرفتن سـطح قابلیت اعتماد بـه تجهـیزات، و همچـنین ایمـنی، بهداشـت و محیـط زیست[5] و مسـائل مـالی را در فرآیندهای تصمیم گیری خود در نظر داشته باشند(21).

مدیریت سیستم ایمنی، بهداشت، و محیط زیست روشی برای ارائـه یـک اسـتاندارد کـاری بهینـه همراه با روشهای تشخیص، ارزیـابی، کنـترل ویـا از بین بـردن تهدیـدات در محـل کـار اسـت. بـه عبارت دیگر، هسته اصلی هر سیستم ایمـنی و بهداشـت حرفـه ای، شناسـایی و ارزیـابی ریسـک است(11). در اینجا است که واژه ریسک به معنی عدم قطعیت و نشانگر احتمال وقوع با شدتی مشخص ظهور می یابد. نتیجه ازریابی ریسک تعیین میک ند که با وقوع هر خطر چه خسـارتی بـر سیستم تحمیل می شود و چه پیامدهای زیست محیطی را در بر خواهد داشت. سازمان بهداشت جهانی ریسک را شامل احتمالی از حادثه و پیامدهای آن می داند(6). ارزیابی ریسـک یـک فراینـد

[5] Health, Safety and Environment (HSE)

سیستماتیک برای اندازه گیری خطرات پایینی و کیفی مرتبط با مواد، فرآیندها، اقدامات و یا حوادث خطرناک در افراد، مواد، تجهیزات و محیط زیست است. رویکردهای ارزیابی ریسک بسیاری وجود دارد، اما یک روش ارزیابی مفید باید متناسب با ماهیت فعالیتها، فرایندها، فرهنگ و سایر جنبه های سازمان مورد نظر باشد(31).

واحد HSE مسئول و عهده دار کلیه مسائل مربوط به بهداشت حرفه ای، صنعتی و محیط، ایمنی و آتش نشانی و محیط زیست می باشد. فلسفه HSE در صنایع نیروگاهی، درراستای توسعه پایدار، حفظ و صیانت انسان از طریق نگرشی سیستماتیک و درارتباط با عوامل مختلف بهداشت حرفه ای، ایمنی و محیط زیست صنعت نیروگاهی، در زندگی انسان رشد و توسعه همه جانبه کشور اهمیت ویژه ای را ایفا می کند(10).

به منظور ارزیابی یکپارچگی عملکردHSE ، با توجه به اینکه مدل های ارزیابی عملکرد گوناگونی در دسترس سازمانها قرار دارد، اما هرکدام از این مدلها از دیدگاه صاحبنظران دارای نقاط قوت و ضعف می باشد. که بهبود سازمانی، افزایش انطباق با الزامات قانونی، افزایش اثربخشی فرآیندهای کاری، کاهش حوادث و ارتقا سطح رضایت شغلی و اعتبار صنفی را به همراه دارد. تفاوت عمده این مدلها، در دامنه و تعداد معیارهایی ا ست که در نظر گرفته شد هاند؛ در حقیقت از نظر مفهومی تفاوت چندانی ندارند و از طرفی ارزیابی عملکرد HSE در کشورهای در حال توسعه تنها بر اساس تعداد حوادث رخ داده انجام می شود و در مدل های ارائه شده پایینتر از شاخص های کیفی استفاده می شود(28)

لذا از آنجا که نیروگاه ها از مهمترین زیرساختهای توسعه ی اقتصادی محسوب می شوند که با پیشرفتهای فنی و پیچیده شدن تکنولوژی، در معرض خطرات و حوادث متعدد قرار می گیرند، ارائه راهکاری که با وجود عدم اطمینان ها، ابهامات و با ترکیب اطلاعات، بتواند خطرات را مورد شناسایی، ارزیابی و رتبه بندی قرار دهد، در کنترل و کاهش حوادث شغلی مؤثر می باشد. شناسایی خطرات و ریسک های مرتبط با عملیات نیروگاه و همچنین به روز بودن و بالندگی روند و کیفیت شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک ها قادراست به ارتقای سطح ایمنی گازی پایینک های قابل توجهی نماید. استقرار چنین سیستمی بمنظور شناسایی، ارزیابی و مدیریت ریسک عملیات نیروگاه های سیکل ترکیبی می تواند در ارتقای ایمنی و کاهش بروز حوادث و کاهش دامنه حوادث به وقوع پیوسته پس از رخ دادن آنها، نقش بسزایی ایفا نماید. با بررسی ادبیات تحقیق و پژوهش های گذشته، بیشترین و مهم ترین خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی در به شرح زیر است:

1. خطرات آتش سوزی و انفجار
2. خطرات برق گرفتگی
3. خطرات پاتوبیولوژیك
4. خطرات روانی محیط کار
5. خطرات سقوط از ارتفاع
6. خطرات بروز بيماريهاي تنفسي و چشمي
7. خطرات انتشار ذرات معلق سمي
8. خطرات انتشار گاز سمی

9. خطرات نقص در سیستم ها
10. خطرات عدم بازدید هاي روتين از تاسيسات
11. سقوط در سطح همتراز
12. خطرات صاعقه و رعد و برق
13.

