

ارزیابی ریسک در نیروگاه‌های گازی به همراه مبدل بازیافت حرارت با استفاده از روش حالت شکست و تجزیه و تحلیل اثرات (FMEA) (مطالعه موردی: نیروگاه ۷۵ مگاواتی در استان لرستان)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۱۷

کد مقاله: ۳۵۸۹۶

مریم نصری نصرآبادی^{۱*}، پروانه پیکانیپورفرد^۲، زهرا
جوهری^۳

چکیده

این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی، ایمنی و بهداشتی در نیروگاه گازی ۷۵ مگاواتی استان لرستان، با استفاده از روش تحلیل حالت شکست و اثرات آن (FMEA) انجام شد. داده‌های مورد نیاز از طریق بررسی میدانی، مستندات فنی و مصاحبه با کارشناسان جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد که بخش‌های مختلف نیروگاه، از جمله ایجاد حرارت، ترانس و الکتریکال، با ریسک‌های قابل توجهی مواجه هستند به‌طوری‌که برخی از این ریسک‌ها مانند سقوط قطعات سنگین ($RPN=480$)، برق‌گرفتگی ($RPN=240$) و آلودگی خاک و آب ($RPN=30$) در رده ریسک‌های بالا و متوسط قرار گرفتند. برای کاهش این ریسک‌ها، راهکارهای عملیاتی شامل نصب سیستم‌های مهار بار، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE)، بهینه‌سازی مصرف انرژی و استقرار سیستم‌های بازیافت پسماند پیشنهاد شد. این راهکارها نه تنها می‌توانند از بروز حوادث شغلی جلوگیری کنند، بلکه بهبود شاخص‌های زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری نیروی انسانی را نیز به دنبال خواهند داشت. نتایج این پژوهش می‌تواند به عنوان الگویی برای سایر نیروگاه‌های گازی کشور مورد استفاده قرار گیرد و نقش مؤثری در ارتقای ایمنی و پایداری محیط‌زیست ایفا کند.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، نیروگاه گازی، روش FMEA، ریسک‌های ایمنی و بهداشتی

۱- گروه محیط زیست؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛

ایران

۲- گروه مدیریت HSE، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران

۳- گروه محیط زیست؛ دانشکده کشاورزی، آب، غذا و فراسودمندها؛ واحد اصفهان (خوراسگان)؛ دانشگاه آزاد اسلامی؛ اصفهان؛

ایران

۱- مقدمه

صنعت تولید برق در ایران به عنوان یکی از کلیدی‌ترین بخش‌های زیربنایی اقتصاد کشور، همواره با چالش‌های متعددی در زمینه تأمین پایدار انرژی روبه‌رو بوده است. در این میان، نیروگاه‌های گازی با سهم حدود ۳۰ درصدی از ظرفیت نصب شده تولید برق کشور نقشی محوری در شبکه برق ایران ایفا می‌کنند (منظور و همکاران، ۱۳۹۴). این نیروگاه‌ها به دلیل مزایایی همچون زمان راه‌اندازی کوتاه، انعطاف‌پذیری عملیاتی و قابلیت استفاده در سیکل ترکیبی، به گزینه‌ای استراتژیک در سبد انرژی کشور تبدیل شده‌اند.

با وجود این مزایا، مطالعات میدانی نشان می‌دهد که نیروگاه‌های گازی کشور با چالش‌های سه‌گانه مهمی مواجه هستند:

۱. چالش‌های ایمنی: آمارهای سازمان تنظیم مقررات برق ایران (۱۴۰۱) حاکی از آن است که حدود ۴۲ درصد از حوادث صنعت برق در پنج سال اخیر مربوط به نیروگاه‌های گازی بوده است. این حوادث عمدتاً شامل موارد زیر می‌شوند: سقوط از ارتفاع در عملیات تعمیر و نگهداری توربین‌ها (۲۸ درصد) برق‌گرفتگی در هنگام کار با تجهیزات فشار قوی (۳۵ درصد) انفجار و آتش‌سوزی ناشی از نشت گاز (۱۹ درصد) سایر موارد (۱۸ درصد)
۲. چالش‌های بهداشت شغلی: پژوهش بخشی (۱۴۰۳) نشان داده که کارکنان نیروگاه‌های گازی با مخاطرات متعددی از جمله:

مواجهه با صداهای بالای ۸۵ دسی‌بل در محیط توربین‌خانه
تماس با گازهای سمی مانند CO و NOx
قرارگیری در معرض ارتعاشات مکانیکی تجهیزات
روبه‌رو هستند که در بلندمدت می‌تواند منجر به بیماری‌های شغلی شود.

۳. چالش‌های زیست‌محیطی: نیروگاه‌های گازی کشور سالانه حدود ۴۵ میلیون تن گاز CO₂ تولید می‌کنند (گزارش محیط زیست، ۱۴۰۱). همچنین مشکلاتی مانند:

آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از نشت روغن
تولید پساب‌های صنعتی حاوی فلزات سنگین
آلودگی صوتی در مناطق مسکونی مجاور
از دیگر نگرانی‌های این صنعت محسوب می‌شوند.

