JMRA
مجله پژوهش و کاربرد در مکانیک
ISSN: 2251-7383, eISSN: 2251-7391

استفاده از روش FMEA در تعمیرات و نگهداری صنعت آب شیرین کن صنعتی

علی قاسمی*[1] و مهدی شایان مهر[1]

۱-استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی-واحد تهران شمال، تهران؛
* تهران، صندوق پستی ۱۶۵۱۱۵۳۳۱۱، a.ghasemi@iau-tnb.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰-۱-۱۸ **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۰-۵-۲۷

چکیده: در دهه های آینده بخش زیادی از جمعیت جهان دچار کم آبی و پیامدهای منفی ناشی از آن می شوند. یکی از گزینه های مطرح برای مقابله با بحران کم آبی، شیرین کردن آب دریاها و نمک زدایی از آنهاست که البته راه حلی گران و پرهزینه است. لذا توجه ویژه به مبحث نگهداری و تعمیرات این دستگاه ها از اهمیت بسزایی برخوردارست. از اینرو در این مقاله سعی بر آن شده است تا با ارائه مدلی از روش FMEA در فرآیند تولید آب شیرین در سایت درگهان شرکت رعد آب جنوب، از توقفات تولید کاسته شود و هزینه های تعمیرات و نگهداری تاحد امکان کاهش یابد. با استفاده از سوابق خرابی در شرکت رعد آب جنوب، کاتالوگ دستگاه ها، نظر سنجی و تبادل اطلاعات از متخصصان و دست اندرکاران شرکت و تجهیزات مشابه در صنایع دیگر همانند نفت و گاز و پتروشیمی که دارای خط تولید آب شیرین کن می باشند، با تمرکز بر قطعات مهم و استراتژیک ابتدا بحرانی ترین تجهیز انتخاب و با استفاده از بررسی حالات و اثرات شکست، خرابی ها و تاثیر آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار می گیرد و سپس با استفاده از منطق درخت تصمیم گیری، بهترین استراتژی نت پیاده سازی شده است.

واژه‌های کلیدی: نگهداری و تعمیرات، آنالیز حالات خرابی، درخت تصمیم گیری، اسمز معکوس، آب شیرین کن

۱. مقدمه

با رشد جمعیت، منابع آب طبیعی در حال تمام شدن هستند و این مسئله ، سبب نگرانی بسیاری از دولت‌ها در سراسر دنیا شده است. گاهی بدلیل مشکلات کمبود آب ، این ماده را جیره بندی می‌کنند تا مصرف آن را تعدیل نمایند [۱]. با توجه به اینکه اکثر آب های موجود در کره زمین آب های شرب نیستند، وجود دستگاه های آب شیرین کن در دنیا رو به افزایش می باشد. از اینرو در سالهای اخیر تحقیقات گسترده ای توسط محققین بر روی آنها صورت گرفته است [۲-۴]. دستگاه های آب شیرین کن بسیار گران قیمت بوده و تامین قطعات آن به سختی میسر میگردد، لذا توجه ویژه به مبحث نگهداری و تعمیرات این دستگاه ها از دو جهت اهمیت بسزایی دارد: جلوگیری از هزینه های اضافی در نگهداری و تعمیرات غیر ضروری و پیش بینی مصرف قطعات مهم و اساسی دستگاه و از سوئی دیگر کاهش توقفات ناشی از خرابی دستگاه و تداوم تولید آب شیرین. بنابراین به دلیل خودکاری ماشین آلات، بالارفتن حجم سرمایه گذاری و افزایش قیمت قطعات، اهمیت امور نگهداری و تعمیرات و مدیریت فنی پیشرفت چشمگیری داشته است [۵].

