Journal of Farayandno – Vol. 17 – No. 78 (2022): 71-94

Review Article

An Overview of the Risks of Petroleum Concrete Storage Tanks and their Management and Maintenance Methods

Hosna Sadiri [1], Dr Manuchehr Behruyan [2*], Abbas Ghasemi [2]

[1] PhD Student, Department of Civil, Faculty of Civil and Earth Resources Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

[2] Assistant Professor, Department of Civil, Faculty of Civil and Earth Resources Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Received: 4 Apr 2022 **Accepted:** 6 Aug 2022

Abstract

Concrete oil tanks are one of the most important storage structures. These reservoirs require management and maintenance during their operation period to deal with various risks. Lack of maintenance management of concrete tanks can lead to life, environmental, economic and social risks. According to the geographical location of Iran, oil extraction, consumption and export, and concrete tanks have become very important, and the need for maintenance management is felt. This research focuses on the introduction of risks, risk-based management and maintenance methods for petroleum concrete storage tanks. First, the definitions, types of maintenance, risk cycle and research related to reservoir risks are reviewed. The basis for future research and suggestions for research, based on previous studies, can be considered by providing risk-based maintenance management.

Keyword: Risk, Management and Maintenance, Concrete Tanks, Structural Information, Maintenance Operations, Risk Based Maintenance.

* drbehruyan@yahoo.com

Please Cite This Article Using:

Sadiri, H., Behruyan, M., Ghasemi, A., "An Overview of the Risks of Petroleum Concrete Storage Tanks and their Management and Maintenance Methods", Journal of Farayandno – Vol. 17 – No. 78, pp. 71-94, In Persian, (2022).

مقاله مروری

مروری بر ریسک های مخازن ذخیره سازی بتنی نفتی و روشهای مدیریت و نگهداری آنها

حسنا صدیری [۱]، منوچهر بهرویان [۲*]، عباس قاسمی [۲]

[۱] دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

[۲] استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی عمران و منابع زمین، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵ **پذیرش:** ۱۴۰۱/۰۵/۱۵

چکیده

مخازن بتنی نفتی از مهمترین سازه های نگهداری هستند. این مخازن، در طول دوره بهره برداری خود نیازمند مدیریت و نگهداری جهت مقابله با ریسک‌های مختلف می‌باشند. عدم وجود مدیریت نگهداری مخازن بتنی می‌تواند منجر به خطرات جانی، زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی شود. با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران، استخراج نفت، مصرف و صادرات و مخازن بتنی اهمیت بالایی پیدا کرده‌اند که نیاز به مدیریت نگهداری احساس می‌شود. این تحقیق با تمرکز بر معرفی ریسک‌ها، روش‌های مدیریت و نگهداری مبتنی بر ریسک برای مخازن ذخیره‌سازی بتنی نفتی می‌باشد. ابتدا تعاریف، انواع نگهداری، چرخه ریسک و تحقیقات مرتبط با ریسک‌های مخازن بررسی می‌شود. مبنای تحقیقات آتی و پیشنهاد برای تحقیقات، بر اساس مطالعات پیشین، را می‌توان با ارائه مدیریت نگهداری بر مبنای ریسک در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: ریسک، مدیریت و نگهداری، مخازن بتنی، اطلاعات سازه، عملیات نگهداری، ریسک بر پایه تعمیر و نگهداری.

* drbehruyan@yahoo.com

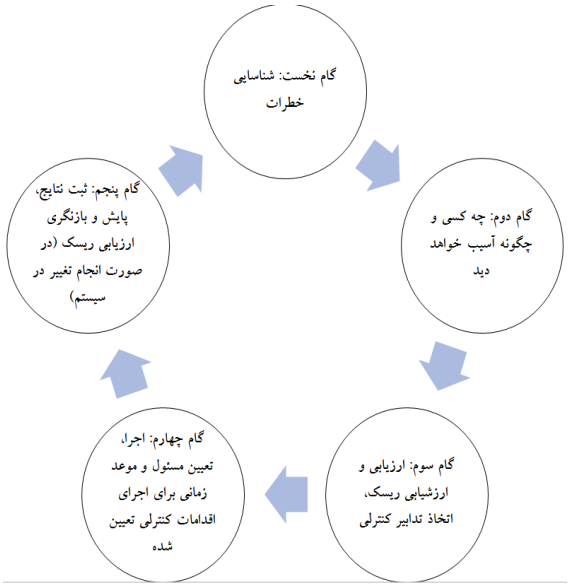
استناد به مقاله:

صدیری، ح.، بهرویان، م.، قاسمی، ع.، "مروری بر ریسک های مخازن ذخیره سازی بتنی نفتی و روشهای مدیریت و نگهداری آنها"، نشریه فرآیندنو، سال هفدهم، شماره ۷۸، صص. ۹۴-۷۱، (تابستان ۱۴۰۱).

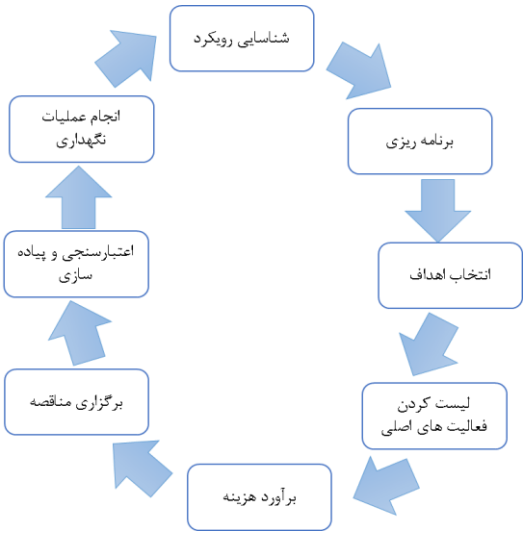
۱- مقدمه

در سالهای اخیر در ایران استفاده از مصالح فلزی در ساخت برخی از سازه های خاص تبدیل به مصالح بتنی شده است. از جمله این سازه ها برجهای خنک کن نیروگاه های حرارتی بوده که ساخت آن از مصالح فلزی با تکنولوژی روسی تبدیل به استفاده از مصالح بتنی با تکنولوژی بومی گردیده است. اولین برج خنک کن که با این تکنولوژی ساخته شده است، برج خنک کن نیروگاه شهید منتظری در اصفهان می باشد. همچنین در ساخت مخازن سوخت نیروگاه های ایرانشهر و همدان نیز از مصالح بتنی استفاده شده است. یکی از پروژه های مهم زیربنایی و استراتژیک در کشور ایران ساخت و بهره برداری از مخازن ذخیره سوخت می باشد. لزوم توسعه و پیشرفت هر چه بیشتر این پروژه ها در کشور و همچنین عوامل دیگری مانند پدافند غیرعامل پتانسیل های استفاده از تکنولوژی مصالح بتنی را در ساخت سازه های پروژه های مذکور افزایش می دهد. تجربیات کشورهایی مانند نروژ، چین و ویتنام در ساخت مخازن بتنی سوخت مورد توجه است[۱].

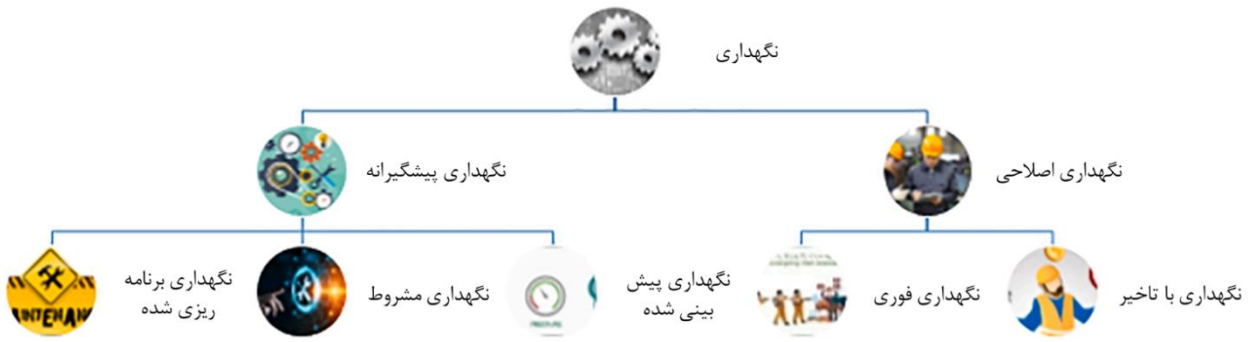
مدیریت ریسک یکی از ابزارهای سیاست‌گذاری مدیریت در هر سازمان می‌باشد که با استفاده از بررسی و ارزیابی ریسک‌های موجود در سیستم و با هدف جلوگیری از وقوع شرایط نامطلوب و یا کاهش اثرات عوامل خطرزا یا به عبارتی کاهش ریسک، به وجود آمده است و مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ابزار به صورت گسترده در سرمایه-گذاری‌ها، مدیریت پروژه و غیره کاربرد پیدا کرده است. فرآیند استفاده از این تکنیک در ایمنی سیستم‌ها شامل تعیین ریسک، تعیین عوامل ایجادکننده ریسک، بررسی و ارزیابی ریسک و اقدام در جهت کنترل ریسک های موجود می باشد [۲]. چرخه مدیریت ریسک در شکل ۱ ارائه شده است. همچنین در شکل ۲ چرخه مدیریت نگهداری مخازن بتنی نفتی ارائه شده است. علاوه بر آن در شکل ۳ طبقه بندی روش‌های نگهداری مخازن بتنی نفتی ارائه می‌گردد. مقایسه‌ای بین روش‌های مهم نگهداری هم در جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۱- چرخه مدیریت ریسک [۳]



شکل ۲- چرخه مدیریت نگهداری مخازن بتنی نفتی [۳]



شکل۳- طبقه بندی روش های نگهداری مخازن بتنی نفتی[۳]

جدول ۱- مقایسه‌ای بین روش‌های مهم نگهداری[۳]