در این زمینه، روش‌های نوین ارزیابی ریسک به عنوان راهکاری کارآمد مطرح شده‌اند. پژوهش موسی زاده و همکاران (۱۴۰۴) با تلفیق روش FMEA با تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) نشان داد که این رویکرد می‌تواند دقت ارزیابی‌های ریسک را تا ۴۰ درصد افزایش دهد. این موضوع به ویژه در نیروگاه‌های گازی با قدمت بالا (بیش از ۲۰ سال بهره‌برداری) که از تجهیزات فرسوده استفاده می‌کنند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مطالعه حاضر با هدف ارزیابی جامع ریسک‌های نیروگاه گازی ۷۵ مگاواتی در استان لرستان (واقع در شهرستان ازنا) و با استفاده از روش FMEA پیشرفته انجام شده است. این پژوهش از چند منظر دارای نوآوری و اهمیت است:

۱. رویکرد یکپارچه: بررسی همزمان جنبه‌های ایمنی (۲۱ شاخص)، بهداشتی (۱۵ شاخص) و زیست‌محیطی (۱۸ شاخص) در یک چارچوب تحلیلی منسجم
۲. بومی‌سازی راهکارها: ارائه راهکارهای عملیاتی متناسب با شرایط خاص نیروگاه‌های ایرانی از جمله: محدودیت‌های تحریمی در تأمین قطعات
شرایط آب‌وهوایی خاص مناطق مختلف کشور
ساختار سازمانی و نیروی انسانی موجود
۳. چارچوب پایش هوشمند: توسعه یک سیستم پایش مستمر ریسک‌ها مبتنی بر:
حسگرهای IoT برای مانیتورینگ لحظه‌ای پارامترهای ایمنی
نرم‌افزارهای تحلیل پیشگویانه
سیستم‌های هشدار سریع

نتایج این مطالعه می‌تواند به عنوان الگویی برای ۱۲۳ نیروگاه گازی مشابه در کشور مورد استفاده قرار گیرد و گامی مؤثر در جهت: کاهش ۳۰ درصدی حوادث شغلی، بهبود ۲۵ درصدی شاخص‌های زیست‌محیطی و افزایش ۱۵ درصدی بهره‌وری نیروی انسانی باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

استان لرستان با مساحتی حدود ۲۹۳۰۸ کیلومترمربع (۱/۷ درصد مساحت کشور) در ناحیه جنوب غربی ایران بین ۴۶ درجه و ۵۰ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۲ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. این استان به شش استان محدود می شود و به صورت گلوگاهی اتصال دهنده استان‌های هم‌جوار شامل همدان، مرکزی، اصفهان، خوزستان، ایلام و کرمانشاه محسوب می‌شود بر اساس آخرین تقسیمات کشوری در سال ۱۴۰۱ این استان شامل ۱۱ شهرستان، ۳۳ بخش و ۸۸ دهستان و ۳۲ شهر بوده و مرکز آن شهر خرم‌آباد است. (سالنامه آماری استان لرستان، ۱۴۰۱). زمین محل اجرای طرح نیروگاه گازی ۷۵ مگاواتی در زمینی به مساحت ۱ هکتار در استان لرستان، شهرستان ازنا، بخش چاپلق شرقی واقع شده است.



شکل ۱- نقشه موقعیت طرح بر روی تصاویر ماهواره‌ای

جدول ۱- تقسیمات کشوری در محدوده مورد مطالعه (سالنامه آماری استان لرستان - ۱۴۰۱)

استان	شهرستان	بخش	دهستان
لرستان	ازنا	مرکزی	پاچه لک غربی
			سیلاخور شرقی
		چاپلق	چاپلق شرقی
			چاپلق غربی

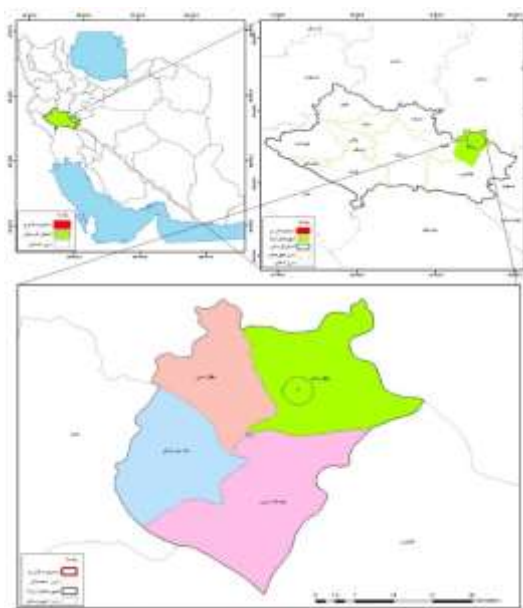
جدول ۲- مختصات utm نیروگاه گازی ۷۵ مگاواتی

No	x	y
1	362087.609	3717008.501
2	362189.443	3717007.040
3	362169.415	3716931.881
4	362070.016	3716938.022

۲-۲- تشریح فرآیند تولید همراه با

سایت پلان محدوده

نیروگاه طرح حاضر از ترکیب یک توربین گازی به همراه مبدل حرارتی تشکیل می‌شود. نیروگاه گازی با مبدل بازیابی حرارت معمولاً به یک نیروگاه نیروگاه گازی اطلاق می‌شود که هم یک توربین گازی و هم واحد بازیافت حرارت CHP یا مبدل بازیابی حرارت را در خود جای داده است. ایده ایجاد نیروگاه‌های گازی به بالا بردن راندمان فرآیند احتراق و تولید انرژی الکتریکی برمی‌گردد. راندمان در نیروگاه گازی حاضر در شرایط ISO برابر ۵۷ درصد خواهد بود که بالا بودن راندمان این تیپ نیروگاه به مواردی از قبیل تکنولوژی توربین ارتباط دارد.