درگهان، از شهرهای کوچک استان هرمزگان در ۴۰ کیلومتری شهرستان قشم قرار دارد و دارای آب و هوای بسیار گرم و شرجی بوده و آب آشامیدنی جمعیت حدود ۲۰ هزار نفری این منطقه توسط شرکت رعد آب جنوب با عقد قراردادی که با سازمان آب دارد، تامین می شود. افزایش قابلیت اطمینان و تحویل به موقع آب شیرین تولیدی از اهمیت بسزایی برخوردار است. از اینرو در این مقاله به بررسی موردی بررسی حالات و اثرات شکست[1]در فرآیند تولید آب شیرین در سایت درگهان شرکت رعد آب جنوب پرداخته شده است.

یکی از این روش های جدید و به روز در علم نگهداری و تعمیرات روش FMEA می باشد که توسط بسیاری از محققین و شرکت ها مورد بررسی و استفاده و بررسی قرار گرفته است [۸-۶]. در این مقاله از آن در یکی از شرکت های تولید آب شیرین کشور استفاده شده است. از روش FMEA در جهان برای مسائل مختلف استفاده گردیده است که از آن جمله می توان به استفاده FMEA برای سیستم موتور [۹]، استفاده از FMEA در آنالیز حالات شکست بوژی واگن باری [۱۰]، استفاده از FMEA در آنالیز خرابی آب شیرین کن تحت شرایط متغییر محیطی [۱۱]، نقشه تصمیم گیری و مدلسازی بهینه برای آب شیرین کن دریای عمان با استفاده از FMEA [۱۲] اشاره کرد. در ایران از این روش تنها در صنایع فولاد [۱۳] نفت و گاز [۱۴] و صنایع ریلی [۱۵] استفاده گردیده است ولی تا کنون در صنعت آب شیرین کن استفاده نگردیده است که از این حیث جدید و نو می باشد.

در این تحقیق با توجه به اطلاعات موجود و با استفاده از نظرات خبرگان و کارشناسان با تجربه این شرکت (بخصوص در دفتر تهران)، ابتدا تا با شناسایی علل اصلی خرابیهای مهمترین دستگاه شرکت (گلوگاه تولید) و با استفاده FMEA، خرابیها و تاثیر آنها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سپس با استفاده از منطق درخت تصمیم گیری بهترین استراتژی نت پیاده سازی شده تا از توقفات اضطراری و تعمیرات غیر ضرور برای سایر قطعات جلوگیری نماید.

ساختار مقاله بدین شرح می باشد: در ابتدا در بخش ۲ به خصوصیات سیستم آب شیرین کن صنعتی منطقه درگان شرکت رعد آب جنوب پرداخته شده و سپس در بخش ۳ به پیاده سازی روش FMEA بر روی سیستم آب شیرین کن صنعتی پرداخته شده

۲- سیستم آب شیرین کن منطقه درگان

تحقیق حاضر بر روی سایت تولید آب شیرین شرکت رعد آب جنوب واقع در منطقه درگهان استان هرمزگان با تعداد ۲ دستگاه آب شیرین کن هریک با ظرفیت ۲۵۰۰ متر مکعب در روز، ساخت شرکت اکسل واتر[2]انگلستان می باشد. شرکت رعد آب جنوب از روش اسمز معکوس[3] برای تولید آب شیرین منطقه درگهان استفاده می کند. اسمز معکوس یک فرایند فیزیکی است که می توان از محلولی (حلال + ناخالصی) به کمک یک غشاء نیمه تراوا، حلال تقریبا خالص تهیه کرد. اگر یک غشاء نیمه تراوا[4]بین دو محلول با غلظتهای متفاوت قرار گیرد، مقداری از حلال (رقیق) از یک طرف غشاء به طرف دیگر منتقل می شود. برای غلبه بر این پدیده، نیاز به اعمال فشاری وجود دارد تا جریان آب برعکس شده و از محلول شورتر (رقیق تر) به محلول شیرین تر انتقال یابد. این فشار در واقع همان فشار اسمزی است. تکنولوژی اسمز معکوس از غشاهای نیمه تراوا برای عبور مولکول‌های آب و به

[1] Failure Mode Effect Analysis (FMEA)