استراتژی	خلاصه	هزینه استقرار	مزایا	معایب
واکنشی	نگهداری هنگام خرابی	کم	ایده آل برای تجهیزات با اولویت پایین	امکان هزینه تراشی های مهار نشدنی تعمیرات
پیشگیرانه	نگهداری براساس برنامه زمانی از پیش تعیین شده	متوسط	بهترین استراتژی برای استقرار در سازمان ها با خُبرگی متوسط	هدر رفتن هزینه ها و منابع در صورت عدم بهینه سازی
پیشگویانه	کنترل دستور کارها مبتنی بر شرایط تجهیز و یا وقوع یک محرک از پیش تعیین شده	زیاد	کنترل زمان بندی و آگاهانه، آگاهی بیشتر نسبت به دلایل خرابی	نیازمند هزینه های زیاد برای راه‌اندازی
مبتنی بر قابلیت اطمینان	خرابی های احتمالی برای تعیین بهترین استراتژی نگه داشت	بسیار زیاد	تحقق حداکثر کارایی برنامه نگهداری در صورت اجرای صحیح استراتژی	نیازمند به زمان، مهارت و منابع مالی زیاد برای اثرگذاری

یکی از مهمترین مسائل در زمینه صنایع استخراج و پالایش نفت و مشتقات آن ذخیره‌سازی این مواد پس از خالص-سازی و آماده‌شدن برای مصرف می‌باشد. موادی که مایحتاج بسیاری از پالایشگاه‌ها و پتروشیمی‌ها را تامین می‌کنند پس از تولید بلافاصله مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. ذخیره درست و بی خطر این مواد یکی از مهمترین موارد صنایع نفت و پتروشیمی و پالایشگاه می‌باشد. واحدهای نفت برای نگهداری نفت خام و نیز انبار کردن فرآورده‌های نفتی گوناگون، نیاز به تعداد بسیاری مخزن دارند. تعداد این مخازن به عواملی چون دوری و نزدیکی واحد به منابع تامین-کننده نفت خام، تعداد و ظرفیت واحدهای پالایش، تنوع فرآورده‌های تولیدی و سرانجام چگونگی انتقال و پخش فرآورده‌ها بستگی دارد. در صنایع شیمیایی، مواد ارزشمند، مانند بنزین یا گاز مایع طی فرایندهای مختلفی از مواد شیمیایی خام مانند نفت خام جدا می‌شوند. چند راه برای انتقال مواد خام از منابع تامین‌کننده به واحد فرایندی وجود دارد که بر حسب مورد و شرایط یکی از آنها مانند خطوط انتقال و یا تانکر استفاده می‌شود. همچنین محصولات تولیدی نیز به روشهای مختلف به بازار داخلی و یا خارجی عرضه می‌شوند. به دلایل زیادی از جمله یکسان کردن کیفیت محصول، اندازه‌گیری حجم محصول جهت فروش، امکان بارگیری و انتقال به تانکر و یا کشتی در حداقل زمان ممکن و ... سبب می‌شود تا محصول را بعد از تولید در مخازن یا تانکهای مناسب ذخیره نمایند. از اصطلاح تانک برای ظروف ذخیره‌سازی بزرگ و با کاربرد جابجا کردن، ذخیره‌سازی، اندازه‌گیری و حمل و نقل مایعات استفاده می‌گردد. لذا با توجه به حساسیت مخازن نگهداری سوخت خصوصاً در صنایع نفت و پتروشیمی و الزام رعایت استانداردهای خاص در ساخت این مخازن، شرکت فرابرد با استفاده از نیروهای مجرب و نرم افزارهای روز دنیا، اقدام به طراحی و ساخت انواع مخازن نگهداری سوخت در حجم‌های گوناگون جهت صنایع نفت و پتروشیمی کرده است. با توجه به

موارد بیان شده، همواره ضرورت دسته بندی اطلاعات جهت دسترسی جامع به داده‌های سازه ازگذشته ضروری به نظر می‌رسید[۱و۴].

۲-مخازن بتنی نفتی

مخازن، ظروف ذخیره سازی هستند که معمولا از جنس فولاد و بتن بوده و ممکن است به حالت‌های مختلفی نظیر مخازن عمودی، افقی، استوانه ای، روباز یا سربسته در اندازه های متفاوت وجود داشته باشند مخازن بتنی ذخیره مواد نفتی، از مخازن دارای کمترین نفوذپذیری با بتن حاوی ژیکاترون ساخته می‌شوند و میزان نفوذپذیری آنها مورد بررسی قرار می‌گیرد. عیار سیمان در میزان نفوذپذیری مخازن نفتی بتنی اثرگذار است و مخازن نفتی ساخته شده با بتن دارای عیار سیمان ۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب دارای نفوذپذیری به مراتب کمتری نسبت به همتای خود با عیار سیمان ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. همچنین مخازن نفتی ساخته شده با بتن دارای درشت دانه بیشتر نسبت به ریزدانه، نفوذپذیری کمتری نسبت به همتای خود با بتن دارای ریزدانه بیشتر نسبت به درشت دانه است. اما نسبت آب به سیمان تاثیر چندانی بر نفوذپذیری مخازن بتنی ذخیره مواد نفتی ندارد. همان طور که اشاره شد، آمارهای جهانی حاکی از بروز حوادث عمده در این مخازن می‌باشد. از این رو به کارگیری اصول ایمنی در پیش‌گیری از وقوع حوادث و عواقب زیست محیطی ناشی از ذخیره سازی این ترکیبات می‌تواند در حفظ سرمایه ها مؤثر واقع گردد. براساس مطالعات صورت گرفته برروی حوادث مخازن جهان در طول ۴۰ سال گذشته، بیشترین حوادث، در مخازن پالایشگاه ها رخ داده است (۲۴۲ مورد). مخازنی که بیشترین حادثه بر روی آن اتفاق افتاده از نوع سقف شناور خارجی بوده‌اند. ضمنا بیشترین حوادث بر روی مخازن حاوی نفت خام اتفاق افتاده و بیشترین پیامد حادثه از نوع آتش سوزی بوده است. حریق ها و انفجارات به هنگام ورود بخار یا مایع به طور تصادفی یا عمدی به محیطی که ممکن است دارای منبع جرقه باشد یا در اثر ورود منبع جرقه به داخل یک محیطی که ممکن است دارای اتمسفر قابل اشتعال باشد، اتفاق می‌افتد. برخورد مستقیم صاعقه، یک تهدید واقعی برای صنایع نفتی است، به خصوص برای مخازن سقف شناور که مستعد صاعقه هستند. زمانی که یک مخزن ذخیره در ناحیه برخورد مستقیم صاعقه قرار گیرد، بخارات قابل اشتعال در مواجهه با گرما ممکن است مشتعل شوند. لبه نشت بندی یک مخزن سقف شناور محتمل‌ترین مکان برای اشتعال در اثر اصابت صاعقه می‌باشد. همچنین شیر تخلیه محلی محتمل برای مشتعل شدن است که برای جلوگیری از این کار، یک بازدارنده شعله نصب می‌گردد. به همین دلیل با وجود دستور العمل‌های نگهداری که تاکنون تدوین شده ند نیاز مبرم به نگهداری هوشمند مخازن نفتی در کشورمان می‌باشد[۱].

۳-ریسک های مخازن با توجه به بتنی بودن مخزن ذخیره سازی

ریسک عدم اطمینان و آگاهی در مورد نتیجه یک عمل است. ریسک احتمال بالفعل شدن خطر است. ریسک احتمال محتمل شدن خطر است. ریسک در تعریف عام، احتمالی است که یک کنش یا کنش‌وری (یا بی‌کنشی) مشخص منجر به زیان یا بروندادها و پیامدهای ناخوشایند و ناخواسته گردد. تقریباً همه کوشش‌های بشری در بردارنده درجاتی از ریسک است، با این همه برخی از آن‌ها ریسک‌های بیشتری را به همراه دارند. ریسک مخازن نفتی بایستی مد نظر قرار گیرد تا منجر به جلوگیری از حوادث ناشی از عدم نگهداری مناسب شود. چرا که در صورت رخداد حوادث برای

این مخازن، مایع داخل آن که نفت می‌باشد می‌تواند آثار جبران ناپذیر برای محیط زیست، از بین بردن جان کارکنان، از بین رفتن هزینه‌های بالای سرمایه‌گذاری و نفت ارزشمند درون مخازن را به همراه داشته باشد.

اگر مدیریت نگهداری مبتنی بر ریسک برای مخازن بتنی نفتی اعمال نشود می‌تواند صدمات جبران ناپذیری را در حوزه‌های مختلف داشته باشد. معمولا نگهداری بایستی به صورت روتین مخصوصا نگهداری در زمان یافتن ترک‌های مویی در سطح بتن جداره مخازن بتنی براساس تجربیات ایران و دیگر کشورهای جهان انجام گیرد تا به کاهش ریسک مخازن کمک نماید. در ابتدا بایستی حوادث مخازن را مورد بررسی کلی قرار داد. بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی حوادث مخازن جهان در طول ۴۰ سال گذشته، بیشترین حوادث در مخازن پالایشگاه‌ها رخ داده است. مخازنی که بیشترین حادثه بر روی آن اتفاق افتاده از نوع سقف شناور خارجی بوده‌اند. ضمناً بیشترین حوادث بر روی مخازن حاوی نفت خام اتفاق افتاده و بیشترین پیامد حادثه از نوع آتش سوزی بوده است. مهم‌ترین خطر در ارتباط با مایعات قابل اشتعال، حریق و انفجار است که مایع و یا بخارات خارج شده از آن را در بر می‌گیرد. برخورد مستقیم صاعقه، یک تهدید واقعی برای صنایع فرایندی می‌باشد[۵]. در این بخش به ارائه ریسک‌های مربوط به مخازن بتنی نفتی در رابطه با ذخیره‌سازی مواد نفتی پرداخته می‌شود. این ریسک‌ها را می‌توان به شرح جدول ۲ بیان نمود [۶].