مدل تحلیل پوششی داده های فازی

تحليل پوششي داده ها براي اولين بار توسط چارنز، كوپر و رودز در سال 1978 ارايه شد و كارايي نسبي واحدهايي (DMU) كه داراي ورودي ها و خروجي هاي مشابه هستند، اندازه گيري می كند و براساس اين كارايي، واحدها با عملكرد كارا و با عملكرد ناكارا را مشخص مي كند. لذا می توان گفت هدف مدل DEA تعيين كارايي واحدهاي مختلف براساس ميزان خروجي هاي توليدي آنها در برابر ميزان ورودي هاي مصرفي است. سادگي فهم و اجراي روش تحليل پوششي داده ها و در كنار آن دقت بالا و كاربرد وسيع آن در زمينه هاي مختلف سياسي، فرهنگي، اجتماعي و اقتصادي باعث شده است پژوهشگران زيادي از اين روش براي دست يافتن به اهداف خود استفاده كنند. اما عمده اين پژوهشها بر روي مدل هاي DEA يك هدفه در محيط ايستا تمركز دارد كه در آن داده ها مشخص بوده و در طول دوره ارزيابي عملكرد ثابت باقي مي مانند. در مدلهاي DEA يك هدفه تنها يك جنبه از كارايي (افزايش در ميزان خروجي ها يا كاهش در ميزان ورودي ها) در هر مدل مورد بررسي قرار مي گيرد و همچنين در اين مدل ها امكان اعمال علايق و نظرهاي تصميم گيرنده (DM) در نتايج مدل ها وجود ندارد. امروزه مدلهاي DEA چند هدفه سعي دارد اهداف متعددي را به طور همزمان مورد توجه قرار داده و امكان بررسي كارايي واحدهاي مختلف از جنبه هاي ديگر با استفاده از داده هاي كمي، كيفي و همچنين اعمال نظرهاي DM در نتايج مدل ميسر نمايد(2).

در شرایطی که مقدار ورودی و خروجی دارای عدم اطمینان است، مدل تحلیل پوششی داده ها با مشکل مواجه می شود و نیاز است از روش دیگری استفاده شود که توانایی محافظت جواب های بهینه را در مقابل عدم قطعیت داشته باشد. به منظور غلبه بر این مشکل، در سال های اخیر پژوهشگران مدل تحلیل پوششی داده های فازی را ارائه کردند که نسبت به مدل تحلیل پوششی داده ها، کارآمدتر است(20). زیرا در این حالت تصمیم گیرنده می تواند درجات متفاوتی از اشتباهات اندازه گیری (سطوح احتمالی) را در محاسبه درجه اهمیت در نظر بگیرد(18). در مدل فازی تحلیل پوششی داده ها، داده ها در یک بازه با یک کران بالا و پایین بیان شده و به همین نحو، جواب های بدست آمده نیز در یک بازه بیان خواهند شد. کران های پایین و بالا در اعداد فازی مثلی با استفاده از روش برش آلفا[6] محاسبه می شوند (14 ؛ 26).

اگر برد $\{0,1\}$ را به بازه بسته $[0,1]$ تبديل كنيم، مجموعه كلاسيك به مجموعه فازي تبديل مي شود. به عبارتي مفروض بر مجموعه جهاني U، مجموعه فازي AدرU به شكل زير تعريف مي شود:

[6] $\alpha - cut$

رابطه (1)

$$A:U\to[0,1]$$
$$A(U)\in[0,1]$$

$A(U)$ تابع عضویت نامیده مي شود و میزان درجه عضویت A به U را نشان می دهد(9).

برش α

برش α مجموعه فازی A که با A_α نمایش می دهیم، یک مجموعه غیرفازي اسـت و بـراي هـر α در بازه بسته $[0,1]$ برابر است با (9):

رابطه (2)

$$A_\alpha=\{x\in U\vee A(x)\geq\alpha\}$$

عدد فازي مثلثي

عدد فازي مثلثي (l,m,u) یک فاصله فازی است که تابع عضویت آن $A(x)$:

1. يك نگاشت پیوسته از R به فاصله بسته $[0,w]$ و $0<w\leq1$
2. در فاصله $[-\infty,l]$ ثابت و برابر با صفر
3. در فاصله $[l,m]$ اکیدا صعودی
4. در فاصله $[m,u]$ اکیدا نزولی
5. در فاصله $[u,+\infty]$ ثابت و برابر با صفر است.

m : ارزش مرکزی

l : حد پایین

u : حد بالا

هستند.

طبق مدل نسبت کارايي (CCR) کارايي حاصل مجموع موزون خـروجي هـا بـه مجمـوع مـوزون ورودي ها است. محاسبه این نسبت براي هر واحد سازماني (j) که m دارای ورودی و sخـروجی است، از رابطه زیر بدست می آید:

رابطه (1)

$$Max\,Z_0=\frac{\sum_{r=1}^{s}u_r y_{r0}}{\sum_{i=1}^{m}v_i x_{i0}}$$

$s.t:$

$$\frac{\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj}}{\sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij}} \leq 1$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

به طوری که:

x_{ij} میزان ورودی i ام واحد j ام $(i=1,...,m)$

y_{rj} میزان خروجی r ام واحد j ام $(r=1,...,s)$

u_r وزن خروجی r ام

v_i وزن ورودی i ام

تعداد واحدهای مورد بررسی نیز از: $j=0,...,n$ است.