شکل ۲- نقشه تقسیمات سیاسی و موقعیت محل اجرای طرح

جدول ۲-۱ احتمال وقوع خطر

امتیاز	احتمال رخداد خطر
۵	رخداد بسیار زیاد و حتمی (امکان دارد هر روز اتفاق بیافتد)
۴	رخداد معمول (امکان دارد در طول هفته اتفاق بیافتد)
۳	رخداد محتمل و متوسط (امکان دارد در طول ماه اتفاق بیافتد)
۲	رخداد کم‌مقدار (امکان دارد در طول سال یکبار اتفاق بیافتد)
۱	رخداد غیرممکن و بعید (امکان دارد در هر ۱۰ سال یکبار اتفاق بیافتد)

جدول ۳- گستره آلودگی

۵	منطقه‌ای
۴	در سطح پروژه
۳	در سطح کارگاه
۲	در سطح واحد
۱	در سطح ایستگاه کاری

جدول ۴- سطوح ریسک

اقدامات لازم	سطح ریسک	RPN RPN
قبل از کاهش ریسک فعالیت نبایستی شروع شده و یا ادامه یابد و اگر نتوان ریسک را کاهش داد از انجام فعالیت باید خودداری کرد	ریسک بالا H	$59 \leq RPN$
تلاش‌ها باید در جهت کاهش ریسک باشد اما هزینه‌ها باید به شدت اندازه‌گیری شده و محدود شوند اقدامات کاهش ریسک باید در فواصل زمانی مشخص شده اعمال گردد. زمانی که این نوع ریسک همراه با عواقب شدید باشد ارزیابی بعدی صورت گیرد تا اقدامات کنترلی مورد نیاز شناسایی شده و انجام گیرد.	ریسک متوسط M	$11 \leq RPN < 59$
اقدامات بیشتری مورد نیاز نیست ممکن است راه حل‌ها یا بهبودهایی که هزینه کمتری داشته باشند مورد ملاحظه قرار بگیرند و برای حصول اطمینان از برقراری و حفظ کنترل‌های موجود نیاز به پایش وجود دارد	ریسک پایین L	$RPN > 11$

در بررسی جامع خطرات نیروگاه گازی، ریسک‌های بالقوه ناشی از آتش‌سوزی و انفجار، فرسودگی تجهیزات حساس، آسیب‌های الکتریکی و خطرات ناشی از عوامل طبیعی شناسایی و برای هر یک، راهکارهای کنترلی پیشگیرانه و کاهش اثر در قالب جداول تفکیکی ارائه گردید.

جدول ۵- ریسک ایمنی بخش ایجاد حرارت نیروگاه گازی

شرح فعالیت	جنبه ایمنی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RPN
بخش ایجاد حرارت	Heavy Lift	سقوط قطعه - مرگ	6	10	8	480
بخش ایجاد حرارت	Heavy Lift	سقوط قطعه - خسارت مالی	6	10	8	480
بخش ایجاد حرارت	بار معلق	گیر کردن دست - شکستگی	4	8	5	160
بخش ایجاد حرارت	کار در ارتفاع	سقوط افراد/ شکستگی	5	6	4	120
بخش ایجاد حرارت	کار در ارتفاع	سقوط اشیاء/ جراحت	6	6	3	108
بخش ایجاد حرارت	تماس با لبه تیز و برنده	بریدگی بدن	6	4	5	120
بخش ایجاد حرارت	استفاده از تجهیزات برقی	برق گرفتگی و مرگ	5	10	2	100
بخش ایجاد حرارت	جایجایی ابزار و تجهیزات	عوارض اسکلتی و عضلانی	5	5	5	125
بخش ایجاد حرارت	برشکاری با سنگ فرز	پرتاب پلیسه/ آسیب بینایی	5	7	5	175
noise protection نصب	بار معلق	سقوط - شکستگی	4	8	4	128
noise protection نصب	بار معلق	سقوط یا برخورد - خسارت مالی	5	6	4	120
noise protection	وجود اشیاء در ارتفاع	سقوط اشیاء - شکستگی	4	8	4	128

شرح فعالیت	جنبه ایمنی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RP N
نصب						
noise protection نصب	کار در ارتفاع	سقوط افراد - شکستگی	3	6	6	108
noise protection نصب	جوشکاری	برق گرفتگی - مرگ	6	10	4	240
noise protection نصب	استفاده از سنگ فرز	آسیب بینایی ناشی از پرتاب پلیسه	6	7	7	294
noise protection نصب	استفاده از سنگ فرز	شکستگی و در رفتن صفحه سنگ - جراحت	5	8	5	200
noise protection نصب	کار در ارتفاع	سقوط افراد - مرگ	6	10	4	240
noise protection نصب	تماس با اجسام نوک تیز (وارد کردن سر کابل به داخل تابلو)	سوراخ شدگی	5	7	3	105
noise protection نصب	استفاده از سنگ فرز	آسیب بینایی	8	7	7	392