جدول ۲- انواع ریسک های مربوط به مخازن ذخیره سازی نفتی [۶]

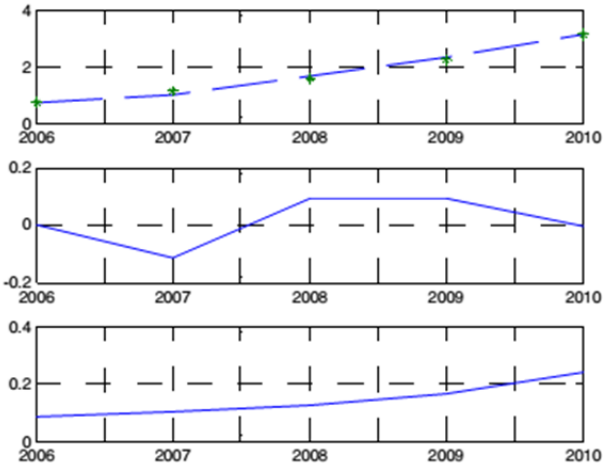
ردیف	ریسک مخزن بتنی	ردیف	ریسک مخزن بتنی
۱	سرریز شدن مایعات بر اثر زلزله.	۱۲	سوراخ شدگی کف مخزن و نشت مواد.
۲	نشتی از خطوط لوله.	۱۳	استفاده از آب حاصل از منابع اطراف.
۳	سرریز شدن مایعات بر اثر خطای انسانی.	۱۴	تماس با مواد درون مخازن.
۴	نشتی از اتصالات مخازن.	۱۵	بالا و پایین رفتن از پله‌های مخازن.
۵	آتش‌سوزی بر اثر رعد و برق.	۱۶	لغزنده بودن محل کار.
۶	انفجار و آتش سوزی بر اثر حملات تروریستی.	۱۷	انتشار گاز سمی در محیط اطراف مخازن.
۷	بروز خوردگی در مخزن.	۱۸	گسترش نشت و آتش به خارج از محوطه مخزن.
۸	استنشاق بخارات درون مخازن.	۱۹	انفجار و آتش سوزی ناشی از مواد نفتی درون مخزن.
۹	تماس با مواد درون مخازن.	۲۰	نشت مواد نفتی درون مخزن.
۱۰	ریخت و پاش مایعات روغنی به محوطه اطراف.	۲۱	نشست زمین.
۱۱	افزایش بیش از حد دمای فرآورده.	۲۲	نشت از تجهیزات مربوط در حین عملیات بهره برداری.

۴- تحقیقات در حوزه نگهداری مخازن ذخیره سازی

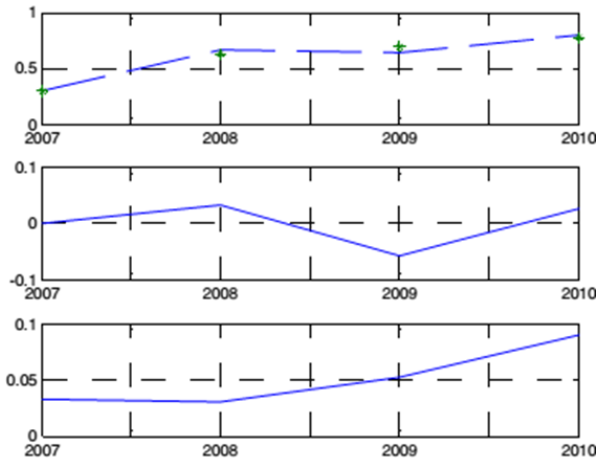
در سال ۲۰۱۲، ژیائوگنگ و همکاران به پیش بینی خوردگی در کف مخزن ذخیره نفتی بر اساس مدل خاکستری[1] GM (1,1) به شرح زیر پرداختند: حفاظت در برابر خوردگی مخزن ذخیره نفت برای ایمنی ذخیره نفت مهم است. پیش‌بینی دقیق خوردگی کف مخزن امری مهم است و می‌تواند به مباحث نگهداری در مدیریت ایمنی کمک نماید. مدل خاکستری GM (1,1) در نظریه خاکستری که در نرم افزار متلب برنامه و کد نویسی شده است، برای پیش بینی خوردگی کف مخزن ذخیره نفت شماره G-2 در انبار نفت Luquan اعمال شده است. در مقایسه با سنجش های میدانی، نتایج پیش‌بینی به خوبی توانسته با خطای بسیار کم به مقادیر واقعی دست یابد. این مدل یک مدل کاربردی، سریع و راحت بوده است. این مدل پیش بینی توانسته وضعیت و میزان خوردگی یک مخزن نفتی را نشان دهد.

[1] Grey Model (GM)

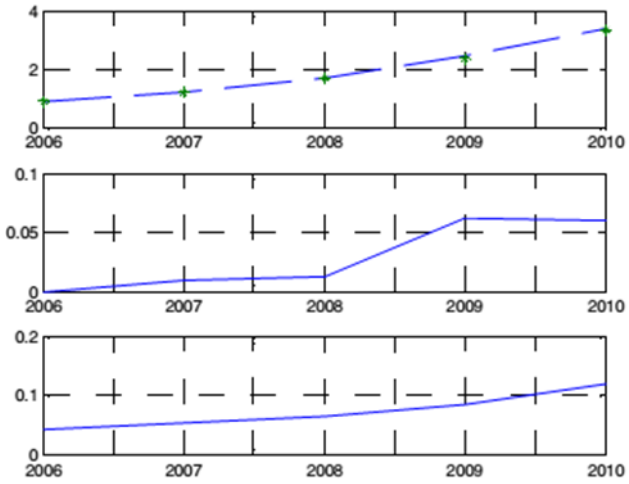
بنابراین، برای کاربردهای گسترده در زمینه‌های دیگر نیز می‌تواند مناسب باشد [۷]. نتایج این تحقیق در قالب نمودارهای مقایسه مقادیر پیش بینی شده و واقعی در اشکال ۴ الی ۷ ارائه شده است.



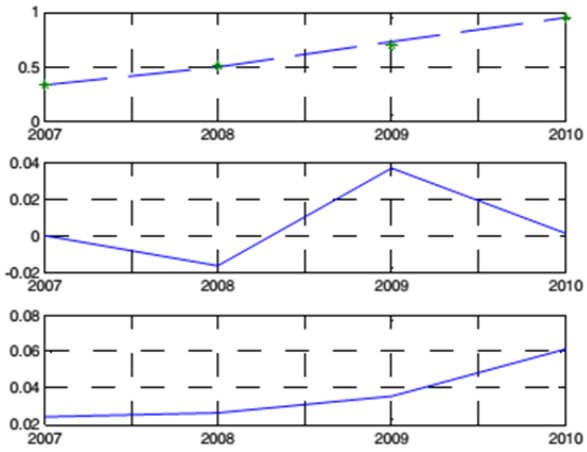
شکل ۴- میانگین ضخامت خوردگی کف مخزن [۷]



شکل ۵- میانگین نرخ خوردگی کف مخزن [۷]

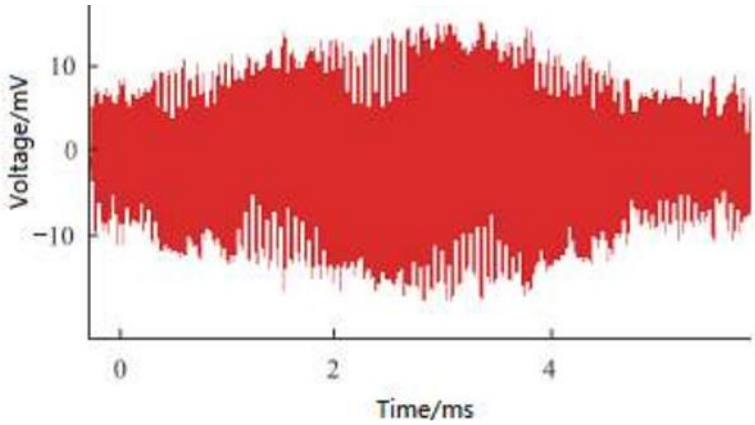


شکل ۶- حداکثر ضخامت خوردگی کف مخزن [۷]



شکل ۷- حداکثر نرخ خوردگی کف مخزن [۷]

در سال ۲۰۱۴، گو و همکاران به بررسی قابلیت اطمینان بازدید با استفاده از آزمون انتشار صوتی در کف مخزن ذخیره سازی به شرح زیر پرداختند: زمانی که مخزن در حال سرویس است، بازدید کف مخزن دشوار است. بازدید معمولی کف مخزن پس از باز شدن و تمیز کردن آن زمان بر بوده و هزینه بالایی دارد. بنابراین بازدید در حین کار کف مخازن روی زمین با تکنیک انتشار آکوستیک[۲] (AE) مورد پذیرش صنعت پتروشیمی قرار می‌گیرد. قابلیت اطمینان این آزمون عمدتاً با مقایسه نتایج آن با آزمایش غیرمخرب معمولی[۳] (NDT) بررسی می گردد. این مطالعه به این نتیجه دست یافته است که بازدید با روش آزمون انتشار آکوستیک یک ابزار مفید و اقتصادی به منظور اولویت بندی و مدیریت نگهداری مخزن می‌باشد [۸]. نمایی از شکل موج در آزمون انتشار موج با ولتاژ متغیر و زمان متناظر در شکل ۸ ارائه شده است.

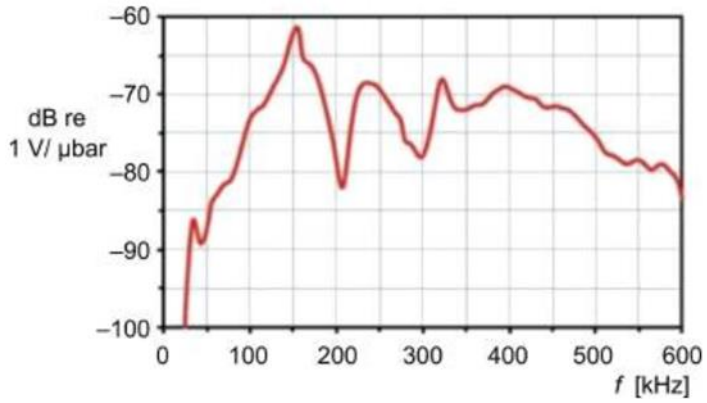


شکل ۸- نمایی از شکل موج در آزمون انتشار موج با ولتاژ متغیر و زمان متناظر[۸]

در سال ۲۰۱۵، ژو و همکاران به مقایسه بین بازدید در حین کار انتشار صوتی و آزمایش غیرمخرب در کف مخازن ذخیره‌سازی بالاتر از زمین (غیر دفنی) پرداختند. مقایسه ای بین نتایج آزمایش انتشار صوتی و NDT معمولی به منظور تأیید اثربخشی و قابلیت اطمینان بازدید کف مخزن با روش آزمون انتشار صوتی AE به تفصیل شرح داده شده

[2] Acoustic Emission
[3] Typical Non-destructive Testing

است این آزمون می تواند خوردگی کف مخزن را ارزیابی کند و می تواند راهنمایی برای نگهداری مخزن ارائه دهد.[۹] در شکل ۹، مشخصه دامنه فرکانس سنسور آزمون انتشار موج ارائه شده است.



