ارزیابی و مدیریت ریسک خطرات HSE واحد کلرزنی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از روش های HAZOP و Bow- Tie

هستی برقعی پور[۱]، غزاله منظمی تهرانی[۲]، نادیا عباس زاده تهرانی[۳]، سعید نصیری لمر[۴]، آزاده نکویی اصفهانی[۵]، ایرج محمدفام[۶*]

چکیده

مقدمه: نیروگاه ها از مهمترین زیرساخت های توسعه اقتصادی محسوب می شوند. برای پیشگیری از بروز حوادث، ارزیابی و مدیریت ریسک در این صنایع ضروری بنظر می رسد. هدف از این مطالعه شناسایی و ارزیابی خطرات HSE واحد کلرزنی نیروگاه های سیکل ترکیبی با استفاده از روش HAZOP و Bow- Tie می باشد.

روش بررسی: در این مطالعه ابتدا خطرات فرایند تولید کلر در بخش های مختلف واحد کلرزنی با استفاده از روش HAZOP مورد شناسایی قرار گرفت و پس از ارزیابی خطرات، سناریو تبدیل خطرات ریسک بالا به رویدادهای بحرانی تدوین گردید. برای ارزیابی رویداد بحرانی منتخب از روش Bow- Tie استفاده شد.

یافته ها: با استفاده از روش HAZOP، ۷ رویداد مهم و تعداد ۱۰۵ مورد ریسک در واحد کلرزنی نیروگاه مورد مطالعه شناسایی شد که از این تعداد ۶۵ درصد و ۱۴ درصد به ترتیب مربوط به ریسک های قابل قبول و ریسک های نامطلوب بود. ریسک انفجار مخزن ذخیره کلر به دلیل افزایش فشار هیدروژن با توجه تهدیدات شناسایی شده و پیامد های مالی، جانی و زیست محیطی بعنوان مهمترین رویداد به روش Bow- Tie تحلیل و اقدامات پیشگیرانه در راستای کاهش ریسک پیشنهاد گردید.

نتیجه گیری: استفاده از روش تلفیقی در شناسایی خطرات و تجزیه و تحلیل آن ها نشان دهنده اثربخشی روش ها در کنار هم است و انتخاب روش های مناسب به جهت هم پوشانی نقاط ضعف و قوت یکدیگر می توانند منجر به ارائه نتیجه نهایی مطلوب در مدیریت ریسک گردد.

کلید واژه‌ها: نیروگاه سیکل ترکیبی، HAZOP ، Bow- Tie، مدیریت ریسک

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۱/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۲/۰۸

ارجاع:
برقعی پور هستی، منظمی تهرانی غزاله، عباس زاده تهرانی نادیا، نصیری لمر سعید، نکویی اصفهانی آزاده، محمدفام ایرج. ارزیابی و مدیریت ریسک خطرات HSE واحد کلرزنی نیروگاه سیکل ترکیبی با استفاده از روش های HAZOP و Bow- Tie. بهداشت کار و ارتقاء سلامت ۱۳۹۸; ۳(۲): ۴۵-۱۳۴.

[۱] گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، تهران، ایران
[۲] گروه سلامت، ایمنی و محیط زیست، دانشکده بهداشت و ایمنی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
[۳] پژوهشگاه هوا و فضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران
[۴] کارشناس ارشد بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد الکترونیکی، تهران، ایران
[۵] گروه محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد پرند، پرند، ایران
[۶*] قطب علمی آموزشی مهندسی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات ایمنی و بهداشت شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
(نویسنده مسئول: Mohammadfam@umsha.ac.ir)