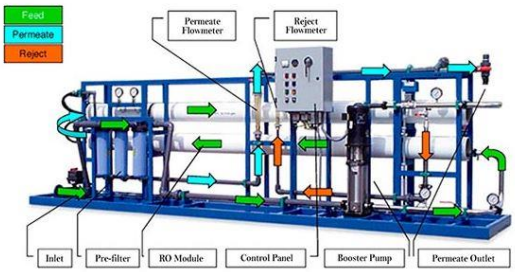
[2] Excel Water

[3] Reverse Osmosis

[4] Semi-Permeable Membrane

طور همزمان ممانعت از عبور مولکول‌های یون‌های محلول، استفاده می‌کند. با استفاده از اعمال فشار بر آب خوراک، مولکول‌های آب از غشا عبور کرده و وارد مسیر محصول (آب شیرین) شده و یون‌های محلول و ناخالصی ها در سمت پساب (آب شور تغلیظ شده) باقی می‌ماند.

یک سیستم رایج اسمز معکوس آب دریا شامل موارد ۱- ورودی آب دریا، ۲- پیش تصفیه[5]بسته به کیفیت آب ورودی طراحی می شود) ۳-پمپ فشار قوی[6]به منظور غلبه بر فشار اسمزی تعبیه می گردد) ۴-مجموعه غشا (نوع آن بر حسب کیفی[7] ورودی و در خواستی آب می باشد) ۵- بازیافت انرژی (در صورت نیاز)، ۶- معدنی سازی مجدد و تنظیم PH ، ۷- کنترل پنل هشدار و مدیریت سیستم می باشد. ساختار کلی روش اسمز معکوس در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): نمای شماتیک از ساختار اسمز معکوس [۱۶]

فرآیند تولید آب شیرین در شرکت آب رعد جنوب شامل سه مرحله، پیش تصفیه، تصفیه و پس تصفیه می باشد. قابل توجه می باشد که ساختار درختی تجهیزات با رعایت استاندارد ISO۱۴۲۲۴ (استاندارد نگهداشت و قابلیت اطمینان در صنایع نفت و گاز و پتروشیمی) ترسیم گردیده است.

آب خام ورودی به غشا اسمز معکوس بایستی عاری از ذرات معلق، میکروارگانیسم و کلر آزاد باشد که به همین دلیل در تمامی دستگاههای اسمز معکوس سیستم پیش تصفیه تعبیه می گردد. معمولاً تجهیزات مورد استفاده جهت پیش تصفیه آب سیستم های اسمز معکوس معمولاً شامل: ۱- فیلتر شنی و کربن اکتیو، ۲- سختی گیری، ۳- ضد عفونی با اشعهUV، ۴- تزریق کلر ومواد شیمیایی نظیر سدیم متا بی سولفیت، آنتی اسکالانت، اسید و ۵- میکروفیلتر یا قیلترهای کارتریج در ورودی آب به غشاهای اسمز معکوس می باشد. فرآیند پیش تصفیه تولید آب شیرین در شرکت آب رعد جنوب در شکل (۲) آورده شده است.

بخش تصفیه آب در سیستم اسمز معکوس شامل قسمتهای اصلی: ۱- مجموعه پمپ فشار بالا، ۲- مجموعه تقویت کننده فشار هیدرولیکی[8]، ۳- قسمت مجموعه اتصالات و ابزار دقیق مشترک بین لوله های فشار ها، ۴- تابلو برق مدار فرمان، ۵- تابلوهای برق مشترک (مدار قدرت) می باشد. ساختار درختی این مجموعه در شکل (۳) نشان داده شده است.

همچنین ساختار پس تصفیه در شرکت رعد آب، تنها شامل یک بخش کنترل PH وTDS[9] آب فعالیت داشته که از طریق سنسورها کیفیت آب خروجی کنترل می گردد.