جدول ۶- ریسک ایمنی ترانس نیروگاه گازی

شرح فعالیت	جنبه ایمنی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RP N
انتقال ترانس اصلی بر روی فندانسیون	شبکه هوایی برق	برق گرفتگی - مرگ	6	10	2	120
ترانس اصلی (BAT) Erection	بار برداری	سقوط بار - مرگ	6	10	2	120
ترانس اصلی (BAT) Erection	بار برداری	سقوط بار - خسارت مالی	5	9	3	135
ترانس اصلی (BAT) Erection	بار برداری	برخورد با افراد - شکستگی	6	8	3	144
Final Fixing of Main Trans	استفاده از تجهیزات باربرداری دستی (چین بلاک، راجرز، ...)	سقوط قطعه - شکستگی	6	7	3	126
Final Fixing of Main Trans	تنظیم بار معلق	سقوط - قطع عضو	7	8	3	168
نصب و فیکس کردن ترانس	استفاده وسایل و تجهیزات برقی	برق گرفتگی - مرگ	6	10	4	240
نصب و فیکس کردن ترانس	مهار نبودن اشیاء	سقوط اشیاء - شکستگی	5	6	3	90
نصب و فیکس کردن ترانس	کار در ارتفاع	سقوط افراد - شکستگی	5	6	3	90
نصب و فیکس کردن ترانس	حمل دستی بار	عوارض اسکلتی عضلانی	5	5	5	125
نصب و فیکس کردن ترانس	کار با اجسام برنده	بریدگی دست	6	4	3	72
نصب و فیکس کردن ترانس	استفاده از سنگ فرز	آسیب بینایی ناشی از پرتاب پلیسه	7	7	7	343
نصب و فیکس کردن ترانس	استفاده از سنگ فرز	شکستگی و در رفتن صفحه سنگ - جراحت	5	8	4	160
نصب و فیکس کردن ترانس	جوشکاری و برشکاری با هوا برش	تماس با اشعه مضر - آسیب بینایی	4	6	5	120
نصب و فیکس کردن ترانس	جوشکاری و برشکاری با هوا برش	تماس با سطح داغ - سوختگی گرمایی	5	5	5	125
نصب و فیکس کردن ترانس	استفاده از هوا برش	انفجار کپسول - مرگ	5	10	2	100
ریختن روغن	کار در ارتفاع	سقوط افراد - شکستگی	5	6	3	90

جدول ۷- ریسک ایمنی بخش الکتریکی نیروگاه گازی

ردیف	شرح فعالیت	جنبه ایمنی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RP N
1	MV Unit Board Erection	جاده دسترسی ناهموار	سقوط بار - مرگ	4	10	3	120
2	MV Unit Board Erection	جاده دسترسی ناهموار	سقوط بار - خسارت مالی	5	9	4	180
3	MV Unit Board Erection	بار برداری	سقوط بار - شکستگی	6	10	2	120
4	MV Unit Board Erection	بار برداری	سقوط بار - خسارت مالی	6	10	2	120

135	3	9	5	برخورد با افراد - شکستگی	بار برداری	MV Unit Board Erection	5
144	3	8	6	واژگونی بار / خسارت مالی	انتقال بار توسط جک پالت	MV Unit Board Erection	6
126	3	7	6	سقوط اشیاء - شکستگی	opening وجود نقاط	MV Unit Board Erection	7
168	3	8	7	سقوط افراد - شکستگی	opening وجود نقاط	MV Unit Board Erection	8
240	4	10	6	سقوط قطعه - شکستگی	استفاده از تجهیزات باربرداری دستی (چین بلاک، راجرز)	MV Unit Board Erection	9
90	3	6	5	سقوط - قطع عضو	تنظیم بار معلق	MV Unit Board Erection	10
90	3	6	5	برق گرفتگی - مرگ	استفاده وسایل و تجهیزات برقی	MV Unit Board Erection	11
				سقوط اشیاء - شکستگی	وجود اشیاء در ارتفاع	MV Unit Board Erection	12
				سقوط افراد - شکستگی	کار در ارتفاع	MV Unit Board Erection	13
				عوارض اسکلتی عضلانی	حمل دستی بار	MV Unit Board Erection	14
120	3	8	5	بریدگی دست	کار با اجسام برنده	MV Unit Board Erection	15

جدول ۸- ریسک بهداشتی بخش ایجاد حرارت نیروگاه گازی

RPN	وقوع	شدت	رخداد	پیامد	جنبه بهداشتی	شرح فعالیت	ردیف
56	2	7	4	افت شنوایی	سرو صدای تمیزکاری با وایبرس	بخش ایجاد حرارت	1
56	2	7	4	بیماریهای ریوی	گردو غبار تمیزکاری با وایبرس	بخش ایجاد حرارت	2
56	2	7	4	کاتاراکت	اشعه مضر جوشکاری	بخش ایجاد حرارت	3
48	2	8	3	بیماریهای ریوی	فیوم جوشکاری	بخش ایجاد حرارت	4
48	2	6	4	افت شنوایی	سرو صدای سنگ فرز	بخش ایجاد حرارت	5

جدول ۹- ریسک بهداشتی ترانس نیروگاه گازی

RPN	وقوع	شدت	رخداد	پیامد	جنبه بهداشتی	شرح فعالیت	ردیف
48	2	6	4	کاتاراکت	اشعه مضر جوشکاری	نصب و فیکس کردن ترانس	۱
56	2	7	4	بیماریهای ریوی	فیوم جوشکاری	نصب و فیکس کردن ترانس	۲
48	2	6	4	افت شنوایی	سرو صدای سنگ فرز	نصب و فیکس کردن ترانس	۳
40	2	5	4	استرس گرمایی	گرمای هوا	نصب و فیکس کردن ترانس	۴
48	2	8	3	بیماریهای پوستی	رنگ و تاچاپ	نصب و فیکس کردن ترانس	۵
54	3	6	3	بیماری ریوی	رنگ و تاچاپ	نصب و فیکس کردن ترانس	۶
48	2	6	4	بیماریهای پوستی	تماس با روغن	پر کردن ترانس از روغن	۷
48	2	8	3	بیماریهای گوارشی	تماس با روغن	پر کردن ترانس از روغن	۸
48	2	6	4	ابتلا به سرطان پوست	تماس با روغن	پر کردن ترانس از روغن	۹