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

مقدمه

معرفی فناوری های جدید و کاربرد گسترده آن ها در صنایع مختلف در دهه های اخیر به رفاه روز افزون نسل بشر منتهی گشته است، و در کنار آن انسان را با معضل جدیدی با عنوان حوادث مواجه ساخته است. بطوریکه آمار سازمان بین المللی کار نشان دهنده آن است که بیش از ۲/۷۸ میلیون نفر در سال در نتیجه حوادث شغلی جان خود را از دست می دهند (۱). حوادث ناشی از کار، سالانه ۱.۲۵هزار میلیارد دلار به اقتصاد جهانی هزینه تحمیل می کنند و موجب مرگ دو میلیون نفر در سال می گردند (۳،۲). میزان حوادث شغلی منجر به فوت در کشورهای در حال توسعه ۳ الی ۴ برابر کشور های توسعه یافته صنعتی بوده و کشور ایران نیز از این قاعده مستثنی نبوده و سالانه حدود ۱۴ هزار حادثه شغلی را به خود اختصاص داده است که هزینه های تحمیلی این حوادث بالغ بر ۹۵ میلیارد تومان می باشد (۴،۳). بنابراین لزوم پیشگیری از بروز حوادث، یک ضرورت برای بقاء سازمان ها محسوب می شود. این امر مستلزم شناسایی علل حوادث قبل از بالفعل در آمدن آن ها می باشد که امروز در قالب رویکرد ارزیابی و مدیریت ریسک مورد توجه قرار گرفته است (۵-۷). صنعت برق یکی از صنایع پر خطر در بین صنایع مختلف می باشد بطوریکه پرسنل شاغل در بخش های تولید، انتقال و توزیع نیروی برق با طیفی از مخاطرات بهداشت شغلی مواجه هستند (۸). نیروگاه های تولید برق که یکی از مهمترین عوامل و ضرورت ها در رشد و توسعه هر کشور می باشند، مجموعه ای از تاسیسات صنعتی هستند که جهت تولید انرژی الکتریکی مورد استفاده قرار می گیرند (۹). یکی از پربازده ترین نوع نیروگاه ها، نیروگاه سیکل ترکیبی می باشد که طراحی بهینه سیکل آن ها سبب کاهش هزینه های سوخت مصرفی می گردد (۱۱،۱۰). در اغلب نیروگاه های ایران بواسطه موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی، یکی از سیستم های برج خشک (Heller)، سیستم خنک کننده هوای کندانسور (Acc) و سیستم یک بار- گذر (Once-Through) مورد استفاده قرار می گیرد که سیستم یک بار- گذر، مناسب ترین گزینه برای نیروگاه های واقع در کنار دریا و یا رودخانه است(۱۲). فعل و انفعالات شیمیایی واحد کلرزنی نیروگاه های سیکل ترکیبی با سیستم خنک کاری یک بار- گذر، منجر به تولید سدیم هیپوکلریت و گاز هیدروژن می شود (۱۴،۱۳). بنابراین با توجه به خطر آتش سوزی و انفجار ناشی از نشت گاز هیدروژن، ارزیابی ریسک خطرات HSE واحد کلرزنی نیروگاه های سیکل ترکیبی ضروری به نظر میرسد. نیروگاه مورد مطالعه در این پژوهش از نوع سیکل ترکیبی با ظرفیت ۹۶۸ مگاوات بوده و با استفاده از سامانه خنک‌کن یک‌بار-گذر (Once- Through) با آب دریا عملیات خنک کردن را انجام می دهد. این نیروگاه در فاز گازی شامل ۴ واحد و در فاز بخار شامل دو واحد می باشد. یکی از بخش های مورد بررسی در این پژوهش واحد کلرزنی جهت تولید هیپوکلریت مورد نیاز برای مصارف کلرزنی می باشد. مطالعاتی درخصوص واحد کلرزنی صورت گرفته است که بیانگر اهمیت بررسی و مدیریت ریسک در این واحد می باشد. محمد فام و همکاران اذعان نمودند که انتشار گاز کلر در مقایسه با سایر حوادث شیمیایی، قربانیان بیشتری می گیرد و خرابی تجهیزات و خطاهای انسانی به عنوان رایج ترین عامل در ایجاد چنین رویدادهایی هستند. نتایج این مطالعه در واحد کلر زنی تصفیه خانه تهران با استفاده از دو روش HAZOP و ETBA نشان داد که این دو روش به طور سیستماتیک می توانند فرایند مصرف یا تولید را مورد ارزیابی و نقد قرار داده و قابلیت اطمینان سیستم ها را افزایش دهند (۱۵). لی و همکاران (۲۰۱۸) نیز در مطالعه شبیه سازی سیستم مدیریت ایمنی فرایند کلرزنی اشاره نمودند که این فرایند بایستی بصورت یک سیستم پیچیده و پویا مد نظر قرار گیرد و با توجه به آنکه کارگران، تجهیزات، مواد، محیط زیست و انرژی در این فرآیند در ارتباط تنگاتنگ با یکدیگر هستند، باید در مدلسازی سیستم مدیریت ایمنی مد نظر قرار گیرند.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]
[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

بنابراین با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به ارزیابی و مدیریت ریسک خطرات HSE واحد کلرزنی یکی از نیروگاه های سیکل ترکیبی شمال کشور با استفاده از روش های HAZOP و Bow- tie پرداخته شده است (۱۶).

روش بررسی

این تحقیق در یکی از نیروگاه های سیکل ترکیبی با سیستم خنک کاری یک بار - گذر در سال ۱۳۹۶ صورت پذیرفته است. این پژوهش از نوع کاربردی بوده و روش تحقیق آن بر مطالعات میدانی و توصیفی- تحلیلی استوار است. در این راستا، ابتدا با استفاده از مراجع موجود و مستندات فنی شرکت سازنده، تجهیزات واحد کلر زنی و نقشه های مربوطه مورد مطالعه قرار گرفتند. سپس نمودار جریان های فرآیند (PFD) و نقشه کلیه تجهیزات مکانیکی، خطوط ارتباطی، تجهیزات ابزار دقیق، سیستم های کنترلی و اینترلاک های (P&ID) واحد کلرزنی توسط اعضای تیم ارزیابی ریسک تهیه گردیدند. تیم ارزیابی ریسک جهت مطالعه عملیات و خطر (Hazop)، متشکل از سرپرست واحد شیمی نیروگاه، مسئول شیفت بهره برداری واحد کلرزنی، اپراتور واحد کلرزنی، تکنسین تعمیرات ابزار دقیق، تکنسین تعمیرات برق، تکنسین تعمیرات مکانیک و کارشناس HSE نیروگاه تشکیل گردید. در این مرحله گروه خبرگان به جهت ایجاد سهولت و دقت بیشتر در فرآیند ارزیابی ریسک، واحد کلرزنی را به هفت گره (Node)، بر اساس نوع کار (شامل ۱۱ بخش: رکتیفایر، الکترولایزر و فیدرهای MV، مخازن اسید، مخزن ذخیره سود، اسکید آب نمک سازی و فیلتر های آب نمک، نت پیت، پیت های فوروارد‌ینگ آب دریا، و مخزن ذخیره کلر) تقسیم نمودند. پارامترهای عملیاتی مورد مطالعه در این پژوهش شامل دبی آب ورودی، آمپراژ، ولتاژ، دمای روغن، فشار سیال داخل خطوط، PH آب ورودی و غلظت نمک آب ورودی بودند. بنابراین تاثیر عدم عملکرد هر بخش بصورت مجزا و در نهایت تاثیر بر عملکرد طبیعی واحد به دلایل مختلف نظیر معیوب شدن تجهیزات و خطای انسانی توسط افراد تیم بررسی گردیدند و در نهایت سطح ریسک مخاطرات شناسایی شده با استفاده از جداول احتمال وقوع، شدت اثر و قابلیت کشف با توجه به مطالعه محمدفام و کیانفر، برآورد گردید (۱۷). سپس اعضای تیم پس از بررسی نتایج حاصل از ارزیابی ریسک، مخاطرات با ریسک بالا را شناسایی نموده و رویدادهای مهم (Top Event) را تعیین نمودند.