---

[5] Pre treatment

[6] High Pressure Pump

[7]

[8] .Hydraulic Pressure Booster (HPB)

[9] Total dissolved solids

در این مقاله به اجرای روش FMEA برروی سیستم آب شیرین کن برای یافتن قطعه یا زیر سیستم بحرانی پرداخته شده است تا ضمن تعریف فعالیت های پیش اقدام لازم در مورد قطعه بحرانی، شکست آن را در سیستم کاهش داده و در نتیجه توقفات سیستم کاهش یابد.

۳- پیاده سازی FMEA برروی سیستم آب شیرین کن صنعتی منطقه درگان

به منظور اجرای روش FMEA، در ابتدا با مطالعه و بررسی پایگاه داده ها (سوابق خرابی در شرکت رعد آب جنوب، کاتالوگ دستگاه ها، نظر سنجی و تبادل اطلاعات از متخصصان و دست اندرکاران شرکت های پالا فرآیند راستین، مشاور شرکت رعدآب، و رعد آب جنوب و تجهیزات مشابه در صنایع دیگر)، عوامل موثر برخرابی تجهیزات مورد نظر، شناسایی و بانک داده ها تشکیل گردیده است. سپس داده ها، پیش پردازش و پاکسازی گردیده، داده هایی که برای هدف مورد نظر مناسب نیستند یا اطلاعات تکراری حذف شده اند. در صورت لزوم برای داده های گمشده، مقدار مناسب جایگزین گردید. در مرحله بعد با استفاده از تکنیک های آماری، داده ها دسته بندی و تجزیه و تحلیل های اولیه صورت می گیرد. در این راستا از ابزارهای پژوهشی مرتبط یا موضوع همانند طبقه بندی، درخت تصمیم گیری، ابزار آنالیز خرابی (FMEA) استفاده شده است. در نهایت از بین اطلاعات بدست آمده، قوانین غیر بدیهی مشخص و علت وجود قوانین تبیین گردید.

برای درک بهتر عوامل موثر بر خرابی ها، ساختار درختی تجهیزات مورد مطالعه ترسیم (شکل (۲)) و حالات خرابی ممکن برای آنها تعیین شده است. .سپس با استفاده از ابزار حالات خرابی به بررسی خرابی ممکن برای آنها تعیین گردید. سپس با استفاده از ابزار آنالیز حالات خرابی به بررسی عوامل خرابی و تاثیر آنها پرداخته شده و در نهایت استراتژی مناسب نت برای تجهیز منتخب با در نظرگرفتن ریسک قابل قبول انتخاب گردید.

پس از پیاده سازی و اجرای روش نت انتخاب شده (نت پیش گویانه) تاثیر این روش بر خرابی تجهیزات مورد بررسی و نتایج حاصله مورد ارزیابی قرار گرفت، تا اگر نتوان از روش نت موجود در مورد قطعه بحرانی به نتایج مطلوب دست یافت از فعالیتهای پیش فرض بدست آمده از این ارزیابی ها بتوان راهکاری برای مهار خرابی پیدا نمود.

طراحی و اجرای فرم درخواست تعمیرات آب شیرین کن و فرم تعمیرات و ثبت توقفات که شامل بررسی انواع توقفات در مجموعه های آب شیرین کن و زمان لازم برای راه اندازی مجموعه ها، در یک بازه زمانی یک ساله (۱۳۹۲-۱۳۹۱) توسط پرسنل فنی شرکت رعد آب جنوب تکمیل و نتایج حاصله در جدول (۱) تنظیم گردید.