مدل مذکور چون يك مدل برنامه ريزي كسري است با دو بار تغيير متغير به يك مدل برنامه ريزي خطي تبديل مي شود. در مدل هاي اين روش براي افزايش كارايي يا ورودي را ثابت و خروجي را حداكثر مي كنيم و يا خروجي را ثابت و ورودي را حداقل مي كنيم. بر اين اساس مدل هاي تحليل پوششي داده ها را ورودي محور يا خروجي محور مي نامند. بنابراين يك مدل مضربی CCR ورودي محور بصورت زير خواهد بود:

رابطه (2)

$$Max\, Z_0 = \sum_{r=1}^{s} u_r y_{r0}$$

$s.t:$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i x_{i0} = 1$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r y_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i x_{ij} \leq 0$$

$$u_r, v_i \geq 0$$

با ساخت مدل CCR براي هر واحد مورد بررسي و محاسبه كارايي آن مي توان واحدهاي كارا و ناكارا را مشخص و هر يك را بر حسب ميزان كارايي آنها رتبه بندي كرد. البته در مدل فوق با

توجه به اینکه u_r و v_i ممکن است مقادیر صفر بگیرند و لذا اهمیت ورودي ها یا خروج يهاي مزبور در تعيين كارايي مورد توجه قرار نگيرد، معمولاً مقادير آنها را بزرگتر از يك مقـدار بسـيار كوچـك (مانند ε) در نظر مي گيرند و آن را مدل اصلاح شده CCR ورودي محور مي نامند.

مدل برنامـه ريـزي رياضي تحليل پوششي داده ها (روش CCR):

مدل برنامـه ريـزي رياضي تحليل پوششي داده هاي فازي به شرح زير است:

$$Max \sum_{r=1}^{s} u_r \tilde{y}_{r0}$$ رابطه (3)

$$s.t:$$

$$\sum_{i=1}^{m} v_i \tilde{x}_{i0} = (1,1,1)$$

$$\sum_{r=1}^{s} u_r \tilde{y}_{rj} - \sum_{i=1}^{m} v_i \tilde{x}_{ij} \le 0$$

$$u_r, v_i \ge \varepsilon$$

$\tilde{x}_{ij}$ و$\tilde{y}_{rj}$ ورودی ها و خروجی های مدل هستند که به صورت اعداد فازی مثلثی در نظر گرفتـه می شوند:

$$\tilde{y}_{rj} = (y_{rj}^{l}, y_{rj}^{m}, y_{rj}^{u})$$ رابطه (4)

$$¿(x_{ij}^{l}, x_{ij}^{m}, x_{ij}^{u})\ \tilde{x}_{ij}$$ رابطه (5)

x_{ij}^{l} و y_{rj}^{l} حدود پایین، x_{ij}^{u} و y_{rj}^{u} حدود بالا و x_{ij}^{m} و y_{rj}^{m} حـدود وسـط را نماینـدگی می کننـد. بنـابراین خواهیم داشت:

$$Max \sum_{r=1}^{s} (y_{rj}^{l}, y_{rj}^{m}, y_{rj}^{u}) u_r$$ رابطه (6)

$$s.\ t:$$

$$\sum_{i=1}^{m} (x¿¿ij^{l}, x_{ij}^{m}, x_{ij}^{u}¿) v_i = (1,1,1)¿¿$$

$$\sum_{r=1}^{s}(y_{rj}^{l},y_{rj}^{m},y_{rj}^{u})u_r-\sum_{i=1}^{m}(x¿¿ij^{l},x_{ij}^{m},x_{ij}^{u}¿)v_i\le 0¿¿$$

$$u_r,v_i\ge\varepsilon$$

با محاسبه برش هاي α تـابع هـدف و محـدوديت هـا، مـدل برنامـه ريـزي غـيرخطي (ضـرايب بـه صورت بازه تعريف شده اند) زير بدست می آيد:

$$Max\sum_{r=1}^{s}[y_{rj}^{m}+(1-\alpha)y_{rj}^{l},\alpha y_{rj}^{m}+(1-\alpha)y_{rj}^{u}]u_r$$ رابطه (7)

$$s.t:$$

$$\sum_{i=1}^{m}[\alpha x_{ij}^{m}+(1-\alpha)x_{ij}^{l},\alpha x_{ij}^{m}+(1-\alpha)x_{ij}^{u}]v_i=(1,1,1)$$

$$\sum_{r=1}^{s}[y_{rj}^{m}+(1-\alpha)y_{rj}^{l},\alpha y_{rj}^{m}+(1-\alpha)y_{rj}^{u}]u_r-\sum_{i=1}^{m}[\alpha x_{ij}^{m}+(1-\alpha)x_{ij}^{l},\alpha x_{ij}^{m}+(1-\alpha)x_{ij}^{u}]v_i\le 0$$