جدول ۱۰- ریسک بهداشتی ترانس نیروگاه گازی

42	2	7	3	بیماریهای ریوی	فیوم جوشکاری	Cable Tray & Conduit of Steam unit	4
54	3	6	3	افت شنوایی	سرو صدای سنگ فرز	Cable Tray & Conduit of Steam unit	5
40	2	5	4	کاتاراکت	اشعه مضر جوشکاری	Cable Tray & Conduit of Steam unit	6
48	2	8	3	بیماریهای پوستی	رنگ و تاچاپ	Cable Tray & Conduit of Steam unit	7
56	2	7	4	بیماریهای ریوی	رنگ و تاچاپ	Cable Tray & Conduit of Steam unit	8
56	2	7	4	استرس گرمایی	گرمای هوای محیط	MV Cabling & Access.of Steam Unit	9
40	2	5	4	استرس گرمایی	گرمای هوای محیط	LV Cabling & Access.of Steam Unit	10
40	2	5	4	کاتاراکت	اشعه مضر جوشکاری	Station Transformer	11

54	2	9	3	بیماریهای ریوی	فیوم جوشکاری	Station Transformer	12
56	2	7	4	افت شنوایی	سرو صدای سنگ فرز	Station Transformer	13
56	2	7	4	بیماریهای پوستی	رنگ و تاجپ	Station Transformer	14
40	2	5	4	بیماری ریوی	رنگ و تاجپ	Station Transformer	15
72	2	9	4	استرس گرمایی	گرمای هوای محیط	Station Transformer	16

جدول ۱۱- ریسک بهداشتی بخش الکتریکال نیروگاه گازی

ردیف	شرح فعالیت	جنبه بهداشتی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RPN
1	Gen. Sole Plate & Bearing Base Plate Erec	سرو صدای تمیزکاری با وایبررس	افت شنوایی	4	6	2	48
2	Gen. Sole Plate & Bearing Base Plate Erec	گرد و غبار تمیزکاری با وایبررس	بیماریهای ریوی	4	7	2	56
3	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	اشعه مضر جوشکاری	کاتاراکت	4	6	2	48
4	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	فیوم جوشکاری	بیماریهای ریوی	4	5	2	40
5	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	سرو صدای سنگ فرز	افت شنوایی	3	8	2	48
6	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	گرد و غبار تمیزکاری داخل باس داکت با هوای فشرده	بیماریهای ریوی	3	6	3	54
7	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	تاجپ کاری	بیماریهای پوستی	4	6	2	48
8	Gen. & Housing Steel structures &	رنگ و تاجپ	بیماری ریوی	3	8	2	48

جدول ۱۲- ریسک زیست محیطی بخش ایجاد حرارت نیروگاه گازی

ردیف	شرح فعالیت	جنبه زیست محیطی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RPN
1	بخش ایجاد حرارت	ریزش روغن و گازوییل	آلودگی خاک	5	3	3	26
2	بخش ایجاد حرارت	ریزش روغن و گازوییل	آلودگی آب	5	3	3	26
3	بخش ایجاد حرارت	ریزش روغن و گازوییل	اتلاف منابع	4	1	1	16
4	بخش ایجاد حرارت	دود آگزوز تجهیزات بار برداری	آلودگی هوا	3	2	1	16
5	بخش ایجاد حرارت	مصرف سوخت در تجهیزات باربرداری زمینی	اتلاف انرژی	3	2	1	16
6	بخش ایجاد حرارت	ضایعات تخته	آلودگی دیداری	3	2	1	16
7	بخش ایجاد حرارت	استفاده از تجهیزات برقی	اتلاف انرژی	4	2	1	22
8	بخش ایجاد حرارت	ضایعات فلزی	آلودگی خاک	5	3	3	30
9	بخش ایجاد حرارت	ضایعات فلزی	اتلاف منابع	4	1	1	20
10	بخش ایجاد حرارت	دوباره کاری	اتلاف منابع	4	2	1	22
11	بخش ایجاد حرارت	استفاده از تجهیزات برقی	اتلاف انرژی	4	2	1	22
12	بخش ایجاد حرارت	رنگ و تینر	آلودگی خاک	5	3	3	30
13	بخش ایجاد حرارت	رنگ و تینر	آلودگی هوا	2	3	1	20
14	بخش ایجاد حرارت	رنگ و تینر	اتلاف منابع	4	2	1	22
15	بخش ایجاد حرارت	ظروف خالی رنگ و تینر	آلودگی خاک	5	2	4	30
16	بخش ایجاد حرارت	ضایعات جوش و آهن	آلودگی خاک	5	2	4	30
17	بخش ایجاد حرارت	فیوم جوشکاری و برشکاری	آلودگی هوا	2	2	2	30
18	بخش ایجاد حرارت	سر و صدا	آلودگی صوتی	2	2	2	27

جدول ۱۳- ریسک زیست محیطی ترانس نیروگاه گازی

ردیف	شرح فعالیت	جنبه زیست محیطی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RP N
1	انتقال ترانس اصلی بر روی فندانسیون	ریزش روغن و گازوییل جرثقیل	آلودگی خاک	2	2	1	16
2	انتقال ترانس اصلی بر روی فندانسیون	ریزش روغن و گازوییل جرثقیل	آلودگی آب	3	2	1	24
3	انتقال ترانس اصلی بر روی فندانسیون	ریزش روغن و گازوییل جرثقیل	اتلاف منابع	2	2	1	24
4	انتقال ترانس اصلی بر روی فندانسیون	دود اگزوز جرثقیل	آلودگی هوا	4	2	1	20
5	انتقال ترانس اصلی بر روی فندانسیون	مصرف سوخت در جرثقیل	اتلاف انرژی	4	2	1	22
6	نصب و فیکس کردن ترانس	ضایعات جوش و آهن	آلودگی خاک	2	2	1	16
7	نصب و فیکس کردن ترانس	فیوم جوشکاری	آلودگی هوا	3	2	1	24
8	نصب و فیکس کردن ترانس	سروصدای سنگ فرز	آلودگی صوتی	2	2	1	24
9	نصب و فیکس کردن ترانس	ضایعات فلزی	اتلاف منابع	4	2	1	20
10	نصب و فیکس کردن ترانس	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	1	22
11	پر کردن ترانس از روغن	ریزش روغن	آلودگی خاک	1	3	1	18
12	پر کردن ترانس از روغن	ریزش روغن	آلودگی آب	1	3	1	18
13	پر کردن ترانس از روغن	ریزش روغن	اتلاف منابع	4	3	1	24
14	پر کردن ترانس از روغن	ریزش روغن	آلودگی دیداری	1	2	1	16
15	پر کردن ترانس از روغن	بشکه های خالی روغن	آلودگی دیداری	1	1	1	14
16	پر کردن ترانس از روغن	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	1	22
17	پر کردن ترانس از روغن	پارچه های تمطیف آغشته به روغن	آلودگی خاک	2	1	1	12