جدول (۱): فرم ثبت تکرار تعمیرات در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۲

شرح فعالیت	نام تجهیز	تعداد تعمیر	دفعات	زمان لازم برای تعمیر (ساعت)	سطح تعمیرات	تخصص
گرفتگی لوله های تحت فشار	لوله های تحت فشار	۹۸		۲۸۶		فنی شرکت رعد آب
تعویض لوله های تحت فشار	لوله های تحت فشار	۳۳		۷۶		فنی شرکت رعد آب
عیب در کمپرسور	کمپرسور	۶		۹۰		نماینده شرکت سازنده
نقص فنی در دیسک فیلتر	دیسک فیلتر	۱۸		۱۸۵		فنی شرکت رعد آب
نقص فنی در پمپ اسکله	پمپ اسکله	۶۲		۲۰۳		فنی شرکت رعد آب

خرابی و نقص فیلتر شنی	فیلتر شنی	۲۱	۳۰	فنی شرکت رعد آب
خرابی پکیج تزریق کلر	پیش تصفیه	۹	۲۵	فنی شرکت رعد آب
خرابی کوپلینگ پمپ فشار	پمپ فشار	۱۲۰	۲۴۰	فنی شرکت رعد آب
مشکل در تابلو برق و PLC	تابلو	۴۸	۱۳۰	فنی شرکت رعد آب
نقص در ERT	پمپ فشار بالا	۸	۴۵	فنی شرکت رعد آب
نقص در سیستم بلوئر	پیش تصفیه	۳۶	۱۳۵	فنی شرکت رعد آب

از اینرو با استفاده از بانک اطلاعاتی موثق تهیه شده، در ادامه برای بررسی فرآیند FMEA از آن استفاده می گردد. هدف از این روش تعیین قطعه بحرانی است که توسط عدد ریسک محاسبه می گردد که به صورت رابطه (۱) بیان می شود [۱۷]. در روش FMEA پس از شناسایی و استخراج ریسک ها، عدد اولویت ریسک RPN برای هر حالت بالقوه خطا و اثر آن با ضرب سه عامل شدت اثر، احتمال وقوع و قابلیت کشف خطا تعیین می شود.

( ) * شدت (O) * احتمال وقوع (D(درجه تشخیص

(۱) اثر (D=(RPN

اعداد شدت اثر، احتمال وقوع و درجه تشخیص از طریق تحقیق میدانی و نیز کسب اطلاعات از پرسنل خبره شرکت و تکیه بر داده های حاصل از فرم های ثبت خرابی، تعیین شده است. از اینرو قطعه بحرانی با درجه شکست بالا شناسایی شده و در انتها برنامه ریزی و فعالیتهای سختگیرانه جهت کاهش یا حذف عامل شکست تعریف می گردد. نتایج حاصله در جدول (۲) آورده شده است.

همانطوریکه در جدول (۲) مشاهده می شود تجهیز لوله های تحت فشار (که دارای ۶ غشا در داخل آن است) با کسب ۶۰ امتیاز بعنوان تجهیز بحرانی شناسایی گردیده است.

۴- نتیجه گیری

در این مقاله با استفاده از روش FMEA عوامل موثر بر بروز خرابی در تجهیزات غشائی قسمت تصفیه آب، خط تولید آب شیرین کن سایت درگهان شرکت رعد آب جنوب در استان هرمزگان شناسایی شده و تاثیر این روش بر خرابی تجهیزات بررسی شده

---

[0] Risk Priority Number (RPN)

[1] Severity (S)

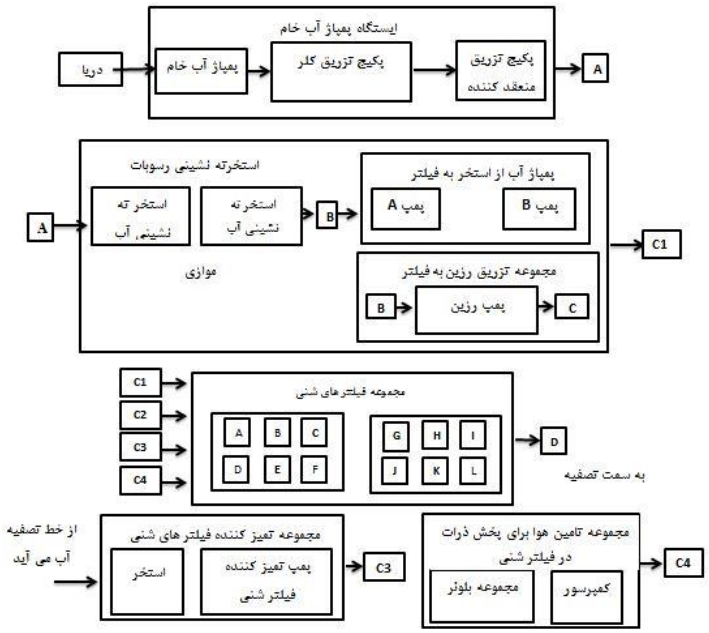
[2] Occurrence (O)