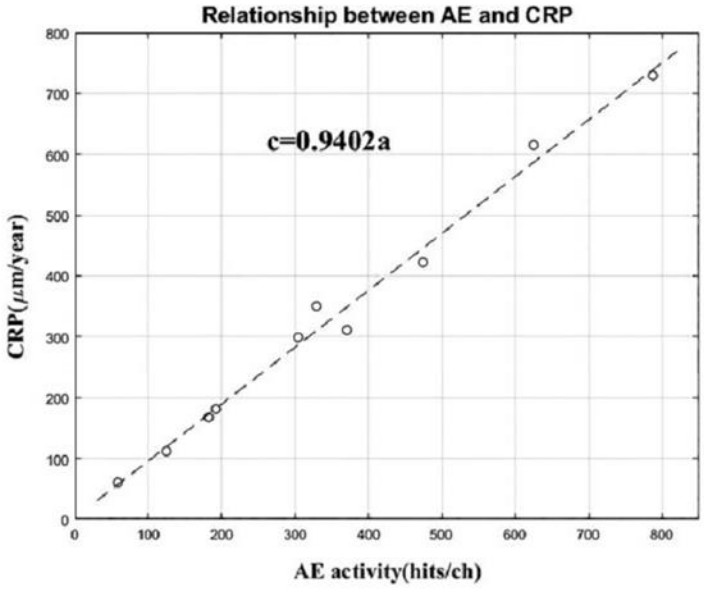
شکل ۹- مشخصه دامنه فرکانس سنسور آزمون انتشار موج [۹]

در سال ۲۰۱۹، فنگ و همکاران به تجزیه و تحلیل خوردگی و پیش بینی عمر مفید باقیمانده برای کف مخزن ذخیره سازی پرداختند. تحلیل خوردگی کف مخزن دو مرحله‌ای و در چارچوب پیش‌بینی عمر مفید باقی‌مانده پیشنهاد شده است. علل و مکانیسم‌های خوردگی کف مخزن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته، سیستم متریک ارزیابی ایجاد شده و از روش ارزیابی مبتنی بر تئوری فازی برای ارزیابی وضعیت کف مخزن استفاده شده است. نتیجه ارزیابی اولیه در مرحله اول تعیین می کند که آیا یک پیش بینی عمر مفید باقی مانده بعدی مورد نیاز است یا خیر. در صورتی که کف مخزن سالم نباشد، در مرحله دوم، پیش‌بینی عمر مفید باقیمانده کف مخزن با آزمون انتشار آکوستیک و بازدید مبتنی بر ریسک[4] اجرا می‌شود. هر دو ارزیابی کیفی و کمی برای ارائه مبنایی برای تصمیم گیری عملیات و نگهداری مخازن ذخیره سازی انجام شده است [۱۰]. در جدول ۳، سرعت ریسک خوردگی در مخازن ذخیره مورد آزمایش ارائه شده است. همچنین در شکل ۱۰، رابطه بین آزمون انتشار صوتی و سرعت ریسک خوردگی ارائه گردید.

جدول ۳- سرعت ریسک خوردگی در مخازن ذخیره مورد آزمایش[۱۰]

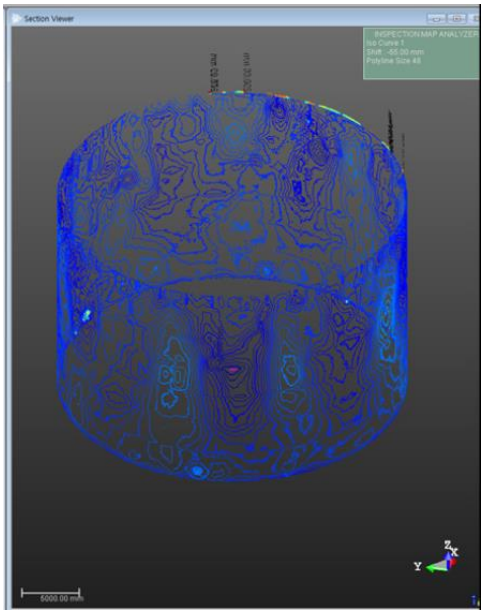
شماره مخزن	مقدار سرعت ریسک خوردگی (میکرون بر سال)
۱	۳۵۰,۲
۲	۳۱۱,۱
۳	۱۶۷,۵
۴	۶۱۵,۰
۵	۱۸۱,۳
۶	۴۲۲,۳
۷	۶۰,۲
۸	۷۲۹,۳
۹	۲۹۹,۲
۱۰	۱۱۱,۷

[4] Risk-Based Inspection (RBI) Technology



شکل۱۰- رابطه بین آزمون انتشار صوتی و سرعت ریسک خوردگی [۱۰]

در سال ۲۰۲۰، پارک و همکاران به بازدید مخزن ذخیره روغن با استفاده از اسکنر لیزری سه بعدی به شرح زیر پرداختند: داده‌های مخازن ذخیره‌سازی نفت با استفاده از اسکنر لیزری سه‌بعدی به‌دست آمد و با مقایسه آن‌ها با داده‌های طراحی، تحلیل‌های مختلفی برای مدیریت مخزن ذخیره‌سازی انجام شده است. در شکل ۱۱، خطوط کانتور برای تغییر شکل مخزن ذخیره سازی ارائه شده است.



شکل۱۱- خطوط کانتور برای تغییر شکل مخزن ذخیره سازی[۱۱]

بازدید مخازن ذخیره نفت با استفاده از اسکنرهای لیزری سه بعدی انجام خواهد شد و داده های کمی و قابل مشاهده در مورد تغییر شکل مخزن ذخیره نفت را حاصل خواهند نمود. این امر کارایی مدیریت تاسیسات را با نگهداری و بازسازی آن ها تا حد زیادی بهبود می بخشد [۱۱].

در سال ۲۰۲۰، دو و همکاران به روند توسعه فناوری حفاظت از مخزن ذخیره نفت به شرح زیر پرداختند: نفت شاهرگ حیات اقتصاد ملی و یک منبع استراتژیک مهم برای بقا و توسعه کشور است. امروزه راه اصلی ذخیره سازی مواد اولیه و فرآورده ها در صنعت نفت و پتروشیمی، ذخیره سازی مخازن است، بنابراین بهره برداری، نگهداری و ضد خوردگی مخازن ذخیره سازی نقش حیاتی در ایمنی صنعتی کل صنعت دارد. این مقاله توسعه فناوری ضد خوردگی مخازن را در صنعت پتروشیمی در حال حاضر خلاصه می کند، مکانیسم خوردگی مخزن در داخل و خارج، اقدامات مختلف ضد خوردگی را مورد بحث قرار می دهد، اهمیت حفاظت در برابر خوردگی مخازن را برجسته می کند، و چشم به راه توسعه آینده است. تکنولوژی ضد خوردگی مخازن نفتی، از اهمیت بالایی در صنعت مدرن نفت و گاز و انرژی برخوردار است. با توجه به بررسی های به عمل آمده، اقدامات ضد خوردگی مخازن ذخیره سازی برای استقرار مخازن نفتی در چین اهمیت زیادی دارد [۱۲]. نتایج این تحقیق را می توان به شرح زیر بیان نمود:

(۱) حفاظت از پوشش یکی از اصلی ترین اقدامات ضد خوردگی برای مخازن ذخیره سازی است. بنابراین بهره برداری و نگهداری بعدی پوشش مخزن نقش حیاتی در ضد خوردگی مخزن دارد.

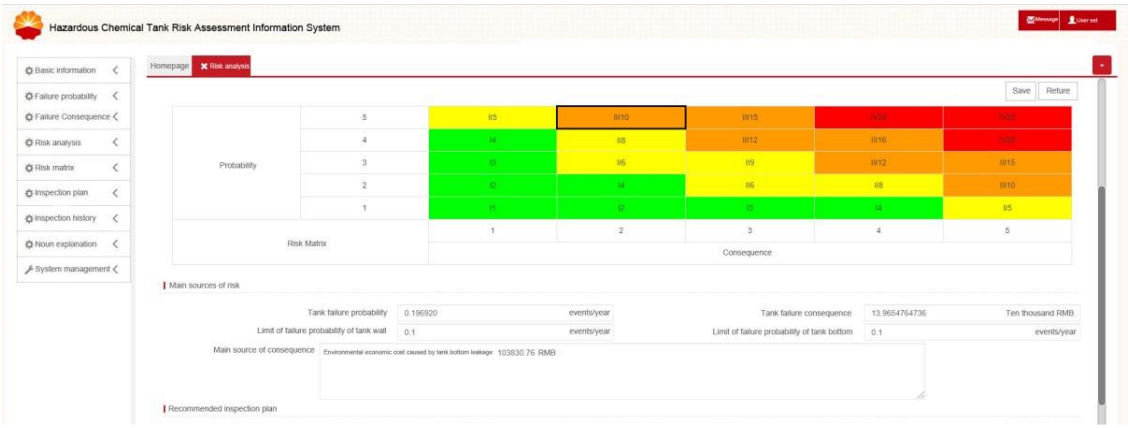
(۲) مباحث چند رشته ای جهت توسعه رشته فعلی به کار گرفته شده است. بنابراین، ترکیب بیوتکنولوژی و فناوری ضد عفونی کننده موضوع داغ تحقیقات فعلی بوده و هدف از ضد خوردگی را می توان با استفاده از تجهیزات سبز و سازگار با محیط زیست و مصرف کم انرژی به دست آورد.