جدول ۱۴- ریسک زیست محیطی بخش الکتریکال نیروگاه گازی

ردیف	شرح فعالیت	جنبه زیست محیطی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RP N
1	Gas Unit Aux. Trans Erection	ضایعات جوش و آهن	آلودگی خاک	2	2	1	16
2	Gas Unit Aux. Trans Erection	فیوم جوشکاری	آلودگی هوا	3	2	1	24
3	Gas Unit Aux. Trans Erection	سروصدای سنگ فرز	آلودگی صوتی	2	2	1	24
4	Gas Unit Aux. Trans Erection	ضایعات فلزی	اتلاف منابع	4	2	1	20
5	Gas Unit Aux. Trans Erection	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	1	22
6	Gas Unit Aux. Trans Erection	ریزش روغن و گازوییل	آلودگی خاک	3	2	1	18
7	Gas Unit Aux. Trans Erection	ریزش روغن و گازوییل	آلودگی آب	3	2	1	18
8	Gas Unit Aux. Trans Erection	ریزش روغن و گازوییل	اتلاف منابع	4	2	1	20
9	Gas Unit Aux. Trans Erection	دود اگزوز تجهیزات بار برداری	آلودگی هوا	3	2	1	27
10	Gas Unit Aux. Trans Erection	مصرف سوخت در تجهیزات باربرداری زمینی	اتلاف انرژی	4	2	1	20
11	Gas Unit MV Cablling	درام خالی کابل	آلودگی دیداری	2	2	1	14
12	Gas Unit MV Cablling	ضایعات بست های پلاستیکی ارنج کابل	آلودگی خاک	2	2	2	16

ردیف	شرح فعالیت	جنبه زیست محیطی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RP N
13	Gas Unit MV Cablling	ضایعات سیم و کابل	آلودگی خاک	2	2	4	24
14	Gas Unit MV Cablling	ضایعات سیم و کابل	اتلاف منابع	4	2	4	28
15	Gas Unit MV Cablling	درام خالی کابل	آلودگی دیداری	2	2	1	14
16	Gas Unit MV Cablling	ضایعات بست های پلاستیکی ارنج کابل	آلودگی خاک	2	2	2	16
17	Gas Unit MV Cable Connection	ضایعات سیم و کابل	آلودگی خاک	2	2	4	24
18	Gas Unit MV Cable Connection	ضایعات سیم و کابل	اتلاف منابع	4	2	4	28
19	Gas Unit Power & Control Cabling	درام خالی کابل	آلودگی دیداری	2	2	1	14
20	Gas Unit Power & Control Cabling	ضایعات بست های پلاستیکی ارنج کابل	آلودگی خاک	2	2	2	16
21	Gas Unit Power & Control Cabling	ضایعات سیم و کابل	آلودگی خاک	2	2	4	24

جدول ۱۵- ریسک زیست محیطی بخش ژنراتور نیروگاه گازی

ردیف	شرح فعالیت	جنبه زیست محیطی	پیامد	رخداد	شدت	وقوع	RP N
1	Gen. Sole Plate & Bearing Base Plate Erec	ضایعات فلزی	آلودگی خاک	2	2	1	16
2	Gen. Sole Plate & Bearing Base Plate Erec	سرو صدای سنگ فرز	آلودگی صوتی	2	2	1	16
3	Gen. Sole Plate & Bearing Base Plate Erec	گردوغبار	آلودگی هوا	2	2	1	16
4	Gen. Sole Plate & Bearing Base Plate Erec	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
5	Generator Heavy Lift	ریزش روغن و گازویل	آلودگی خاک	3	2	1	18
6	Generator Heavy Lift	ریزش روغن و گازویل	آلودگی آب	3	2	1	18
7	Generator Heavy Lift	ریزش روغن و گازویل	اتلاف منابع	4	2	1	20
8	Generator Heavy Lift	دود آگروز تجهیزات بار برداری	آلودگی هوا	3	2	1	27
9	Generator Heavy Lift	مصرف سوخت در تجهیزات باربرداری زمینی	اتلاف انرژی	4	2	1	20
10	Generator Heavy	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
11	Substructure2 Assembly	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
12	Setup Lifting Equipment	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
13	Installation Generator Air Drier	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
14	Generator Bearing Preliminary Erection	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
15	Generator Rotor Erection	ریزش روغن و گازویل	آلودگی خاک	3	2	1	18
16	Generator Rotor Erection	ریزش روغن و گازویل	آلودگی آب	3	2	1	18
17	Generator Rotor Erection	ریزش روغن و گازویل	اتلاف منابع	4	2	1	20
18	Generator Rotor Erection	دود آگروز تجهیزات بار برداری	آلودگی هوا	3	2	1	27
19	Generator Rotor Erection	مصرف سوخت در تجهیزات باربرداری زمینی	اتلاف انرژی	4	2	1	20
20	Generator Rotor Erection	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
21	Generator Bearing Final Erec.&Rotor Alignment	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24