$$u_r,v_i\ge\varepsilon$$

یافته های تحقیق

در اين پژوهش به منظور محاسبه درجـه اهميت داده هـای فـازی، از مـدل تحليـل پوششـی داده های فازی مطابق رابطه (8) استفاده می نماييم (7):

$$max\ z^{l}=\sum_{i=1}^{n}u_i*y_{ir}^{l}$$ رابطه (8)

$$\sum_{i=1}^{n}v_i*x_{ir}^{u}=1$$

$$\sum_{i=1}^{n}u_i*y_{ij}^{u}-\sum_{i=1}^{n}v_i*x_{ij}^{l}\le 0$$

$$u_i,v_i\ge 0$$

$$max\ z^{m}=\sum_{i=1}^{n}u_i*y_{ir}^{m}$$

$$\sum_{i=1}^{n} v_i * x_{ir}^{m} = 1$$

$$\sum_{i=1}^{n} u_i * y_{ij}^{u} - \sum_{i=1}^{n} v_i * x_{ij}^{l} \leq 0$$

$$u_i, v_i \geq 0$$

$$max\, z^{u} = \sum_{i=1}^{n} u_i * y_{ir}^{u}$$

$$\sum_{i=1}^{n} v_i * x_{ir}^{l} = 1$$

$$\sum_{i=1}^{n} u_i * y_{ij}^{u} - \sum_{i=1}^{n} v_i * x_{ij}^{l} \leq 0$$

$$u_i, v_i \geq 0$$

پژوهش حاضر، به شکل زیر انجام می شود:

گام اول: بررسی ادبیات تحقیق و شناسایی ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی

گام دوم: تعیین ورودی ها و خروجی ها

گام سوم: ارسال پرسشنامه برای خبرگان به منظور تعیین جزئیات میزان خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی

گام چهارم: بکارگیری رویکرد تحلیل پوششی داده ها و اولویت بندی خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی

متغیرهای تحقیق

ورودی: ورودی های این پژوهش 3 حالت وقوع در سطح ایستگاه کاری، وقوع در سطح یک واحد یا فعالیت کارگاهی و وقوع در سطح چند واحد یا فعالیت از کارگاه هستند.

خروجی: خروجی های این پژوهش 2 عامل شدت تکرار خطر و میزان شدت جراحت خطر اجرا می باشد.

درجه اهمیت: درجه اهمیت برابر است با نسبت خروجي بـه ورودي. در روش تحليـل پوششـي داده ها از كارايي نسبي جهت ارزيابي استفاده می شود.

رابطه (9) $\text{درجه اهمیت} = \frac{\text{خروجی}}{\text{ورودی}}$

برای هر یک از خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی، بـر اسـاس نظـر خبرگان، به صورت توافقی، مقادیر هر یک از شاخص های در جدول 1 تعیین شده است.

جدول 1: مقادیر کلامی خطرات و ریسک ها های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی

ردیف	خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی	وقوع در سطح ایستگاه کاری	وقوع در سطح یک واحد یا فعالیت کارگاهی	وقوع در سطح چند واحد یا فعالیت از کارگاه	شدت تکرار	شدت جراحت
1	خطرات آتش سوزی و انفجار	متوسط	متوسط	بالا	متوسط	خیلی بالا
2	خطرات برق گرفتگی	پایین	نسبتا پایین	نسبتا پایین	بالا	بالا
3	خطرات پاتوبیولوژیك	نسبتا پایین	پایین	پایین	بالا	متوسط
4	خطرات روانی محیط کار	خیلی پایین	خیلی پایین	پایین	خیلی پایین	خیلی پایین
5	خطرات سقوط از ارتفاع	متوسط	بالا	متوسط	بالا	بالا
6	خطرات بروز بیماریهاي تنفسي و چشمي	پایین	پایین	خیلی پایین	پایین	خیلی پایین

7	خطرات انتشار ذرات معلق سمي	متوسط	متوسط	نسبتا پایین	پایین	خیلی پایین
8	خطرات انتشار گاز سمی	متوسط	متوسط	نسبتا پایین	خیلی پایین	پایین
9	خطرات نقص در سیستم ها	متوسط	متوسط	متوسط	نسبتا بالا	نسبتا بالا
10	خطرات عدم بازدید هاي روتين از تاسیسات	نسبتا پایین	متوسط	نسبتا پایین	نسبتا بالا	متوسط
11	سقوط در سطح همتراز	خیلی پایین	خیلی پایین	پایین	خیلی پایین	پایین
12	خطرات صاعقه و رعد و برق	متوسط	نسبتا بالا	متوسط	نسبتا بالا	متوسط

نتایج پژوهش ها نشان داده است که تابع عضویت فازی قادر است اهمیت نسبی واژه های کلامی را در ذهن نشان دهند (17). لذا می توان برای تبدیل عقاید کلامی به عددی، از رویکرد تابع عضویت فازی در مقیاس فاصله ای استفاده نمود(21). مطابق جدول 2 می توان مقیاس ها و متغیرهای کلامی را به اعداد فازی تبدیل کرد.