(۳) بهره برداری و نگهداری بعدی در عملیات ضد خوردگی مخزن بخش اساسی کل عملیات ضد خوردگی است.

در سال ۲۰۲۰، لو و همکاران به بررسی قانون خوردگی کف مخزن بزرگ انبار نفت خام و فناوری بازرسی و نگهداری مبتنی بر ریسک به شرح زیر پرداختند: یک مطالعه تجربی مقایسه‌ای بر روی ویژگی‌های خوردگی که معمولاً در مخازن ذخیره‌سازی در مقیاس بزرگ در زیر محیط‌های خاص با سطح آب زیر زمینی پایین یافت شده با نفت خام روسیه و داکینگ استفاده می‌شود، انجام شده است. مشخص شد که بسته به نوع آب کف، درجه خاصی از خوردگی یکنواخت یا موضعی در کف مخزن وجود دارد. خوردگی کف مخزن حاوی نفت خام Daqing یک خوردگی یکنواخت ناشی از دی اکسید کربن است. در حالی که خوردگی کف مخزن حاوی نفت خام روسیه به وضوح خوردگی موضعی ناشی از خوردگی همزمان دی اکسیدکربن و سولفید هیدروژن است، در اینجا نرخ خوردگی آشکارا بیشتر از میزان خوردگی ناشی از نفت خام داکینگ است. دو حالت بازرسی و نگهداری مخازن ذخیره‌سازی وجود دارد که در حال حاضر توسط شرکت‌های پالایشگاهی و شیمیایی چینی اتخاذ شده است: یک حالت بازرسی منظم و یک حالت تشخیص مبتنی بر ریسک API581-2016. این حالت‌ها به طور موثر ترکیب شده‌اند تا یک حالت بازرسی و نگهداری مخزن هوشمند را تشکیل دهند، ابزارهای نرم افزاری برای پشتیبانی از این بازرسی هوشمند و مدیریت نگهداری توسعه داده شده‌اند [۱۳].

مدل اطلاعات بازرسی و نگهداری هوشمند مخزن ذخیره، فناوری بازرسی و نگهداری منظم را با فناوری بازرسی و نگهداری مبتنی بر ریسک بر اساس در نظر گرفتن کامل مدیریت ریسک مخازن ذخیره، ارزیابی کارایی کار و عادات مدیریتی شرکت ها فناوری بازرسی و نگهداری مبتنی بر ریسک به عنوان حالت مدیریت اصلی در نظر گرفته می‌شود که با فعالیت‌های بازرسی و نگهداری منظم تکمیل می‌شود .در شکل ۱۲ تجزیه و تحلیل آماری عیب‌یابی جهت بازرسی مخزن ارائه شده و در شکل ۱۳ تحلیل ریسک مربوطه ارائه شده است.

شکل ۱۲- تجزیه و تحلیل آماری عیب یابی جهت بازرسی مخزن[۱۳]

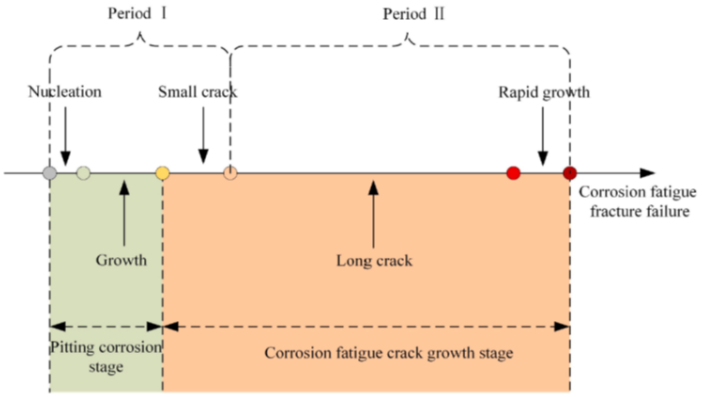


شکل ۱۳- تحلیل ریسک [۱۳]

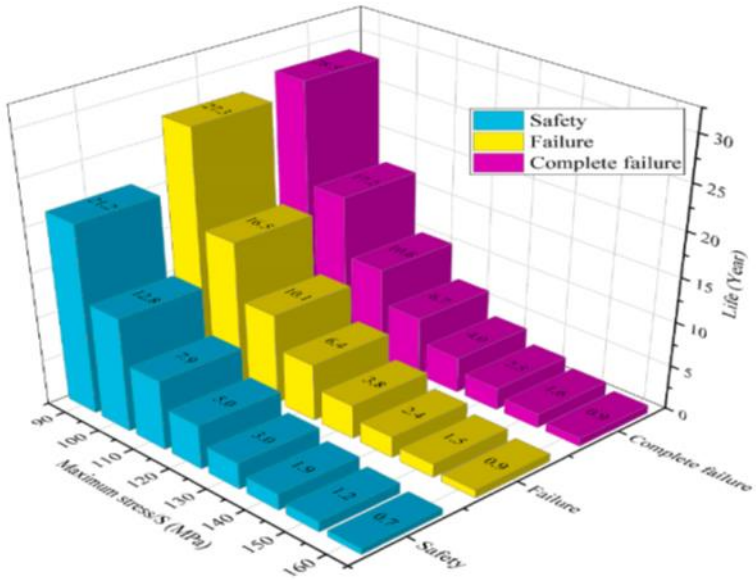
در سال ۲۰۲۱، ژنگ و همکاران به پیش‌بینی عمر خستگی خوردگی مخزن ذخیره نفت خام از طریق بهبود اندازه نقص اولیه معادل پرداختند: خستگی ناشی از خوردگی به عنوان مکانیزم اصلی شکست برای سازه‌هایی که در محیط خورنده شدیدی که در معرض خستگی قرار دارند، می‌باشد. تاکید بر مطالعه برای تشکیل گودال خوردگی و ایجاد ترک‌ها از چاله‌ها است. یک اندازه عیب اولیه معادل بهبود یافته[۵] برای پیش‌بینی عمر خستگی ناشی از خوردگی پیشنهاد شده است. بر اساس مفهوم اندازه عیب اولیه معادل، خوردگی حفره‌ای و رشد ترک کوچک معادل بخشی از فرآیند رشد ترک طولانی در فرآیند خستگی خوردگی است. حفره‌زدگی و انتشار ترک در طول بارگذاری خستگی اندازه‌گیری می‌شود و در نتیجه به مدلی اجازه می‌دهد که شامل مراحل توسعه گودال، انتقال گودال به ترک و رشد ترک به منظور پیش‌بینی عمر خستگی باشد. یک مورد پیش‌بینی عمر خستگی خوردگی برای نشان دادن اثربخشی مدل پیشنهادی اتخاذ شده است. بر اساس مدل پیشنهادی، تحلیل شکست و محاسبه تنش برای پیش‌بینی عمر

[5] Improved Equivalent Initial Flaw Size (I-EIFS)

خستگی خوردگی مخزن ذخیره نفت خام[۶] انجام می‌شود که روشی برای پیش‌بینی عمر مخزن ذخیره نفت خام ارائه می‌دهد. اعتبار روش پیشنهادی با مقایسه عمر سرویس مخزن ذخیره نفت خام تایید گردید[۱۴]. در شکل ۱۴ به ارائه فرآیند خستگی ناشی از خوردگی و در شکل ۱۵ نیز به ارائه نتایج پیش‌بینی عمر خستگی خوردگی مخزن ذخیره نفت خام پرداخته شده است.



شکل ۱۴- فرآیند خستگی ناشی از خوردگی [۱۴]



شکل ۱۵- نتایج پیش‌بینی عمر خستگی خوردگی مخزن ذخیره نفت خام [۱۴]

در سال ۲۰۲۲، راتور و همکاران به بررسی عددی تخلیه آب و تخلیه نفت-آب از یک مقایسه مخزن مربعی به شرح زیر پرداختند: مطالعه حاضر به بررسی دینامیک سطحی در مورد تخلیه آب و نفت-آب از طریق لوله مخزن ذخیره می‌پردازد. مخزن دارای سطح مقطع مربع است و با یک دریچه تخلیه در پایین مخزن به قطر ۰/۰۰۹ متر متصل می‌شود. موقعیت‌های غیرعادی مختلف نیز در نظر گرفته شده است. نرم افزار OpenFoam برای تجزیه و تحلیل وضعیت تخلیه مایع استفاده می‌شود. یک مدل عددی سه بعدی برای شبیه سازی وضعیت تخلیه مایع استفاده می‌شود. مدل پیشنهادی برای ردیابی رابط استفاده می‌شود. سطح آزاد در تخلیه آب باریکتر از زهکشی روغن و آب است. در

[6] Crude Oil Storage Tank (COST)

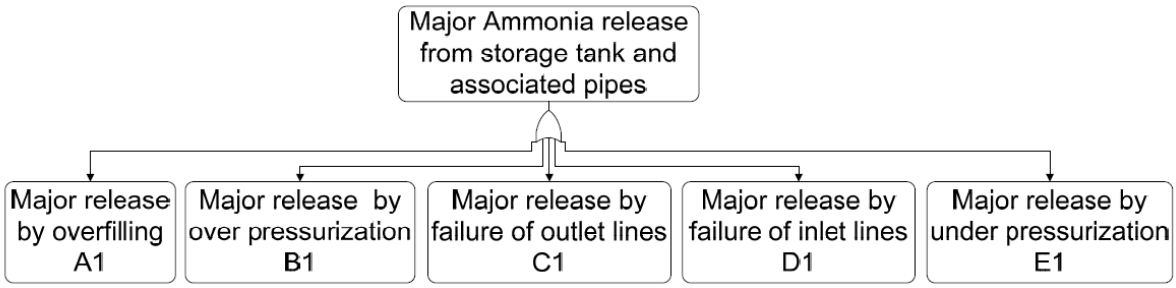
درگاه خارج از مرکز فوق العاده e0.96، محفظه روغن-آب منجر به تشکیل حباب های هوا از نوک گرداب در داخل مخزن می‌شود. در مورد تخلیه آب، یک ناحیه کاهش سرعت در قسمت مرکزی لوله تخلیه برای e0 مشاهده شد. نوسانات سرعت و فشار در ورودی درگاه تخلیه مشاهده می‌شود. با این حال، جریان معکوس مشاهده نمی‌شود. جریان معکوس در تخلیه آب در e 0.96 مشاهده شد. برعکس روند تخلیه نفت و آب است. معکوس جریان پس از شروع جریان سه فاز در داخل لوله تخلیه در e 0 مشاهده می‌شود. با این حال، از آنجایی که جریان سه فاز در اوایل مخزن برای ۰/۹۶ شروع شد، جریان معکوس در داخل لوله تخلیه مشاهده نمی شود [۱۵].