ردیف	شرح فعالیت	جنبه زیست محیطی	پیامد	رشد	شدت	وقوع	RP N
22	Generator Cooler Erection	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
23	Generator Commissioning	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
24	Excitation transformer Erection	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
25	Excitation panels Erection	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
26	Excitation panels Erection	ضایعات پلاستیک	آلودگی صوتی	2	2	1	14
27	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	ریزش روغن و گازوییل	آلودگی خاک	3	2	1	18
28	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	ریزش روغن و گازوییل	آلودگی آب	3	2	1	18
29	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	ریزش روغن و گازوییل	اتلاف منابع	4	2	1	20
30	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	دود آگروز تجهیزات بار برداری	آلودگی هوا	3	2	1	27
31	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	مصرف سوخت در تجهیزات باربرداری زمینی	اتلاف انرژی	4	2	1	20
32	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	مصرف برق	اتلاف انرژی	4	2	2	24
33	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	مصرف گاز آرگون در جوشکاری آلومینیم	اتلاف منابع	4	2	1	20
34	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	ضایعات فلزی	آلودگی خاک	2	2	1	16
35	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	ضایعات فلزی	آلودگی دیداری	2	2	1	16
36	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	سرو صدای سنگ فرز	آلودگی صوتی	2	2	1	16
37	Gen. & Housing Steel structures & Bus Duct Erection	فیوم جوشکاری	آلودگی هوا	2	2	1	14

ب) تجزیه و تحلیل خطرات و ارائه راهکارهای کاهش

۱. تحلیل خطرات ایمنی

بخش ایجاد حرارت:

فعالیت‌هایی مانند جابجایی قطعات سنگین با RPN ۴۸۰ (سقوط قطعه و مرگ) و استفاده از تجهیزات برقی با RPN ۲۴۰ (برق‌گرفتگی و مرگ) در رده ریسک‌های بالا (H) قرار گرفتند. این موارد عمدتاً ناشی از نقص در تجهیزات، عدم رعایت پروتکل‌های ایمنی و شرایط نامناسب کاری هستند.

راهکارهای پیشنهادی:

نصب سیستم‌های مهار بار و بازرسی دوره‌ای تجهیزات باربرداری.

استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) و آموزش مستمر پرسنل.

بخش ترانس:

خطراتی مانند نصب ترانس با RPN ۳۴۳ (آسیب بینایی ناشی از پرتاب پلیسه سنگ فرز) و انتقال ترانس با RPN ۲۴۰ (برق‌گرفتگی) نیازمند اقدامات کاهش فوری هستند.

راهکارها:

جایگزینی روش‌های مکانیزه به جای عملیات دستی.

اجرای برنامه‌های پایش الکتریکی و عایق‌بندی مناسب.

بخش الکتریکال:

فعالیت‌های مرتبط با MV Unit Board با RPN ۲۴۰ (سقوط بار و شکستگی) و RPN ۱۸۰ (خسارت مالی) در رده ریسک‌های متوسط (M) طبقه‌بندی شدند.

۲. تحلیل خطرات بهداشتی

تماس با فیوم جوشکاری با RPN 56 و سروصدای تجهیزات با RPN 48 در بخش ایجاد حرارت، منجر به بیماری‌های ریوی و افت شنوایی می‌شوند.
راهکارها:

نصب سیستم‌های تهویه صنعتی و استفاده از گوشی‌های محافظ صدا.
محدودسازی زمان مواجهه کارگران با منابع خطر.
در بخش ترانس، تماس با روغن با RPN 48 و گرمای محیط با RPN 40 از جمله ریسک‌های با اولویت متوسط محسوب می‌شوند.

۳. تحلیل خطرات زیست محیطی

آلودگی خاک و آب:

ریزش روغن و گازوییل با RPN 30 و ضایعات فلزی با RPN 30 در بخش ایجاد حرارت، تأثیرات منفی بر محیط زیست دارند.

راهکارها:

استقرار سیستم‌های جمع‌آوری و بازیافت روغن.
مدیریت پسماندها مطابق با استانداردهای EPA.
اتلاف منابع:

مصرف انرژی در بخش ژنراتور با RPN 24 و اتلاف منابع ناشی از ضایعات با RPN 20 نیازمند بهینه‌سازی فرآیندها هستند.

جدول ۱۶- راهکارهای کاهش ریسک‌های شناسایی شده در نیروگاه گازی ۷۵ مگاواتی

زمان اجرا	مسئول اجرا	راهکارهای کاهش ریسک	RPN	خطر شناسایی شده	بخش
فوری ۱ ماهه	تیم نگهداری	-نصب سیستم‌های مهار بار و سقف‌های محافظ. -بازرسی ماهانه تجهیزات پاربرداری.	480	سقوط قطعات سنگین	ایمنی
ماهه ۳	تیم الکتریکال	-عایق‌بندی کابل‌های فشارقوی. -استفاده از تجهیزات قطع کننده خودکار (AFCI)	240	برق‌گرفتگی در نصب ترانس	
مستمر	HSE	-نصب سیستم‌های تهویه موضعی (LEV). -توزیع ماسک‌های فیلتردار (N95)	56	تماس با فیوم جوشکاری	بهداشتی
فوری	سرپرست کارگاه	-استفاده از گوشی‌های محافظ صدا ($NRR \geq 25$ dB). -محدودسازی زمان کار با دستگاه.	48	سروصدای سنگ فرز	
ماهه ۶	تیم محیط زیست	-نصب مخازن ذخیره‌سازی ثانویه. -اجرای برنامه پایش خاک	30	ریزش روغن و آلودگی خاک	زیست محیطی
ساله ۱	تیم بهره‌برداری	-بهینه‌سازی مصرف سوخت با نصب سیستم‌های کنترل هوشمند. -بازیافت حرارت توربین.	24	اتلاف انرژی در بخش ژنراتور	
ماهه ۲	تیم پروژه	-استفاده از جرقه‌گیرهای دارای سنسور تعادل. -علامت‌گذاری مناطق خطر.	180	سقوط بار در MV Unit Board	الکتریکال
فوری	HSE	-جایگزینی سنگ‌فرزهای دارای محافظ. -الزام استفاده از عینک ایمنی (ANSI Z87.1)	343	آسیب بینایی ناشی از پرتاب پلیسه	