جدول 2: تبدیل متغیرهای کلامی مربوط به شاخص ها به اعداد فازی

خیلی پایین	(0 1 1)
پایین	(0 1 3)
نسبتا پایین	(1 3 5)
متوسط	(3 5 7)
نسبتا بالا	(5 7 9)
بالا	(7 9 10)
خیلی بالا	(9 9 10)

با توجه به این که نظرات خبرگان در شاخص های مورد بررسی به صورت کلامی است، با توجه به جدول 2، متغیرهای کلامی را به اعداد فازی تبدیل می کنیم. نتایج در جدول شماره 3 نشان داده شده است.

جدول 3: مقادیر عددی شاخص ها

ردیف	**خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی**	وقوع در سطح ایستگاه کاری	وقوع در سطح یک واحد یا فعالیت کارگاهی	وقوع در سطح چند واحد یا فعالیت از کارگاه	شدت تکرار	شدت جراحت
1	خطرات آتش سوزی و انفجار	(3 5 7)	(3 5 7)	(7 9 10)	(3 5 7)	(9 10) (9)
2	خطرات برق گرفتگی	(0 1 3)	(1 3 5)	(1 3 5)	(7 9 10)	(7 9 10)
3	خطرات پاتوبیولوژیك	(1 3 5)	(0 1 3)	(0 1 3)	(7 9 10)	(3 5 7)
4	خطرات روانی محیط کار	(0 1 1)	(0 1 1)	(0 1 3)	(0 1 1)	(0 1 1)
5	خطرات سقوط از ارتفاع	(3 5 7)	(7 9 10)	(3 5 7)	(7 9 10)	(7 9 10)
6	خطرات بروز بیماریهاي تنفسي و چشمي	(0 1 3)	(0 1 3)	(0 1 1)	(0 1 3)	(0 1 1)
7	خطرات انتشار ذرات معلق سمي	(3 5 7)	(3 5 7)	(1 3 5)	(0 1 3)	(0 1 1)
8	خطرات انتشار گاز سمی	(3 5 7)	(3 5 7)	(1 3 5)	(0 1 1)	(0 1 3)
9	خطرات نقص در سیستم ها	(3 5 7)	(3 5 7)	(3 5 7)	(5 7 9)	(5 7 9)
10	خطرات عدم بازدید هاي روتين از تاسيسات	(1 3 5)	(3 5 7)	(1 3 5)	(5 7 9)	(3 5 7)
11	سقوط در سطح همتراز	(0 1 1)	(0 1 1)	(0 1 3)	(0 1 1)	(0 1 3)
12	خطرات صاعقه و رعد و برق	(5 7 9)	(7 9 7)	(5 7 7)	(7 9 9)	(5 7 7)

		(3	(5	(3	(5	(3

با اجرای مدل تحلیل پوششی داده های فازیال مقادیر درجه اهمیت هر یک از خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی دارای سه حد پایین، متوسط و بالا خواهد بود که در جدول 4 نشان داده شده است. درجه اهمیت هر روش برابر است با یک به روی مقدار تابع هدف.

جدول 4: مقادیر درجه اهمیت هر یک از خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی

ردیف	**خطرات و ریسک های HSE موجود نیروگاه های سیکل ترکیبی**	حد پایین	حد متوسط	حد بالا	حد پایین	حد متوسط	حد بالا	رتبه
1	خطرات آتش سوزی و انفجار	1.05	1.65	2.53	0.37	0.72	1	1
2	خطرات برق گرفتگی	1	1.63	2.44	0.35	0.64	1	4
3	خطرات پاتوبیولوژیك	1	1.45	2.32	0.41	0.68	1	3
4	خطرات روانی محیط کار	1.46	2.2	2.66	0.27	0.41	0.68	12
5	خطرات سقوط از ارتفاع	1	1.61	2.5	0.34	0.61	1	2
6	خطرات بروز بيماريهاي تنفسي و چشمي	1.18	2.95	2.57	0.18	0.34	0.9	10
7	خطرات انتشار ذرات معلق سمي	1.29	1.74	2.8	0.32	0.5	0.77	8
8	خطرات انتشار گاز سمی	1.35	1.83	2.6	0.38	0.54	0.74	9
9	خطرات نقص در سیستم ها	1.18	1.74	2.73	0.34	0.54	0.91	6
10	خطرات عدم بازديد هاي روتين از	1.1	1.8	3.57	0.2	0.5	0.9	7

	تاسیسات	4	3		8	2	1	
11	سقوط در سطح همتراز	1.26	1.92	3.12	0.29	0.51	0.75	11
12	خطرات صاعقه و رعد و برق	1.1	1.7	2.78	0.41	0.65	0.9	5