در مرحله بعد با استفاده از روش Bow- tie در هفت مرحله، جهت ارائه مدل تصویری روابط بین خطرات مختلف (علل)، حوادث، سیستم های ایمنی و پیامدهای آن در واحد کلرزنی نیروگاه های سیکل ترکیبی با سیستم خنک کاری یک بار –گذر، رویدادهای مهم مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. روش Bow- tie از ترکیب دو روش تحلیل درخت خطا (FTA) و تحلیل درخت رویداد (ETA) تشکیل شده است. در این راستا شناسایی و ارزیابی علل اصلی سناریو مورد نظر (رویداد اصلی) با استفاده از تکنیک تحلیل درخت خطا (FTA) انجام شد (۱۸). در ادامه به منظور شناسایی پیامدهای مختلفی که در صورت وقوع رویداد اصلی (نشت گاز هیدروژن از واحد کلرزنی) و نقص هر یک از موانع ایمنی ممکن است رخ دهد، از تکنیک ETA استفاده گردید. در واقع هدف این تکنیک، تعیین رخداد اولیه و پیامدهای آن در صورت عدم کارکرد صحیح سیستم های ایمنی می باشد (۱۷). بر این اساس، احتمال رخداد هر پیامد از طریق رابطه زیر محاسبه شد.

رابطه ۱:

$$\prod_{j=1}^{n} \Pr(E)\ \Pr(\text{Consequence}) = \Pr(TE) \times$$

در این رابطه Pr (Consequence) احتمال رخداد هر یک از پیامدها، Pr (TE) احتمال رویداد اصلی و Pr (E) احتمال شکست یا موفقیت موانع ایمنی می باشد.

یافته ها

خطرات شناسایی شده واحد کلرزنی با استفاده از روش HAZOP

نتایج به دست آمده از مطالعه تیم تخصصی ارزیابی ریسک نشان داد که تعداد ۱۰۵ مورد ریسک در واحد کلرزنی نیروگاه مورد مطالعه وجود دارد. از این تعداد ۶۵ درصد، ۲۱ درصد و

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

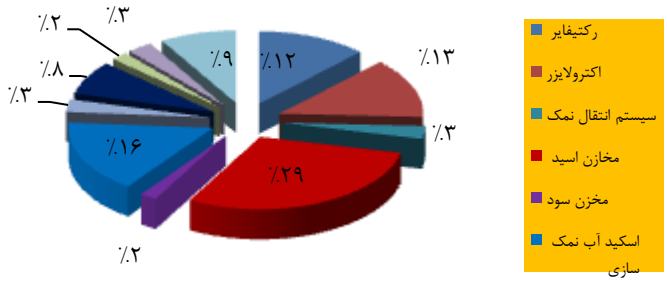
[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

۱۴ درصد به ترتیب مربوط به ریسک های قابل قبول، ریسک های قابل قبول با بازنگری و ریسک های نامطلوب بود. با توجه به جدول در بخش اسکید آب نمک سازی، ریسک افزایش میزان هیدروژن تولیدی در اثر واکنش ناقص درون سل ها و خطر انفجار در مسیر تولید در محدوده ریسک های نامطلوب شناسایی شد. در بخش انتقال نمک، ریسک عدم باز بودن دریچه هاپر نمک به مقدار مناسب با خطر تولید آب نمک با غلظت نامناسب که باعث نوسانی شدن ولتاژ، افزایش تولید هیدروژن و همچنین تولید کلر با غلظت پایین، در محدوده ریسک های نامطلوب شناسایی شد. در بخش الکترولایزرها، ۵ ریسک شامل: بسته بودن شیر ایمنی ونت هیدروژن MPUS20/21AA286؛ پایین بودن غلظت آب نمک تولید شده و بالا بودن آمپر خروجی رکتیفایر؛ تولید کلر بیش از توان طراحی شده برای الکترولایزر؛ بسته بودن شیر ایمنی مسیر ونت هیدروژنMPUS 20/21aa286، گرفتگی مسیر ونت هیدروژن بدلیل رسوب داخل سل ها و در نهایت رسوب بیش از حد نرمال در سل ها و بسته بودن شیرهای ایمنی خروجی، افزایش غیر نرمال مقدار آمپر و بالا بودن سطح مخزن ذخیره کلر با پیامد خطر افزایش تولید هیدروژن و خطر انفجار یا بروز نشتی شدید در سل های الکترولایزر، در محدوده ریسک های نامطلوب شناسایی شدند. در بخش رکتیفایر ۴ ریسک با خطر آسیب رسیدن به سل ها یا احتمال رخ دادن انفجار در الکترولایزرها به دلیل تولید گاز هیدروژن در محدوده ریسک های نامطلوب شناسایی شدند. در بخش مخزن ذخیره کلر ۲ ریسک با خطر افزایش میزان غلظت گاز هیدروژن داخل مخزن ذخیره کلر و انفجار مخزن در محدوده ریسک های نامطلوب شناسایی شدند. در بخش مخازن اسید علل عدم سیرکوله درست و کافی، عدم اندازه گیری غلظت اسید توسط اپراتور، انتقال اسید زیاد توسط اپراتور و عدم انتقال اسید از مسیر تولید با ریسک آسیب رساندن به سل های الکترولایزر در محدوده ریسک نامطلوب شناسایی شدند. درصد فراوانی ریسک های شناسایی شده در نمودار ۱ نشان داده شده است.