در سال ۲۰۲۲، هو و همکاران به بهینه‌سازی چند هدفه[7] محدود برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت نفت خام با خطوط لوله دوگانه و نیاز به نگهداری مخزن ذخیره به شرح زیر پرداختند: برای مشکل زمان‌بندی کوتاه‌مدت نفت خام، به دلیل محدودیت‌های پیچیده، تضمین امکان‌سنجی یک زمان‌بندی دشوار است. در همین حال، عدم قطعیت یک نگرانی بسیار مهم در پالایشگاه‌ها مانند خرابی غیرمنتظره مخازن ذخیره است. بنابراین، ایجاد یک برنامه زمان بندی یک چالش بزرگ است. بیشتر کارهای موجود در مورد بهینه‌سازی چند هدفه برنامه‌ریزی کوتاه‌مدت نفت خام تنها برای پالایشگاه‌هایی که نفت با نقطه همجوشی پایین (نفت L) را فرآوری می‌کنند توسعه داده شده‌اند و در مورد خطوط لوله دوگانه برای فرآوری نفت L و نفت کم انجام شده است. روغن نقطه همجوشی (H-oil). با پنج هدف و محدودیت‌های زیاد، برای یک الگوریتم فراابتکاری یافتن یک زمان‌بندی عملی چالش برانگیز است. برای حل این مشکل، در این کار از نقض محدودیت برای توصیف میزان نقض محدودیت استفاده شده است. بنابراین، یک الگوریتم فشار انتخاب افزایش‌یافته تطبیقی مبتنی بر NSGA-II-APE (NSGA-II-CDP) برای حل مؤثر مشکل برای پردازش روغن L و H-Oil پیشنهاد شده‌است. این الگوریتم می تواند به طور موثر فشار انتخاب را در تکرارهای بعدی افزایش دهد. از مسائل موردی صنعتی برای آزمایش روش پیشنهادی و مقایسه عملکرد آن با ۱۱ الگوریتم تکامل چند هدفه محدود (CMOEA) استفاده می‌شود. نتایج نشان دهنده برتری آن نسبت به موجود از نظر همگرایی، تنوع راه حل و بازده زمانی است [۱۶].

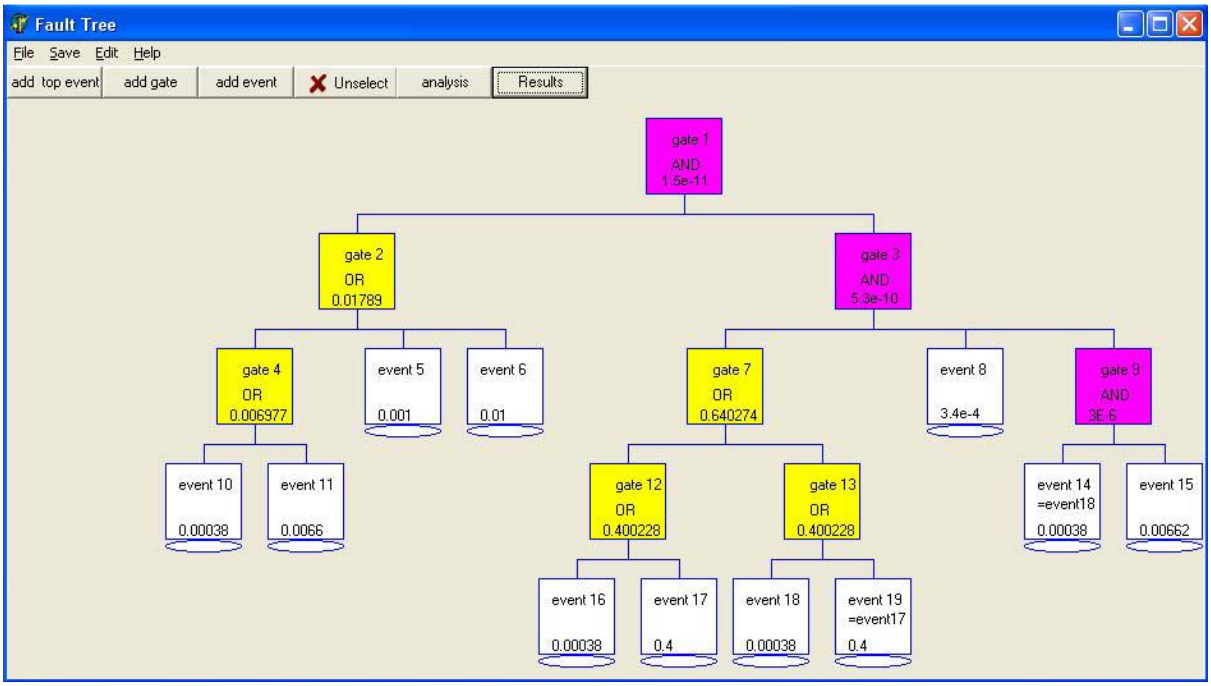
۵-تحقیقات در حوزه ریسک مخازن ذخیره سازی

در سال ۲۰۱۲، نعمتی و همکاران به تجزیه و تحلیل خطر مخزن ذخیره آمونیاک برودتی در ایران با روش درخت خطا به شرح زیر پرداختند مهم ترین نگرانی در مورد مخزن ذخیره آمونیاک اتمسفر، انتشار مقدار زیادی آمونیاک به دلیل از بین رفتن یکپارچگی مخزن است.در این مقاله از تحلیل درخت خطا به عنوان ارزیابی کمی ریسک برای تعیین و ارزیابی خطرات مرتبط با مخزن ذخیره آمونیاک با ظرفیت ۲۰۰۰۰ تن استفاده شده است.بر اساس این رویدادهای برتر، تمام رویدادهای فرعی ممکن شناسایی شده و تجزیه و تحلیل درخت خطا انجام می شود. نرم افزار MECHREL، برای ارزیابی خطرات مربوط به مخزن ذخیره آمونیاک مشخص شده آماده شده است. از این نتایج می توان برای شناسایی سریع ترین مسیرها برای داشتن تصمیمات منطقی مبتنی بر ریسک استفاده کرد [۱۷]. در شکل ۱۶ به ارائه نمودار درخت خطا برای حوادث بزرگ که منجر به آزاد شدن عمده آمونیاک پرداخته شده و در شکل ۱۷ تنظیم نمودار درخت خطا را برای فشار بیش از حد در MECHREL ارائه شده است.

[7] Multi-Objective Optimization



شکل ۱۶- نمودار درخت خطا برای حوادث بزرگ که منجر به آزاد شدن عمده آمونیاک شود [۱۷].

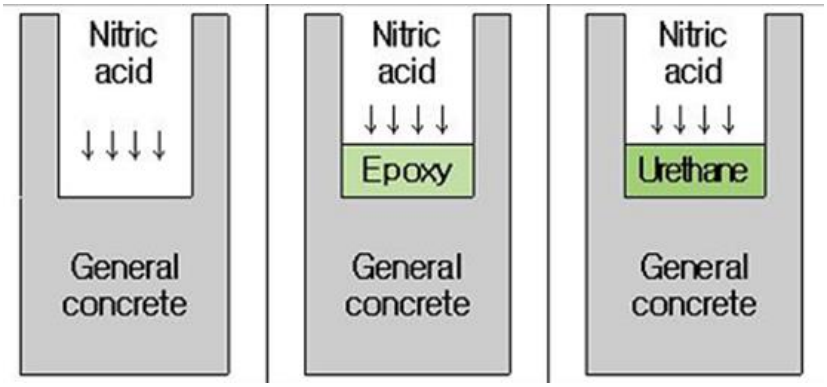


شکل ۱۷- تنظیم نمودار درخت خطا را برای فشار بیش از حد در MECHREL [۱۷]

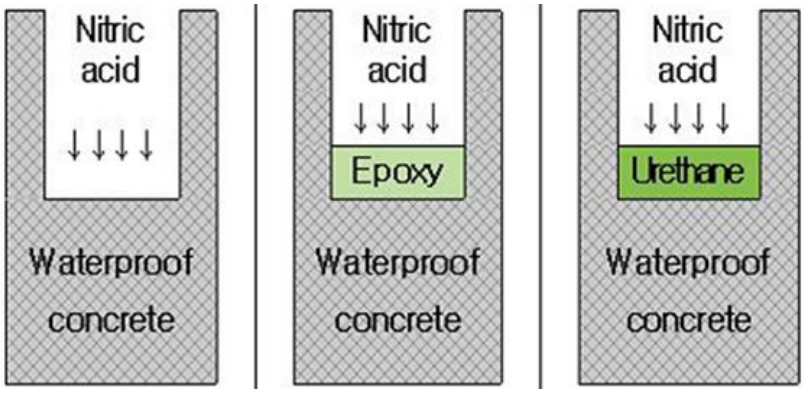
در سال ۲۰۱۵، کوایاما و همکاران به ریسک ها و گزینه هایی برای کاهش آن در ذخیره‌سازی در محل فاضلاب حاصل از توسعه گاز شیل و نفت تنگ به شرح زیر پرداختند: در این مقاله، یافته‌های یک تلاش تحقیقاتی با هدف درک منابع خطر مرتبط با ذخیره‌سازی نفت شیل در محل و پساب نفت در ایالات متحده خلاصه می‌گردد. شکاف‌های موجود در راستای موضوع تحقیق در مورد این ریسک‌ها، سیاست‌ها و گزینه‌های مناسب برای پرداختن به ریسک ها، و شایستگی نسبی آن گزینه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. به طور خاص، (الف) خطرات بالقوه برای سلامت انسان و محیط زیست مرتبط با ذخیره‌سازی در محل گاز شیل و فاضلاب نفت فشرده را از طریق بررسی ادبیات و تجزیه و تحلیل داده‌ها در مورد نشت فاضلاب شناسایی شده است، (ب) شرح مفصلی از مقررات دولتی ارائه شده است و اقدامات صنعتی که ممکن است این ریسک ها را برای سلامتی انسان و محیط زیست کاهش دهد، و (ج) فهرستی از توصیه‌های خاص برای ذخیره‌سازی فاضلاب ارائه شده که ممکن است به ایجاد پیشرفت در جهت اقدامات مشخص برای پایدارتر و قابل قبول‌تر کردن توسعه گاز شیل و نفت فشرده برای یک منطقه کمک کند[۱۸].