بحث و نتیجه گیری

امروزه، سازمانها در حال ایجاد و پیروی از قوانین و مقررات در سراسر جهان برای ایجاد یک محل کار امن و سالم هستند(19). خطرات تقریباً در همه جا مانند نیروگاه ها وجود دارد. متأسفانه، بیشتر اوقات تا زمان وقوع حادثه شناسایی نمی شوند. بنابراین، شناسایی خطرات و کاهش خطر به عنوان اقدامات پیشگیرانه از اقدامات اولیه مهم است(14). آخرین آمار جهانی ILO [7] نشان می دهد که سالانه 2.3 میلیون نفر بر اثر جراحات ناشی از کار جان خود را از دست می دهند. آنها همچنین هزینه های بالای را برای مشاغل متحمل می شوند. علاوه بر موارد دیگری که این حوادث برای کارمندان و خانواده های آنها ایجاد میکند. این خسارات شامل جبران خسارت، روزهای کاری از دست رفته، توقف تولید، آموزش و همچنین هزینه های مراقبت های بهداشتی است که سالانه حدود 3.94% از تولید ناخالص داخلی جهان را پوشش می دهد(19). حوادث صنعتی ناشی از خطرات احتمالی است که می تواند عواقب منفی مختلفی را در شرایط مختلف ایجاد کند. خطرات مختلف در محل کار دارای سطوح مختلفی از خطر است و به عنوان یک اصل پذیرفته شده، حذف خطرات در صنعت تقریباً غیرممکن است. در عوض، راه حل کاهش تصادفات و خسارات مدیریت و کنترل خطر خطرات است.

تراب و دشتی (1400) در پژوهشی به ارزیابی ریسک ایمنی – بهداشتی و محیط زیستی در نیروگاه سیکل ترکیبی سمنگان با استفاده از روش تلفیقی FMEA & SAW پرداختند. این تحقیق به منظور شناسایی جنبهها و ریسکهای بارز ایمنی، بهداشت و محیطزیستی در نیروگاه سیکل ترکیبی سمنگان در سال 1398 انجام پذیرفت. بدین منظور از روشAHP برای رتبهبندی ریسکها و از روشFMEA برای سطحبندی ریسکها و از روشSAW برای رتبهبندی ریسکها استفاده شد و در انتها هم رتبهبندی به روشFMEA&SAW به انجام رسید. با توجه به نتایج حاصل از روش AHP در بین معیارهای اصلی بیشترین وزن مربوط به معیار حوادث غیرمترقبه با وزن 403/0 میباشد. نتایج روش FMEA نشان داد،که ریسک انفجار و آتشسوزی با600 RPN در سطح ریسک غیرقابل تحمل قرار دارد.در رتبهبندی با روشSAW نیز انفجار و آتشسوزی، زلزله، رعد و برق و خطای انسانی در اولویتهای اول این رتبهبندی قرار گرفتند. همچنین اولویتبندی ریسکها براساس مدل FMEA&SAW نیز نشان داد،که ریسکهای انفجار و آتشسوزی، زلزله، خطای انسانی، رعد و برق و نقص در سیستمها در 5 اولویت اول رتبهبندی قرار دارند .روش

[7] International Labour Organization

ترکیبی پیشنهادی موثر به نظر میرسد و می تواند به تصمیمگیری علمی بیشتر کمک کند. به-کارگیری این روش تحلیل صحیحتری از ریسک فراهم میکند که در متعاقب آن، اقدامات کارا و اثربخشتر موجب دستیابی و حفظ درجه اطمینان مطلوبتری خواهند شد(1).

حبیبی و امینی نسب (1399) در پژوهشی به ارزیابی ریسك ایمنی نیروگاه سیکل ترکیبی به روش HAZOP پرداختند. در این پژوهش قسمتهاي مشخصي از نیروگاه خرمشهر مانند واحدهاي بهره برداري بخار، بهره برداري شیمي، بهره برداري الکتریکي، تعمیرات،نظارت و انبارها به روش HAZOP مورد ارزیابي قرار گرفتند. این روش علاوه بر مخاطرات، احتمال رخداد یك فاجعه را نیز مشخص مي کند. در این روش ابتدا شرح مفصلي از فرآیند تهیه و سپس سیستم به واحدهاب مطالعاتي کوچکتر به نانگروه تقسیم شده و در هر واحد مطالعاتي بطور سیستماتیك سوالاتي پرسیده مي شود تا مشخص گرد که چه انحرافاتي با استفاده از لغات راهنما انجام شد و به دنبال آن علل و پیامدهاي هر انحراف مشخص مي گردد. بر اساس یافته ها تجزیه و تحلیل حاصل از ارزیابي واحدها، واحد انبارهاي نیروگاه وضعیت اضطراري و خطر بالا را در اکثر فعالیت ها نشانمي دهد که از همه مهمتر مي توان به آلودگي آب و خاك، آلودگي هوا ناشي از پراکنده شدن ذرات آزبست و آسیب بهانسان اشاره نمود(4).