نمودار ۱: درصد فراوانی ریسک های شناسایی شده بر اساس ریسک

پراکندگی ریسک های شناسایی شده در بخش های مختلف شامل ۱۳ ریسک مربوط به عملکرد بخش رکتیفایرها، ۱۴ ریسک مربوط به عملکرد بخش الکترولایزرها، ۳ ریسک مربوط به عملکرد سیستم انتقال نمک، ۳۱ ریسک مربوط به عملکرد بخش مخازن اسید، ۲ ریسک مربوط به بخش مخزن سود، ۱۷ ریسک مربوط به بخش اسکید نمک سازی، ۳ ریسک مربوط به بخش فیلترهای آب نمک، ۸ ریسک مربوط به بخش نت پیت، ۲ ریسک مربوط به بخش پمپ های فوروارد دینگ آب دریا، ۳ ریسک مربوط به فیدرهای mv و ۹ ریسک مربوط به مخزن ذخیره کلر می باشد.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]
[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]



نمودار ۲: درصد فراوان ریسک های شناسایی شده بر اساس پراکندگی

با بررسی ریسک های شناسایی شده مشخص گردید بیشترین ریسک های واحد از نظر کمیت مربوط به مخازن اسید و کمترین تعداد مربوط به بخش مخزن سود و پمپ های فورواردینگ می باشد. همچنین از نظر شدت پیامد، ریسک انفجار گاز هیدروژن دارای بالاترین میزان خسارات در صورت بالفعل شدن خطر انفجار ناشی از تجمع گاز هیدروژن در طی فرایند تولید کلر می باشد و بدین ترتیب نیاز به افزایش کنترل های پیشگیرانه در این بخش دارد.

تحلیل ریسک های شناسایی شده به روش Bow-Tie

پس از بررسی ریسک های محتمل واحد، شناسایی رویدادهای مهم (Top Event) ناشی از نتایج ارزیابی ریسک به روش HAZOP، ۷ رویداد مهم شامل ریسک ترکیدگی در مسیر های PVC و یا نشتی شدید از سل ها؛ ریسک افزایش تولید هیدروژن و انفجار بر اثر افزایش فشار؛ ریسک انفجار در سل به دلیل جریان بالا؛ ریسک انفجار سل به دلیل ولتاژ بالا؛ ریسک خوردگی شدید در سل های الکترولایزر؛ ریسک آسیب و انفجار سل ها و در نهایت ریسک انفجار مخزن ذخیره کلر به دلیل افزایش فشار هیدروژن مد نظر قرار گرفت. از این میان بالاترین ریسک به خطر افزایش تولید هیدروژن و انفجار بر اثر افزایش فشار تعلق داشت که خسارت مالی، صدمات جانی و آسیب های زیست محیطی را در بر می گرفت. در ادامه جهت پیشگیری از بالفعل شدن خطر یاد شده آنالیز Bow-Tie صورت پذیرفت. در شکل ۱، دیاگرام Bow-Tie کاهش غلظت آب نمک و ریسک انفجار مخزن ذخیره کلر به دلیل افزایش فشار هیدروژن نشان داده شده است.

شکل ۱: دیاگرام Bow-Tie کاهش غلظت آب نمک و ریسک انفجار مخزن ذخیره کلر به دلیل افزایش فشار هیدروژن

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

تهدیدات شناسایی شده بر اساس تجزیه و تحلیل صورت گرفته عبارتند از: عدم باز بودن دریچه انتقال نمک؛ عدم متناسب بودن دبی و نمک مصرفی؛ عدم تنظیم صحیح زمان کارکرد سیستم انتقال نمک؛ مناسب نبودن کیفیت نمک و در نهایت افزایش هیدروژن، اکسیژن، فشار الکترولایزر و بروز تنش در سل ها. پیامدهای شناسایی شده ناشی از بالفعل شدن ریسک ها شامل خسارت جانی؛ خسارت مالی به دلیل کاهش غلظت تولید کلر؛ خسارت مالی به جهت خارج شدن خط و خسارت جانی در اثر انفجار سل؛ خسارت جانی و مالی ناشی از پایین آوردن فشار در سل ها و جلوگیری از تولید بیش از حد هیدروژن و در نهایت خسارت مالی هدر رفتن نمک و یا اخلال در عملکرد سیستم انتقال نمک می باشد. در جدول ۲ اقدامات پیشگیرانه و واکنشی مورد پیشنهاد جهت مدیریت ریسک افزایش تولید هیدروژن و انفجار بر اثر افزایش فشار نشان داده شده است.