۳- نتیجه گیری

این مطالعه با به‌کارگیری روش تحلیل حالات شکست و اثرات آن‌ها (FMEA)، به ارزیابی جامع ریسک‌های ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی در نیروگاه گازی ۷۵ مگاواتی استان لرستان پرداخت. یافته‌ها نشان داد که بخش‌های مختلف نیروگاه، از جمله ایجاد حرارت، ترانس و الکتریکال با ریسک‌های قابل توجهی مواجه هستند که برخی از آن‌ها در رده ریسک‌های بالا ($RPN \geq 59$) قرار می‌گیرند. از جمله این ریسک‌ها می‌توان به سقوط قطعات سنگین ($RPN=480$)، برق‌گرفتگی ($RPN=240$) و آلودگی خاک و آب ناشی از نشت روغن ($RPN=30$) اشاره کرد. این نتایج با پژوهش‌های پیشین در این حوزه، از جمله مطالعات رضایی و همکاران (۱۴۰۲) و بخشی و همکاران (۱۴۰۳) همسو است که بر چالش‌های ایمنی و زیست‌محیطی نیروگاه‌های گازی تأکید داشته‌اند.

-مقایسه با پژوهش‌های دیگر

۱. همخوانی با مطالعات داخلی:

پژوهش محمدمقام و غلامی‌زاده ۱۴۰۰ نیز از روش FMEA برای ارزیابی ریسک در نیروگاه‌ها استفاده کرده و به نتایج مشابهی در خصوص اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی و بهداشتی دست یافته است.

۲. همسویی با تحقیقات بین‌المللی:

پژوهش Martínez و همکاران (۲۰۱۳) بر مدیریت پسماند و بازیافت در صنایع انرژی تأکید کرده‌اند، که این موضوع با راهکارهای پیشنهادی این مطالعه، مانند بازیافت روغن و ضایعات فلزی، همخوانی دارد.

جمع‌بندی نهایی و پیشنهادها

این تحقیق با ارائه راهکارهای عملی مانند نصب سیستم‌های مهار بار، استفاده از تجهیزات حفاظت فردی (PPE) و استقرار سیستم‌های بازیافت، گامی مؤثر در جهت کاهش ریسک‌های ایمنی، بهداشتی و زیست‌محیطی در نیروگاه‌های گازی برداشته است. با این حال، برای دستیابی به نتایج مطلوب‌تر، پیشنهاد می‌شود:

پیاده‌سازی سیستم‌های پایش هوشمند (IoT) برای نظارت لحظه‌ای بر پارامترهای ایمنی و زیست‌محیطی.

آموزش مستمر پرسنل در زمینه پروتکل‌های ایمنی و مدیریت ریسک.

انجام مطالعات تکمیلی برای ارزیابی اثربخشی راهکارهای اجراشده در بلندمدت.

به‌طور کلی، این پژوهش نشان می‌دهد که روش FMEA ابزاری کارآمد برای شناسایی و مدیریت ریسک در نیروگاه‌های

گازی است و می‌تواند به عنوان الگویی برای نیروگاه‌های مشابه در ایران و سایر کشورها مورد استفاده قرار گیرد.

منابع

- بخشی رضا. «ارزیابی زیستمحیطی نیروگاه‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تولید برق از منظر انتشار دیاکسیدکربن»، (۱۴۰۳)، دوره ۱۳، شماره ۵۱ - شماره پیاپی ۳، صص ۲۸-۵.
- سالنامه آماری استان لرستان، (۱۴۰۱).
- موسی‌زاده محمد، توحیدی سید علی، میرزایی قزانی مجید، صفایی ناصر. «انتخاب قابل‌اطمینان‌ترین تأمین‌کننده برق برای کارخانجات فولادسازی گل‌گهر: رتبه‌بندی نیروگاه‌ها با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره»، (پذیرفته شده، انتشار آنلاین از تاریخ ۱۶ اردیبهشت ۱۴۰۴).
- منظور داوود، رحیمی علیرضا. «اولویت‌بندی نیروگاه‌های تولید برق در ایران با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه»، (۱۳۹۴)، دوره ۴، شماره ۱۴، صص ۱۹۱-۲۱۵.
- محمدفام ایرج، غلامی زاده کامران. «ارزیابی ریسک‌های امنیتی به دو روش FEMA و FEMA فازی و مقایسه نتایج آن‌ها: مطالعه موردی در یک نیروگاه سیکل ترکیبی»، (۱۴۰۰)، مهندسی بهداشت حرفه‌ای، شماره ۸، صص ۱۵-۲۳.
- Martínez, J. D., Puy, N., Murillo, R., García, T., Navarro, M. V., & Mastral, A. M. (2013). Waste tyre pyrolysis—A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 23, 179-213. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.02.038>