ذگری و همکاران (1390) در پژوهشی به ارزیابی و انتخاب پاسخ های خطر پذیری سطح (ریسک پروژه) از طریق یک مدل بهینه سازی چند هدفه و رویکرد اولویت بندی فازی (مطالعه موردی : نیروگاه سیکل ترکیبی آبادان) پرداختند. در این پژوهش اشاره گردید بررسی ادبیات موضوع نشان می دهد هنوز کمبود های قابل توجهی در حوزه ارزیابی و انتخاب اقدامات کاهش ریسک پروژه ها وجود دارد. مطالعات مربوطه عمدتا مدل های مفهومی هستند که شامل بررسی کلی تاثیرات عدم اطمینان بر پروژه ها و تعیین استراتژی هایی برای کاهش سطح ریسک می باشند. به منظور رفع کاستی های مذکور، در این مقاله یک چارچوب عملی پیشنهاد می شود که ساختار شکست کار، رخدادهای ریسک، اقدامات کاهش ریسک، ریسک های ثانویه و تاثیرات آنها را بطور یکپارچه بررسی می نماید. مساله در قالب یک مدل بهینه سازی چندهدفه مدلسازی گردیده و ضرایب تابع هدف مربوطه از طریق رویکرد اولویت بندی فازی تعیین شده است. جهت حل مدل، روش های دقیق و ابتکاری پیشنهاد گردیده است. علاوه بر این، به منظور اعتبارسنجی مدل، یک مطالعه موردی در پروژه های نیروگاهی ایران انجام شد. بر اساس نتایج کسب شده، مدل پیشنهادی منجر به بهبود قابل توجه زمان، هزینه و کیفیت پروژه می شود(5).

جوزی و علیدوستی (1389) در پژوهشی به ارزیابی ریسک ایمنی فعالیت واحد سیکل ترکیبی – بویلر نیروگاه برق منتظر القائم به روش FMEA پرداختند. این تحقیق با هدف شناسایی و ارزیابی ریسک ایمنی و فرآیند نیروگاه برق منتظر ا لقائم در واحد سیکل ترکیبی-بویلر در تاریخ مهر ماه سال 1388 لغایت اردیبهشت ماه سال 1389 به انجام رسید. بدین منظور بعد از شناسایی فعالیت ها در واحد مذکور از روش تجزیه و تحلیل حالات شکست و اثرات بر فرآیند (PFMEA)ـ جهت ارزیابی ریسک بهره گیری شد. نتایج این مطالعه نشان داد که عدد اولویت ریسک (RPN)ـ در واحد بویلر مربوط به محل قرار گیری تجهیزاتی مانند اکونومایزر- هیتر بین 8 تا 10 و عدد اولویت ریسک دستگاه بریکر بین 6 تا 10 پیش بینی می گردد. مستهلک بودن تجهیزات و قرارگیری آنها در ارتفاعات بسیار بالا و ایمن نبودن مسیر دسترسی به آنها باعث بالا

رفتن عدد اولویت ریسک در اولویت نخست و بروز خطای انسانی عامل اصلی بروز مخاطرات ایمنی در این واحد صنعتی شناخته می شود(3).

نتایج پژوهش حاضر نیز نشان داد خطرات آتش سوزی، خطرات سقوط از ارتفاع، خطرات پاتولوژیک، خطرات برق گرفتگی از جمله مهم ترین ریسک های HSE در نیروگاه سیکل ترکیبی هستند.

منابع

1. ص. تراب، س. دشتی (1400)، ارزیابی ریسک ایمنی – بهداشتی و محیط زیستی در نیروگاه سیکل ترکیبی سمنگان با استفاده از روش تلفیقی FMEA & SAW. سد و نیروگاه برق آبی ایران، دوره 8، شماره 31، صص 28-16.
2. ا ر. جعفريان مقدم، ک. قصیری (1389)، مدل پوياي چند هدفه تحليل پوششي داده هاي فازي، مديريت صنعتي، دوره 2 ، شماره 4، صص 36-19.
3. س. ع. جوزی، ف. علیدوستی (1389)، ارزیابی ریسک ایمنی فعالیت واحد سیکل ترکیبی- بویلر نیروگاه برق منتظر القائم به روش FMEA، چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، تهران.
4. ا. حبیبی، ا. س. امینی نسب (1399)، ارزیابی ریسك ایمنی نیروگاه سیکل ترکیبی به روش HAZOP، سومین همایش بین المللی توسعه فناوری در نفت، گاز، پالایش و پتروشیمی،تهران،
5. س.ح. ذگردي، ن. ا. رضايي، ا. نظري، ف. هنري چوبر (1390)، ارائه مدلي براي کاهش ريسک پروژه هاي نيروگاهي بر اساس رويکرد بهينه سازي چند هدفه و فرايند تحليل سلسله مراتبي فازي، نشريه مطالعات اقتصاد انرژي، دوره 8، شماره 31.
6. ن. شاه حسینی (1397)، شناسایی و رتبه بندی ریسکهای HSE در پروژه‌های صنایع دریایی با استفاده از رویکرد تصمیم گیری چند معیاره خاکستری. دانشکده ارشاد دماوند.
7. م. ح. طحاري مهرجردي، ع. مروتي شريف آبادي، ح. بابايي ميبدي، م. زارعي محمودآبادي (1391)، کاربرد متدلوژي ترکيبي تحليل پوششي داده ها و ماتريس درجه ترجيح درارزيابي واحدهاي تصميم بارويکردفازي، مجله تحقيق در عمليات و کاربردهاي آن، دوره 9، شماره 1، پياپی 32، صص 34-21.
8. م. گل صنم لو (1388)، طراحی کنترل مقاوم نیروگاه سیکل ترکیبی، پایان نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی برق کنترل، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، دانشکده برق و کامپیوتر.
9. م. ب. منهاج (1385) محاسبات فازي، انتشارات دانشگاه اميرکبير، تهران.
10. ه. نوری، م. چراغی، ع. ا. اسلامی بلده (1398)، ارزیابی و اولویت بندی ریسک های محیط زیستی مبتنی بر رویکرد فازی و تصمیم گیری چند شاخصه: مطالعه موردی در یک