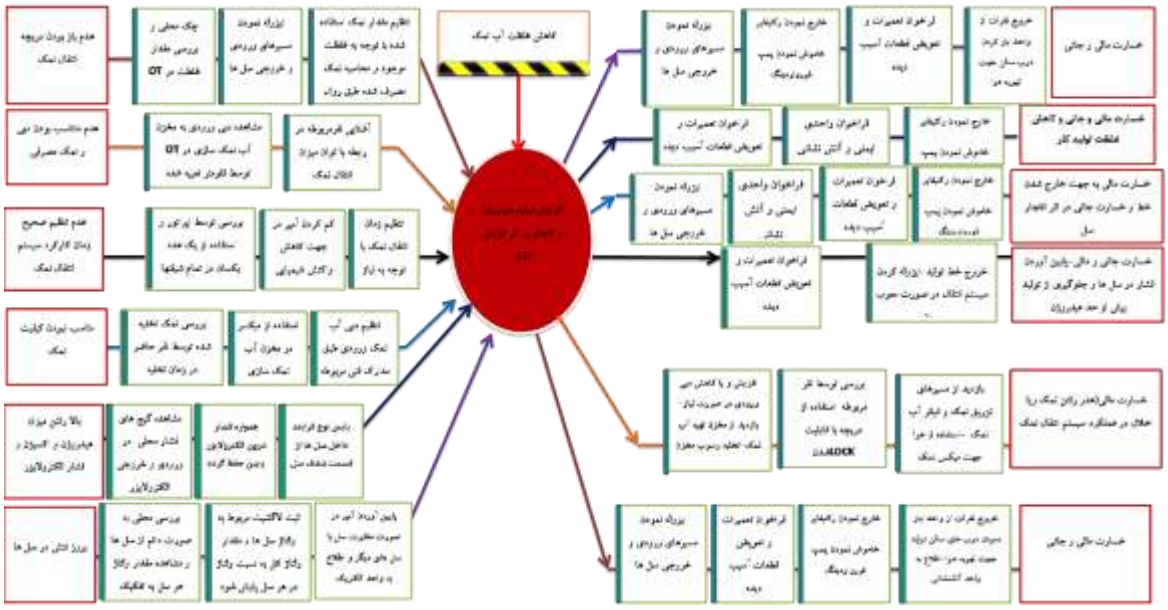
جدول ۲: اقدامات پیشگیرانه و واکنشی ریسک افزایش تولید هیدروژن و انفجار بر اثر افزایش فشار

اقدامات پیشگیرانه	اقدامات واکنشی
چک محلی و بررسی مقدار غلظت در OT	ایزوله نمودن مسیرهای ورودی و خروجی سل ها
مشاهده دبی ورودی به مخزن آب نمک سازی در OT توسط فلومتر تعبیه شده	خارج نمودن رکتیفایر
بررسی توسط اپراتور و استفاده از یک عدد یکسان در تمام شیفت ها	خاموش نمودن پمپ فورواردینگ
بررسی نمک تخلیه شده توسط نفر حاضر در زمان تخلیه	فراخوان تعمیرات و تعویض قطعات آسیب دیده
مشاهده گیج های فشار محلی در ورودی و خروجی الکترولایزر	خروج نفرات از واحد
بررسی محلی به صورت دائم از سل ها و مشاهده مقدار ولتاژ هر سل به تفکیک	فراخوان تعمیرات و تعویض قطعات آسیب دیده
	فراخوان واحدی ایمنی و آتش نشانی
	خارج نمودن رکتیفایر
	خاموش نمودن پمپ فورواردینگ
	خارج نمودن رکتیفایر
	خاموش نمودن پمپ فورواردینگ
	فراخوان واحدی ایمنی و آتش نشانی
	فراخوان تعمیرات و تعویض قطعات آسیب دیده
	فراخوان تعمیرات و تعویض قطعات آسیب دیده
	خروج خط تولید
	افزایش و یا کاهش دبی ورودی در صورت نیاز
	بررسی توسط نفر مربوطه استفاده از دریچه با قابلیت LOCK شدن
	بازدید از مسیرهای تزریق نمک و فیلتر آب نمک
	ایزوله نمودن مسیرهای ورودی و خروجی سل ها

در شکل ۲ دیاگرام پیشنهادی مطلوب Bow-Tie جهت کاهش غلظت آب نمک و ریسک انفجار مخزن ذخیره کلر به دلیل افزایش فشار هیدروژن نشان داده شده است.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]



شکل ۲: دیاگرام پیشنهادی مطلوب Bow-Tie کاهش غلظت آب نمک و ریسک انفجار مخزن ذخیره کلر به دلیل افزایش فشار هیدروژن