[3] Detection (D)

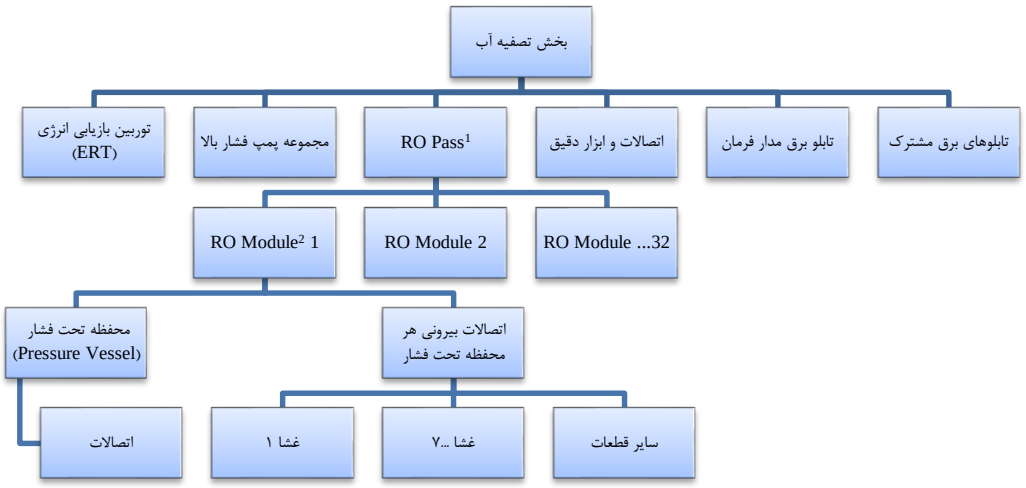
[4] Pressure vessel

است. عدد ریسک ۶۰ برای تجهیز پرشر وسل که نشان از بحرانیت آن می باشد، باید به عنوان محور فعالیت های پیش اقدام و اصلاحی در آب شیرین کن قرار گیرد تا تلفات و هزینه های ناشی از شکست این تجهیز کاهش یافته یا به صفر برسد.

برای کاهش عدد ریسک حالات شکست، به کمک متخصصان شرکت رعد آب جنوب اقداماتی جهت تدوین یک دستورالعمل مدون و سختگیرانه برای تجهیز بحرانی نموده و آن را در دستور کار پرسنل شرکت قرار داده است، که مهمترین آن عبارتند از: ۱-تکمیل فرم کنترل روزانه پارامترهای آب خوراک و آب تولیدی، ۲-حذف بیشتر مواد معلق از آب خوراک توسط فیلتر کارتریج های قوی تر، ۳-کنترل PH آب ورودی و جلوگیری از آسیب وارده به غشا و پوسته پرشر وسل، ۴-دقت و کنترل کیفیت ممبرین و قطعات وابسته به آن در هنگام خرید، ۵-کنترل و پایش فشار آب ورودی از پیش تصفیه به قسمت RO برای جلوگیری از تغییر شکل غشا، ۶-بالا بردن سطح دانش فنی پرسنل در نگهداری و شستشوی ممبرین، ۷-استفاده از مواد ضد رسوب و ضد خزه جهت حذف هرگونه عامل بیولوژیکی و شیمیایی جهت جلوگیری از آسیب غشا با انتخاب بهترین استراتژی نت کاهش نرخ خرابی و توقفات دستگاه رخ داده و می توان انتظار افزایش تولید و نیز قابلیت اطمینان به دستگاه را داشت و در نتیجه هزینه های نگهداری و تعمیرات نیز کاهش می یابند.