منطقه بهره برداری نفت و گاز فصلنامه بهداشت و ایمنی کار جلد ۹ شماره ۳ صفحات ۲۰۰-۲۱۱.

11. R. Akbari, R. Dabbagh & S. J. Ghoushchi (2020). HSE risk prioritization of molybdenum operation process using extended FMEA approach based on Fuzzy BWM and Z-WASPAS. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *38*(4), 5157-5173.
12. H. R. Amini, M. SAEIDI & V. A. BAGH (2008). Solidification/stabilization of heavy metals from air heater washing wastewater treatment in thermal power plants.
13. A. Azadeh, Z. Mokhtari, Z. J. Sharahi & M. Zarrin (2015). An integrated experiment for identification of best decision styles and teamworks with respect to HSE and ergonomics program: the case of a large oil refinery. *Accident Analysis & Prevention*, *85*, 30-44.
14. M. Azadi, M. Jafarian, R. F. Saen & S. M. Mirhedayatian (2015). A new fuzzy DEA model for evaluation of efficiency and effectiveness of suppliers in sustainable supply chain management context. *Computers & Operations Research*, *54*, 274-285.
15. Y. Boissenin (1988). A. castanier "Choosing the right combined cycle power plant". *Alsthom Gas Turbines Reference Library*.
16. P. Breeze (2019). *Power generation technologies*. Newnes.
17. J. S. Dyer, & R. K. Sarin (1979). Measurable multiattribute value functions. *Operations research*, *27*(4), 810-822.
18. P. Guo, & H. Tanaka (2001). Fuzzy DEA: a perceptual evaluation method. *Fuzzy sets and systems*, *119*(1), 149-160.
19. V. Hajipour, H. Amouzegar, A. Gharaei, M. S. G. Abarghoei & S. Ghajari (2021). An integrated process-based HSE management system: A case study. *Safety Science*, *133*, 104993.
20. Y. Han, Z. Geng, Q. Zhu & Y. Qu (2015). Energy efficiency analysis method based on fuzzy DEA cross-model for ethylene production systems in chemical industry. *Energy*, *83*, 685-695.
21. W. F. Hsiao, H. H. Lin & T. M. Chang (2008). Fuzzy consensus measure on verbal opinions. *Expert Systems with Applications*, *35*(3), 836-842.
22. R. B. Hudson (1988). Technical and economic overview of geothermal atmospheric exhaust and condensing turbines, binary cycle and biphase plant. *Geothermics*, *17*(1), 51-74.
23. R. Kehlhofer, F. Hannemann, F. Stirnimann & B. RUKES, Combined-cycle gas & steam turbine power plants, Tulsa, OK: PennWell Corporation, 2009. *Google Scholar*, 1-170.
24. J. Marecki (1991). Combined heat and power. *WNT, Warsaw*.
25. N. Pourfatah, G. Monazami-Tehrani, A. Alibabaei & S. M. Yousefiani (2018). Identification of Human Errors and Effective Intra-organizational Factors in Failure Occurrence in Gas Industry. *Journal of Safety Promotion and Injury Prevention*, *6*(2), 91-8.

26. J. Puri & S. P. Yadav (2014). A fuzzy DEA model with undesirable fuzzy outputs and its application to the banking sector in India. *Expert systems with applications*, *41*(14), 6419-6432.
27. J. A. Rovnak & R. Corlis (1991). Dynamic matrix based control of fossil power plants. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, *6*(2), 320-326.
28. A. Shamaii, M. Omidvari & F. H. Lotfi (2017). Health, safety and environmental unit performance assessment model under uncertainty (case study: steel industry). *Environmental monitoring and assessment*, *189*(1), 1-11.
29. Tavanir (2014). Statistical report on 47 years of activities of iran electric power industry (1967–2013), electricity generation from 2002 to 2013. Iran's Ministry of Energy and Tavanir Holding Company, Tehran. U.S EPA. Profile of the Fossil Fuel Electric Power Generation Industry. Office of Compliance Sector Notebook Project 1997. U.S EPA.
30. K. V. Wong & J. Johnston (2014). Cooling systems for power plants in an energy-water nexus era. *Journal of Energy Resources Technology*, *136*(1).
31. S. Yousefi, A. Alizadeh, J. Hayati, & M. Baghery (2018). HSE risk prioritization using robust DEA-FMEA approach with undesirable outputs: a study of automotive parts industry in Iran. *Safety science*, *102*, 144-158.