بحث

این مطالعه در صنایع نیروگاهی با هدف شناسایی و ارزیابی خطرات و تعیین ریسک‌های ایمنی موثر در واحد کلرزنی نیروگاه های سیکل ترکیبی با سیستم خنک کاری یک بار-گذر بر اساس روش ارزیابی ریسک HAZOP و تحلیل ریسک های نامطلوب سیستم با استفاده از روش Bow- tie صورت گرفت. محمدفام و کیانفر (۱۳۸۹) در پژوهش بررسی خطرات ایمنی، بهداشتی و زیست محیطی انبار نفت شرکت ملی پخش فراورده های نفتی با استفاده از روش HAZOP نشان دادند که تکنیک مطالعه عملیات و خطر، یک روش موثر و سیستماتیک برای شناسایی خطرات و مشکلات عملیاتی سیستم و تعیین اثرات آن ها می باشد (۱۷). یافته-های حاصل از این پژوهش نیز با پژوهش مذکور هم راستا بوده و نمایانگر کارایی بالای این روش در شناسایی خطرات و ارزیابی ریسک فرایند می باشد. بر اساس نتایج حاصل از ارزیابی ریسک مطالعه حاضر، اقدامات کنترلی موجود در طی فرایند مورد مطالعه کافی نبوده و نیاز به انجام اقدامات اصلاحی نظیر طراحی مجدد سیستم های ایمنی در برخی از بخش های واحد و تغییر در تعدادی از رویه های کاری ضروری به نظر می رسد که هم راستا با نتایج حاصل از مطالعه صورت گرفته توسط رضایی و احمری (۱۳۹۳) است. آن ها نیز بیان کردند که بر اساس تکنیک HAZOP تعداد زیادی از خطرات ناشی از انحرافات در فرآیندهای عملیاتی وجود دارد و به دلیل آنکه اقدامات کنترلی موجود یا سیستم های حفاظتی موجود به حد کافی نمی باشند، بایستی نسبت به اجرای اقدامات اصلاحی اقدام گردد که بعضا نیازمند انجام طراحی مجدد است (۱۹). با توجه به این مهم که تکنیک های متعدد ارزیابی ریسک هر کدام توانمندی ها و محدودیت خاص خود را دارند (۱۷) و یافته های حاصل از برخی مطالعات صورت گرفته قبلی نشان داده است استفاده از روش های تلفیقی در بهبود نتایج حاصل از فرایند شناسایی خطرات و مدیریت ریسک می تواند موثر باشد (۲۰)؛ برای مثال، لو و همکاران نیز در پژوهشی نشان دادند که ترکیبی از مدل Bow- Tie و ماتریس خطر می تواند یک روش موثر برای ارزیابی ریسک جامع را ایجاد می کند (۲۱).

در همین راستا پس از شناسایی ریسک های واحد به روشHAZOP، اقدام به تحلیل ریسک های با سطح نامطلوب شناسایی شده با استفاده از روش Bow- Tieگردید که حاصل

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

آن شناسایی موانع کنترلی مناسب در جهت پیشگیری از بالفعل شدن خطرات با سطح ریسک نامطلوب و اقدامات واکنشی مناسب پس از بالفعل شدن این خطرات در جهت کاهش پیامد های نامطلوب بود. نتایج حاصل حاکی از توان بالای این روش در تحلیل خطرات و ریسک ها با ارائه یک تحلیل روشن و قابل فهم برای همگان از اقدامات پیشگرانه و واکنشی مطلوب دارد که این موضوع با یافته های تحقیق تکیه و همکاران در سال ۱۳۹۰ مبنی بر نقش مهم Bow- Tie در شناسایی شاخص های کلیدی عملکرد HSEو بهبود آن ها و همچنین مطالعه Burgess-Limerick و همکاران در سال ۲۰۱۴ مبنی بر امکان ارائه یک روش مؤثر سیستماتیک بررسی دلایل، نتایج و پیشگیری احتمالی و کاهش اقدامات کنترل یا موانع مرتبط با تصادف قبلی با استفاده از روش Bow- Tie، هم راستا می باشد (۲۳،۲۲). پژوهشی در خصوص ارزیابی ایمنی معدن به روش Bow- Tie نشان داد که تجزیه و تحلیل به این روش می تواند علل و پیامدهای پیوندهای ضعیف را شناسایی کند و راهکارهای مناسبی را برای تولید ایمن در معادن را ارائه دهد (۲۴). همچنین در مطالعه تعیین خطرات آزمایشگاه ها، این روش چارچوب مناسبی برای ارزیابی کیفیت و کنترل های خطر در راستای جلوگیری از حوادث جدی آزمایشگاهی را فراهم نمود و حرکت به سمت بهبود روابط و پیشرفت «فرهنگ» مدیریت ایمنی تسهیل نمود (۲۵).

در این پژوهش با توجه به اهمیت اقدامات پیشگیرانه در ممانعت از بالفعل شدن خطرات بر اساس نتایج حاصل از بررسی عملکرد هر بخش از واحد در این مطالعه، با استفاده از نظرات افراد با تجربه تیم و بررسی علل حوادث و شبه حوادث قبلی به وقوع پیوسته در واحد، برای ریسک های نامطلوب اقدامات کنترلی پیشگیرانه اتخاذ گردید. از آنجاییکه بالاترین ریسک به خطر افزایش تولید هیدروژن و انفجار بر اثر افزایش فشار تعلق داشت راهکارهای مناسب شامل تعبیه چکش پنوماتیکی در بخش هاپر نمک جهت پیشگیری از گرفتگی مسیر تزریق؛ تنظیم زمان انتقال نمک با توجه به نیاز برآورد شده طبق دبی خروجی تجهیزات مربوطه؛ کم کردن آمپر در جهت کاهش واکنش شیمیایی؛ پایش نوع فرایند داخل سل ها از قسمت شفاف سل توسط اپراتور؛ پایین نگهداشتن فشار درون الکترولایزر؛ افزایش قطر لوله ونت هیدروژن (تعویض قطر خطوط هیدروژن از ۲ به ۳ اینچ جهت تسهیل در خروج گاز هیدروژن) و در نهایت پایین آوردن آمپر در صورت مغایرت سل با سل های دیگر و نحوه برقراری ارتباط موثر با واحد الکتریک پیشنهاد می گردد. یاراحمدی و همکاران مبتنی بر نتایج خود نیز اذعان نمودند که علاوه بر لزوم ارزیابی ریسک با متد مناسب، تهیه تجهیزات استاندارد حفاظتی و ایمنی و ارتباطات مناسب بین سرپرستان و کارگران از اهمیت ویژه ای برخوردار است (۲۶).