شکل (۲): ساختار بخش پیش تصفیه آب شیرین کن صنعتی درگان شرکت رعد آب جنوب



شکل (۳): ساختار بخش تصفیه آب شیرین کن صنعتی درگان شرکت رعد آب جنوب

جدول (۲): کاربرگ FMEA آب شیرین کن صنعتی درگان شرکت رعد آب جنوب

ردیف	نام قطعه	عملکرد قطعه	شرح خرابی	حالت خرابی	تاثیر بر سیستم	علت خرابی	رفع خرابی	RPN
۱	پمپ اسکله	تامین آب تغذیه	خرابی پروانه پمپ	قفل شدن	از کار افتادن پمپ	خرابی شافت و پروانه به خاطر نمک آب دریا	استفاده از پیش فیلتر	۳۶
۲	دیسک فیلتر	جدا سازی ناخالصی های معلق در اب	خرابی دیسک فیلتر	سوراخ شدن دیافراگم	از کار افتادن بخشی از پیش تصفیه	تغییر ماهیت PH آب	کنترل PH آب به صورت منظم	۲۷
۳	پکیج تزریق کلر	کلر زنی به آب تغذیه	خرابی پکیج تزریق کلر	عدم تزریق کلر به آب تغذیه	عدم میکروب زدایی آب خروجی	سرویس نادرست و نا منظم پکیج	کنترل دقیق کارکرد و سرویس دوره ای منظم	۲۴
۴	غشا ولوله های تحت فشار	حذف کامل ناخالصی ها و املاح موجود در آب	خرابی غشا و لوله های فشار	گرفتگی غشا و لوله های فشار	کاهش فشار خروجی آب تولیدی	وجود اشیاء خارجی در محفظه لوله های فشار	تقویت سیستم پیش تصفیه و فیلتر های شنی	۶۰
۵	تابلو برق و plc	مدار قدرت و فرمان برقی سیستم	خرابی تابلو برق و PLC	از کار افتادن کنتاکتور،رله و PLC	توقف دستگاه در قسمت معیوب	نوسانات برق	استفاده از ترانس و UPS	۳۲
۶	پمپ فشار بالا	تامین فشار بالا جهت هدایت آب به سمت ERT	نقص در ERT	خرابی پکینگ	کاهش تولید و حجم آب تصفیه شده	سرویس نامنظم و نادرست	سرویس های دوره ای منظم و دقیق	۴۸
۷	بلوئر	تزریق هوا به آب برای پخش ذرات در فیلتر شنی	نقص در بلوئر	از کار افتادن موتور	کاهش کیفیت آب پیش تصفیه	گیر کردن اشیاء خارجی و لجن در پروانه و فشار به موتور	تقویت فیلتراسیون پیش تصفیه	۳۶
۸	کمپرسور	تزریق هوا به آب برای پخش ذرات در فیلتر شنی	خرابی کمپرسور	افت فشار در خروجی کمپرسور	عدم اختلاط کلر و آب	فشار کار بیش از حد کمپرسور	سرویس منظم دورهای توسط نمایندگی مجاز	۱۶
۹	فیلتر شنی	گرفتن املاح معلق در آب	ناخالصی زیاد آب ورودی به سیستم تصفیه	افت فشار خروجی فیلتر	املاح و ناخالصی ها وارد سیستم غشا میگردد	گرفتگی و اشباع شدن املاح در فیلتر شنی	بک واش (شستشوی معکوس) به موقع	۱۸
۱۰	ERT	تقویت کننده فشار هیدرولیکی	عمل نکردن سیستم هیدرولیک	از کار افتادن پمپ هیدرولیکی	کاهش تولید و حجم آب تصفیه شده	فشار کاری بالا و عدم سرویس منظم	سرویس منظم دورهای توسط نمایندگی مجاز	۱۲

۵- منابع

[۱] میران زاده، محمدباقر.، داورخاه، ربانی (۱۳۹۴). بررسی کیفیت شیمیایی آب ورودی و خروجی دستگاه های آب شیرین کن شهر کاشان طی سال های ۸۷ – ۱۳۸۶، نشریه فیض، دوره ۱۴، شماره ۲، صفحه ۱۲۰-۱۲۵.