در سال ۲۰۱۶، شین و همکاران به تجزیه و تحلیل خطر در ناحیه کف مخزن بتنی غیر قابل نفوذ برای مخازن ذخیره اسید نیتریک به شرح زیر پرداختند: با توجه به واکنش شیمیایی بین بتن که ماده اولیه کف مخازن و مواد شیمیایی

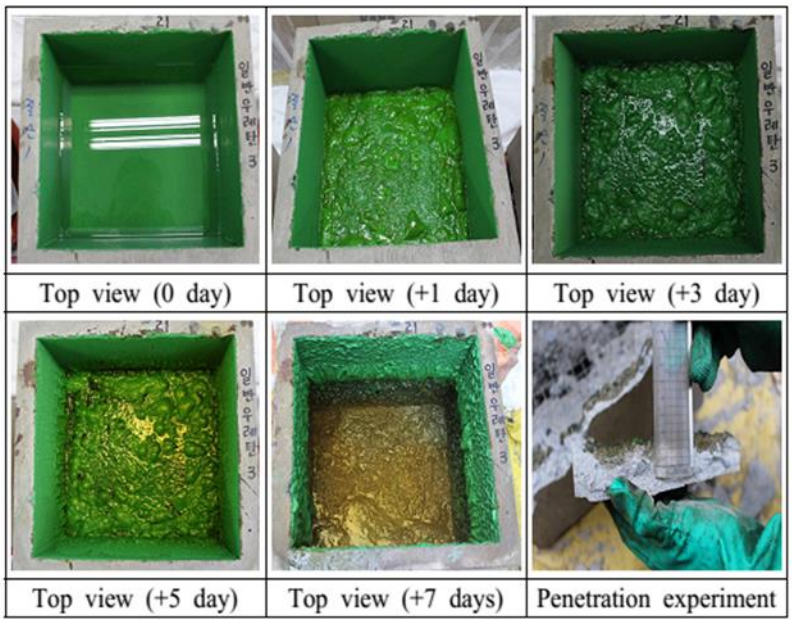
خطرناک است، برخی از مواد شیمیایی می‌توانند اثرات منفی بر نفوذ ناپذیری کف مخازن بتنی داشته باشند. استانداردهای نفوذ ناپذیر برای کف بتنی مخازن در مطالعه اخیر انجام شده است، اما مطالعه قبلی بر اساس آزمایش مواجهه با نفت خام بوده است که خورنده نبوده و به واکنش شیمیایی مربوط نمی‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که آزمایش نفت خام نمی‌تواند نشان‌دهنده انواع مواد شیمیایی خطرناک به ویژه مواد شیمیایی بسیار خورنده باشد. با این حال، این مطالعه آزمایش مواجهه با اسید نیتریک را انجام داده است که به شدت خورنده و بسیار خطرناک است. نتایج نشان داد که اسید نیتریک در حداکثر عمق نفوذ ۲/۹ سانتی متر به مدت ۷ روز نفوذ کرده است و استانداردهای نفوذ ناپذیر بهتر از استاندارد آلمان است. از طریق این مطالعه با مواد شیمیایی شدید، مبنای علمی استانداردهای نصب کلیه بخش انتهایی مخازن که عموماً در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دست آمده است[۱۹]. در شکل ۱۸، نمایی از مخزن با بتن معمولی، در شکل ۱۹ نمایی از مخزن با بتن ضد آب و در شکل ۲۰، نمایی از آزمایش مخزن با بتن معمولی با یورتان و در شکل ۲۱، نمایی از آزمایش مخزن با بتن ضد آب با یورتان ارائه شده است.



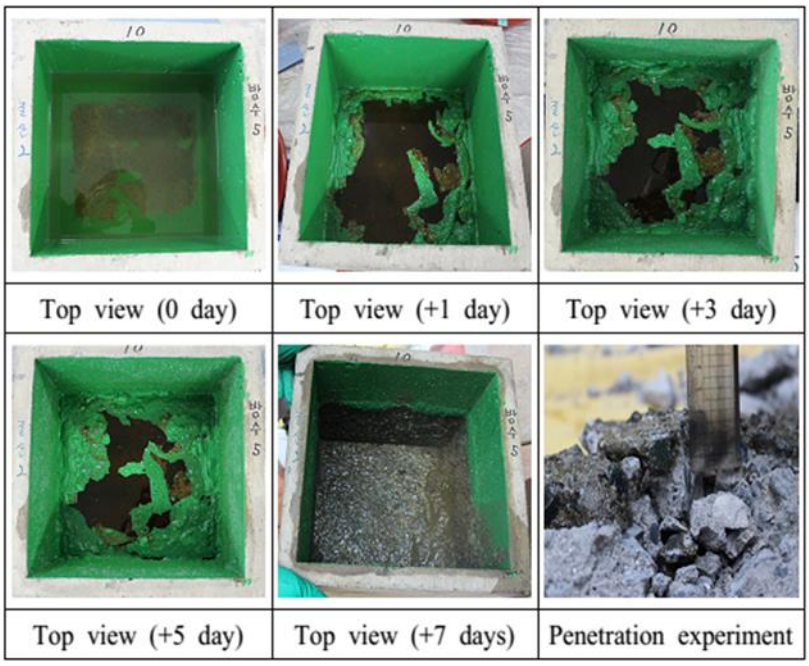
شکل ۱۹- نمایی از مخزن با بتن معمولی [۲۰]



شکل ۲۰- نمایی از مخزن با بتن ضد آب [۲۰]



شکل ۲۱- نمایی از آزمایش مخزن با بتن معمولی با یورتان [۲۰]



شکل ۲۲- نمایی از آزمایش مخزن با بتن ضد آب با یورتان [۲۰]

در سال ۲۰۱۷، کیویو و همکاران به استفاده از روش کمی انتشار صوتی برای ارزیابی خوردگی کف مخزن نفت بر اساس سرعت خطر خوردگی به شرح زیر پرداختند: این مقاله یک روش کمی را برای ارزیابی خوردگی کف مخزن بر اساس یک مدل انتشار صوتی[8] کمی و یک مدل سرعت مدیریت خوردگی[9] رابطه‌ای ارائه می‌کند. مدل کمی انتشار صوتی توسط فعالیت انتشار صوتی و سرعت خطر خوردگی برای ارزیابی خوردگی کف مخزن ایجاد شده است. مدل

[8] acoustic emission (AE)
[9] corrosion management pace (CMP)

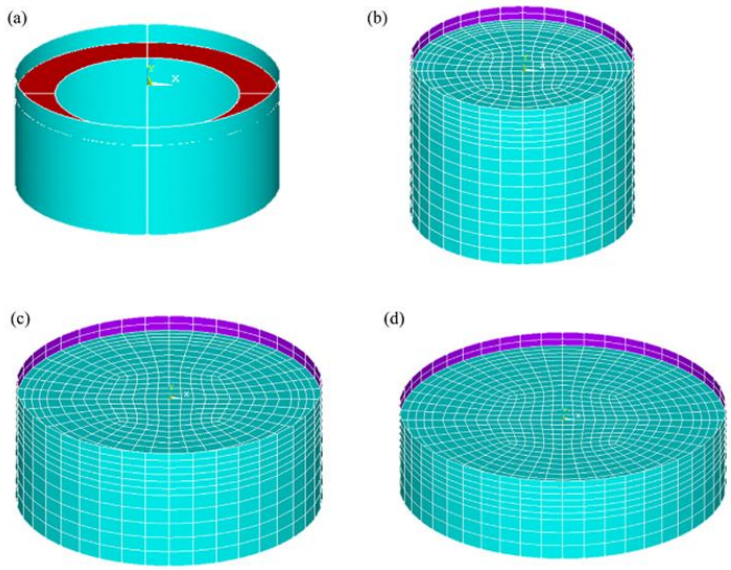
سرعت مدیریت خوردگی رابطه‌ای بر اساس رابطه بین سرعت ریسک خوردگی [10] و سرعت واقعی خوردگی[11] ایجاد می‌شود تا مرجعی برای تصمیم‌های نگهداری آینده ارائه کند. در این تحقیق، ۱۵ مخزن (۱۰ مخزن برای تاسیسات مدل و پنج مخزن برای اعتبارسنجی توانایی‌های پیش بینی مدل) در یک منطقه مشخص با استفاده از داده‌های آزمایش نشت شار مغناطیسی[12] محاسبه شد و عملکرد پیش بینی ارزیابی خوردگی با آن توسط پارامترهای معمولی با حداکثر کاهش ضخامت کف مخزن در طول زمان سرویس محاسبه شد که نشان دهنده وضعیت بدترین نقطه خوردگی در کف مخزن است. یک سیستم آزمایشی از پنج مخزن برای اجرای توانایی پیش‌بینی مدل کمی انتشار صوتی و مدل سرعت مدیریت خوردگی رابطه‌ای توسعه داده شد. نتایج نشان داد که مدل‌های پیشنهادی می‌توانند ارزیابی کمی برای اندازه‌گیری AE ارائه دهند و چشم‌انداز کاربردی خوبی داشته باشند [۲۰].