نتیجه گیری

بنابر نتایج بدست آمده از این پژوهش، استفاده از دو روشHAZOP و Bow Tie در شناسایی خطرات و تجزیه و تحلیل آن ها از اثربخشی مطلوبی برخوردار هستند چرا که روش های مذکور با هم پوشانی نقاط ضعف و قوت یکدیگر می توانند منجر به ارائه نتیجه نهایی مطلوب در مدیریت ریسک گردند و این امر از نقاط قوت این مطالعه بشمار می رود. پیشنهاد می گردد با توجه به کمبوده داده و دقت پایین داده های موجود، با استفاده از رویکردهایی همچون منطق فازی دقت و قابلیت اطمینان روش Bow Tie را افزایش داد. همچنین در مطالعات بعدی شبیه سازی رویدادهای نهایی و برآورد ریسک کمی با استفاده از روش های جامع مانند ارزیابی ریسک کمی جهت کنترل حوادث واحدهای فرآیندی مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این مقاله از مدیریت و کارشناسان واحد کلرزنی نیروگاه سیکل ترکیبی مورد مطالعه که در راستای این پژوهش مشارکت داشته اند تشکر و قدردانی می نمایند.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

مشارکت نویسندگان

طراحی پژوهش: ا.م، ه. ب، ن.ع.ت، غ.م.ت، س.ن.ل

جمع آوری داده: س.ن.ل

تحلیل داده: ا.م، ه. ب، غ.م.ت، س.ن.ل، آ. ن. ا

نگارش و اصلاح مقاله: ا.م، ه. ب، غ.م.ت، س.ن.ل

تضاد منافع

هیچگونه تضاد منافعی از سوی نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

1. Organization IL. Safety and health at work. 2017. Available at: https://www.ilo.org/global/ topics/ safety- and-health- at-work/ lang--en/ index.htm. Accessed 2017.
2. Borgheipour H, Mohamadfam I, Narenji MA. Assessing and comparing human errors in technical operations in petroleum wells using extended CREAM technique. International Journal of Occupational Hygiene. 2017;9(3):132-41.
3. Kouhnavard B, Aghanasab M, Safaei R, Fazli Z. RiskIdentification and Assessment, UsingJob Safety Analysis, in anAffiliated AgencytoIran KhodroCompany, 2014. 2015;20(3):40-50. [Persian]
4. Atrkar Roshan S, Alizadeh SS. Estimate of economic costs of accidents at work in Iran: A case study of occupational accidents in 2012. Iran Occupational Health. 2015;12(1):12-9.
5. Bahrbar SK, Rastayesh S. Analysis of Japan's nuclear incident and the role of HSE management. Third Comprehensive conference on disaster management and HSE; 2016.
6. Pourfatah N, Monazami-Tehrani G, Alibabaei A, Yousefiani SM. Identification of Human Errors and Effective Intra-organizational Factors in Failure Occurrence in Gas Industry. Safety Promotion and Injury Prevention. 2019;6(2):91-8.
7. Mavaji M, Borgheipour H, Monazami-Tehrani G. Validation and development of the questionnaire for assessment of safety climate and safety performance according to safety knowledge and safety motivation in cement industry. Safety Promotion and Injury Prevention. 2018;6(1):3-12.
8. Laal F, Barkhordari A, Khoshakhlagh AH, Halvani GH. Epidemiological study of occupational accidents in yazd combined cycle power plant in years 1383 to 1390. 2016;7(4):88-97.
9. Pourkazemi M. H HK. Application of Data Envelopment Analysis (DEA) in assessing the efficiency of thermal power plants in Iran. Human Sciences Modares. 2002;6(1):35-54.
10. Solatpour A AM, Aghanajafi S. Thermodynamic and Thermo economic Optimization of Combined Cycle Power Plant. Mechanical Engineering. 2011; 20(79):67-74.
11. Abdalisousan A, Fani M, Farhanieh B. Selection of different decision variables in the steam section for the exergoeconomic analysis of a tccgt power plant. Environmental science and technology. 2015;16:97-109.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