[2] Mardani, S., Ojala, L.S., Uusi-Kyyny, P., Alopaeus, V. (2016). Development of a unique modular distillation column using 3D printing, Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, Vol. 109, pp. 136–148.

[3] Li, Y., Wang, L., Zhu, M., Wang, W. (2017). Optimization study of distillation column based on Type I absorption heat pump, Applied Thermal Engineering, Vol. 116, pp. 33–42.

[4] Li, L., Guo, L., Tu, Y., Yu, N., Sun, L., Tian, Y., Li, Q. (2017). Comparative analysis of full-scale membrane distillation contactors - methods and modules, Journal of Membrane Science, Vol. 524, pp. 758–771.

[۵] حاج شیرمحمدی، علی (۱۳۹۵). برنامه ریزی نگهداری و تعمیرات (مدیریت فنی در صنایع)، نشر ارکان دانش، چاپ ۲۳.

[6] Colli, A. (2015). Failure mode and effect analysis for photovoltaic systems, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 50, pp. 804–809, 2015.

[7] Emovon, I., Norman, R.A., Alan, J.M., Pazouki, K. (2015). An integrated multicriteria decision making methodology using compromise solution methods for prioritising risk of marine machinery systems, Ocean Engineering, Vol. 105, pp.92-103.

[8] Cheng, M., Lu, Y. (2015). Developing a risk assessment method for complex pipe jacking construction projects, Automation in Construction, Vol. 58, pp.48-59.

[9] Xu, K., Tang, L.C., Xie, M., Ho, S.L., Zhu, M.L. (2002). Fuzzy assessment of FMEA for engine systems, Reliability Engineering & System Safety, Vol. 75, No. (1), pp.17-29.

[10] Li, Y.H., Wang, Y.D., Zhao, W.Z. (2009). Bogie failure mode analysis for railway freight car based on FMECA. In Reliability, Maintainability and Safety, ICRMS 2009, 8th International Conference on, pp. 5-8.

[11] Ioannis, D., Theodoros, L., Nikitas, N. (2013). Application of FMEA to an Offshore Desalination Plant under Variable Environmental Conditions, International Journal of Performability Engineering, Vol. 9, No. 1, pp.105-116.

[12] Hinai, A.Al. (2014). Decision mapping and optimal inspection models for Oman seawater desalination plants, Ph.D. dissertation, Glasgow Caledonian University.

[۱۳] افضل آبادی، محمدرضا، پاکدامن، احمد، سعیداردکانی، سعید، حسین افضل آبادی، محمدحسین (۱۳۸۷). آنالیز خطر در شرکت فولاد آلیاژی ایران با استفاده از روش FMEA، اولین کنفرانس بین المللی جایگاه ایمنی، بهداشت و محیط زیست در سازمانها، اصفهان، شرکت تجارت آروین پیشرو.

[۱۴] قاسمی، شمسی (۱۳۹۲). ارزیابی ریسک پالایشگاه های گاز کشور با رویکرد احتمالی، پایان نامه دکترا، دانشگاه ترتبیت مدرس.

[۱۵] بلبل امیری، نجمه، اسدی لاری، علی (۱۳۸۹). ارزیابی ریسک آتش سوزی قطارهای مسافری ایران با استفاده از رویکرد FMEA، نشریه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱، شماره ۴، صفحه ۲۷-۳۷.

[16] http://www.abpsoil.com , March 2017.

[17] Mikulak, R.J., McDermott, R., Beauregard, M., (2008). The basics of FMEA, CRC Press.