12. Sadri H AA, Hamidi P, Sayad J. Technical feasibility of power plant projects. 19th International Power Engineering Conference – Tehran 2004.
13. Torres MJF, Beviá FR. Chlorine use reduction in nuclear or conventional power plants: a combined cooling-and-stripping tower for coastal power plants. Cleaner production. 2012;26:1-8.
14. Harms LL, O'Brien WJ. White's Handbook of Chlorination and Alternative Disinfectants: Chapter 1-Chlorine: History, Manufacture, Properties, Hazards, and Uses. Kanada: John Wiley & Sons; 2010.
15. Mohammadfam I, Mahmoudi S, Kianfar A. Comparative safety assessment of chlorination unit in Tehran treatment plants with HAZOP & ETBA techniques. Procedia Engineering. 2012;45:27-30.
16. Li C-y, Wang J-h, Zhi Y-r, Wang Z-r, Gong J-h. Simulation of the chlorination process safety management system based on system dynamics approach. Procedia engineering. 2018;211:332-42.
17. Mohammadfam I. and Kianfar A. Application of HAZOP method for Assessing Safety, Health and Environment Risks (Case Study: National Iranian Oil Refining and Distribution Company). Environmental Science and Technology. 2010; 12(1): 39-49.
18. Ahmadi O, Mortazavi SB, Khavanin A. Selection of the optimal method for analysis of accidents in petroleum industry using fuzzy ANP and TOPSIS multi–criteria decision methods. Iran occupational health. 2017;14(2):166-80. [Persian]
19. Rezaei Aval M AH. HAZOP review. Third National Conference on Innovative Technologies in Chemical Engineering2014.
20. Arghami S, Abbasi S, Bakhtom S, Ziaei M. Comparing of HAZOP and ETBA techniques in safety risk assessment at gasoline refinery industry. African Journal of basic & applied sciences. 2014;6(1):1-5.
21. Lu L, Liang W, Zhang L, Zhang H, Lu Z, Shan J. A comprehensive risk evaluation method for natural gas pipelines by combining a risk matrix with a bow-tie model. Natural gas science and engineering. 2015;25:124-33.
22. Tekie A JMJ, Mortazavi SB. . Application of Bow-Tie technique in the accident analysis of SRP Unit of Shahid Tondoogan Refinery in Tehran. 7th National Congress of Occupational Health and Safety; 2011.
23. Burgess-Limerick R, Horberry T, Steiner L. Bow-tie analysis of a fatal underground coal mine collision. Ergonomics australia. 2014;10(2).
24. Xu Q, Xu K. Mine safety assessment using gray relational analysis and bow tie model. PloS one. 2018;13(3):e0193576.
25. Mulcahy MB, Boylan C, Sigmann S, Stuart R. Using bowtie methodology to support laboratory hazard identification, risk management, and incident analysis. Chemical health and safety. 2017;24(3):14-20.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]
[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

26. Yarmohammadi H, Poursadeghiyan M, Shorabi Y, Ebrahimi MH, Rezaei G, Biglari H, et al. Risk assessment in a wheat winnowing factory based on ET and BA method. Journal of Engineering and Applied Sciences. 2016; 11(3):334-8.

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]

[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]

Health Safety and Environmental Hazards of the Chlorination Unit of Combined Cycle Power Plants by Using HAZOP and Bow-Tie Methods

Hasti BORGHEIPOUR[1], Ghazaleh MONAZAMI TEHRANI[2], Nadia ABBASZADEH TEHRANI[3], Saeid NASIRI LOMER[4], Azadeh NEKOOEI ESFAHANI[5], Iraj MOHAMMADFAM[6]*

Original Article

Received: 2018/02/06
Accepted: 2019/04/28

Citation:
BORGHEIPOUR H, MONAZAMI TEHRANI Gh, ABBASZADEH TEHRANI N, NASIRI LOMER S, NEKOOEI ESFAHANI A, MOHAMMADFAM I. Health Safety and Environmental Hazards of the Chlorination Unit of Combined Cycle Power Plants by Using HAZOP and Bow-Tie Methods. Occupational Hygiene and Health Promotion 2019; 3(3): 134-45.

Abstract

Introduction: Power plants are considered as the most important infrastructure for economic development. Risk assessment and risk management in these industries is essential to prevent accidents in these type of industries. The purpose of this study was to identify and evaluate the health safety and environmental hazards of the chlorination unit of combined cycle power plants by using HAZOP and Bow-Tie methods.

Methods: In this study, the hazards of chlorine production in different parts of the chlorination unit were identified using the HAZOP method. After assessing the hazards, the scenario of converting high risk into critical events was developed. Finally, the Bow-Tie method was used to assess the selected critical event.

Resulting: 7 top events and 105 risk cases were identified in the chlorination unit of the studied plant by using HAZOP method. The results showed that 65% of identified risks were acceptable and 14% related to the undesirable risks. The risk of the Chlorine Reservoir explosion related to high hydrogen pressure with regard to identified threats and also its financial, environmental and personal injuries consequences was determined as the most important top event. Therefore this event was analyzed by Bow-Tie and risk prevention measures were proposed.

Conclusion: Using the combined method to identify and analyze the hazards showed the effectiveness of these methods together. Also, choosing the appropriate methods to overlap the strengths and weaknesses of each method can lead to an optimal outcome in risk management.

Keywords: Combined Cycle Power, HAZOP, Bow-tie, Risk Management

[1]Department of Environmental Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
[2]Department Of Health Safety And Environment, School of Public Health And Safety, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran
[3]Assistant professor of Aerospace Research Institute
[4]Department of Health, Safety, and Environment, Islamic Azad University, Electronic Branch, Tehran, Iran
[5]Department of Environmental, Parand Branch, Islamic Azad University, Parand, Iran
[6]Occupational Safety and Health Research Institute, School of Health, Department of Occupational Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran.
*(Corresponding Author: mohammadfam@umsha.ac.ir)

[Downloaded from ohhp.ssu.ac.ir on 2026-10-11]
[DOI: 10.18502/ohhp.v3i2.1391]