در سال ۲۰۱۹، برنیر و همکاران به ارزیابی شکنندگی و خطر مخازن ذخیره‌سازی بالای زمینی که در معرض بارهای موج، موج و باد همزمان قرار دارند به شرح زیر پرداختند: ابزار جامعی برای ارزیابی عملکرد مخازن ذخیره‌سازی بالای زمینی[13] در شرایط طوفان چند خطر در حال حاضر وجود ندارد، علی‌رغم آسیب‌های شدیدی که مخازن ذخیره‌سازی بالای زمینی در طوفان‌های گذشته متحمل شده و منجر به انتشار مواد خطرناک شده است. این مقاله یک روش دقیق و در عین حال کارآمد را برای توسعه مدل‌های شکنندگی و انجام ارزیابی‌های ریسک مخازن ذخیره‌سازی بالای زمینی تحت بارهای ترکیبی موج، موج و باد ارائه می‌کند. مدل‌های شکنندگی پارامتری شده برای کمانش و جابجایی از زمین مشتق شده‌اند. استحکام کمانش مخازن ذخیره‌سازی بالای زمینی با استفاده از تحلیل المان محدود ارزیابی می‌شود، در حالی که پایداری در برابر نابجایی با استفاده از توابع حالت حد تحلیلی با مدل‌های بار مبتنی بر مدل‌سازی جایگزین ارزیابی می‌شود. سناریو و ارزیابی خطر احتمالی سپس برای یک منطقه مورد مطالعه با درهم آمیختن مدل‌های شکنندگی با مدل‌های خطر انجام می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که مدل‌های شکنندگی مشتق‌شده ابزارهای کارآمدی برای ارزیابی عملکرد مخازن ذخیره‌سازی بالای زمینی در مناطق صنعتی هستند. بینش به‌دست‌آمده از ارزیابی‌های شکنندگی و ریسک نشان می‌دهد که نادیده گرفتن ماهیت چند خطری طوفان‌ها، همانطور که مطالعات موجود انجام داده‌اند، می‌تواند منجر به دست کم گرفتن قابل توجه آسیب‌پذیری و خطرات شود. این مقاله همچنین نشان می‌دهد که چگونه استفاده از تکنیک‌های مدل جایگزین می‌تواند پیچیدگی محاسباتی ارزیابی‌های شکنندگی و ریسک به‌ویژه در تنظیمات چند خطر را تسهیل و کاهش دهد[۲۱].

در سال ۲۰۱۹، حاجی محرابی و همکاران به منحنی‌های شکنندگی مخازن ذخیره‌سازی مایعات استوانه‌ای بتنی مسلح به شرح زیر پرداختند: آرماتورهای بتن مسلح حلقوی، به طور موثری برای سر ریز شدن مایعات ناشی از حرکت زلزله در مخازن استوانه ای بزرگ استفاده شده است. در همین حال، این عناصر سازه ای اضافه شده ممکن است ویژگی‌های ساختاری مخازن را تغییر داده و بر رفتار لرزه ای آنها تأثیر منفی بگذارد. در این مقاله اثرات بافل ها بر رفتار لرزه ای مخازن استوانه ای بتنی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. با توجه به نسبت ابعاد، سه نوع مخزن شامل سازه های کوتاه، متوسط و بلند تحت ۹ حرکت زمین لرزه ای بررسی می شود. منحنی‌های شکنندگی لرزه‌ای برای سر ریز

[10] corrosion risk pace (CRP)
[11] corrosion true pace (CTP)
[12] magnetic flux leakage (MFL)
[13] above ground storage tanks (ASTs)

شدن مایع، عرض ترک عمودی ناشی از نیروی حلقه کششی و گشتاور خمشی دیواره مخزن در پایه محاسبه می‌شوند. نتایج مزایا و هزینه های ساختاری بافل ها در مخازن ذخیره مایع را نشان می‌دهد. در حالی که استفاده از بافل تا حد زیادی باعث کاهش ارتفاع موج کج‌شدگی می‌شود، اما منجر به افزایش جزئی در عرض ترک عمودی و ممان خمشی پایه دیواره مخزن می‌شود. به نظر می رسد سود کاهش ارتفاع کاهش بر هزینه افزایش جزئی پاسخ های ذکر شده حاکم باشد [۲۲]. در شکل ۲۳ به ارائه نمایی از مدل‌های اجزای محدودی مخازن- الف: بتن مسلح ب: بلند ج-متوسط د-کوتاه و دفنی پرداخته شده است.



شکل ۲۳- نمایی از مدل های اجزای محدودی مخازن- الف: بتن مسلح ب: بلند ج-متوسط د-کوتاه و دفنی [۲۲]

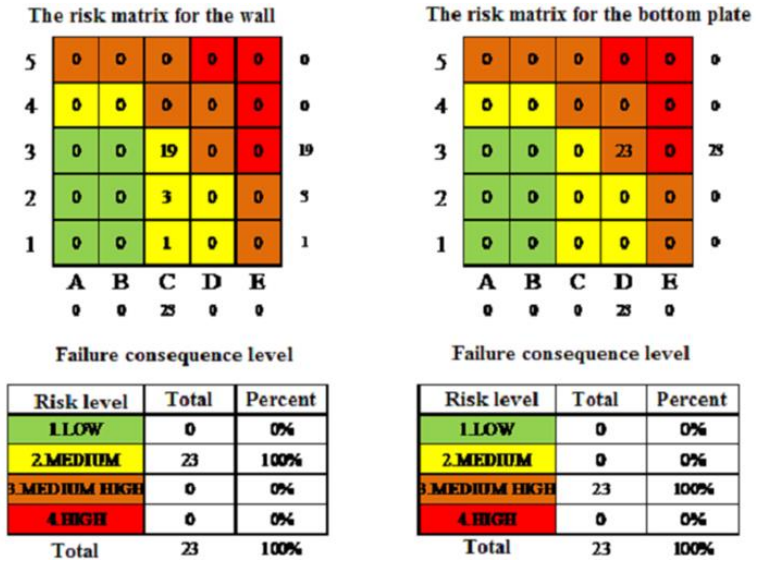
در سال ۲۰۲۰، فنگ و همکاران به تحقیق در مورد روش اجرا و کاربرد فنی ارزیابی ریسک در مخازن ذخیره‌سازی در ذخایر ملی نفت به شرح زیر پرداختند: روش بازدید بر اساس ریسک در مورد ۲۳ مخزن بزرگ یک پایگاه ذخیره استراتژیک نفت ملی مورد مطالعه قرار گرفت که یک کار تحقیقاتی نسبتاً بزرگی بود. مخازن ذخیره نفت در برنامه واقعی پروژه به اندازه کافی از طول عمر بهره برداری شان نگذشته بود. اطلاعات اولیه ۲۳ مخزن ذخیره سازی نفت خام با حجم اسمی یکصد هزار متر مکعب جمع آوری و دسته بندی شد. ۲۳ مخزن ذخیره مورد استفاده از ارزیابی ریسک همه مخازن ذخیره سازی اتمسفریک رو زمینی هستند. ۲۳ مخزن ذخیره همگی مخازن با سقف شناور بودند. محیط حاوی مخزن ذخیره نفت خام است. روش تجزیه و تحلیل روند ریسک مورد مطالعه قرار می‌گیرد و پیشنهادات نگهداری معمولی ارائه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش ارزیابی ریسک برای مخزن قابل اجرا است و توسط واحد مدیریت مخزن شناسایی شده است و یک مورد واقعی نادر را ارائه می‌دهد[۲۳].

نتایج این تحقیق به شرح زیر هستند:

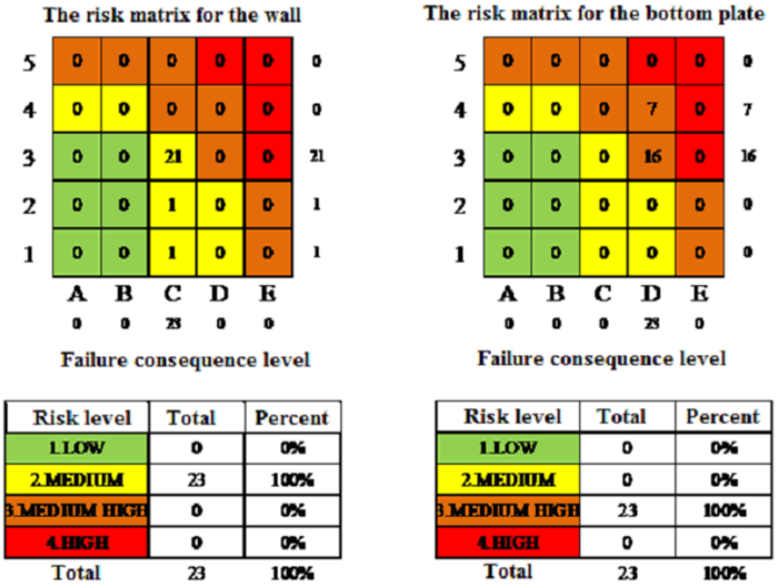
(۱) تجزیه و تحلیل ریسک شامل مجموعا ۲۳ واحد مخازن ذخیره، نتایج محاسبه ریسک فعلی نشان می‌دهد که تجهیزات سطح ریسک متوسط تقریباً صفحه دیواری شکل هستند و تجهیزاتی با خطرات نسبتاً بالا عمدتاً صفحات پایینی هستند.

(۲) با توجه به نتایج محاسبه ریسک در ۵ سال آینده و ۱۰ سال آینده، تجهیزات سطح ریسک متوسط تقریباً صفحه دیواری هستند و دستگاه‌های دارای ریسک نسبتاً بالا عمدتاً صفحات پایین هستند.

(۳) پس از تکمیل ارزیابی، بازدید آنلاین می‌تواند طبق برنامه‌ریزی شده با توجه به سطوح خطر مخازن ذخیره‌سازی انجام شود و بر اساس نتایج بازرسی آنلاین، بازرسی کلی از کار افتادگی مخازن ذخیره‌سازی با باز کردن مخازن می‌تواند به درستی ترتیب داده شود. در شکل ۲۴، ریسک مخازن ذخیره‌سازی در کف و دیواره‌ها در سال ۲۰۱۶ و در شکل ۲۵، ریسک مخازن ذخیره‌سازی در کف و دیواره ها در سال ۲۰۲۰ ارائه شده است.

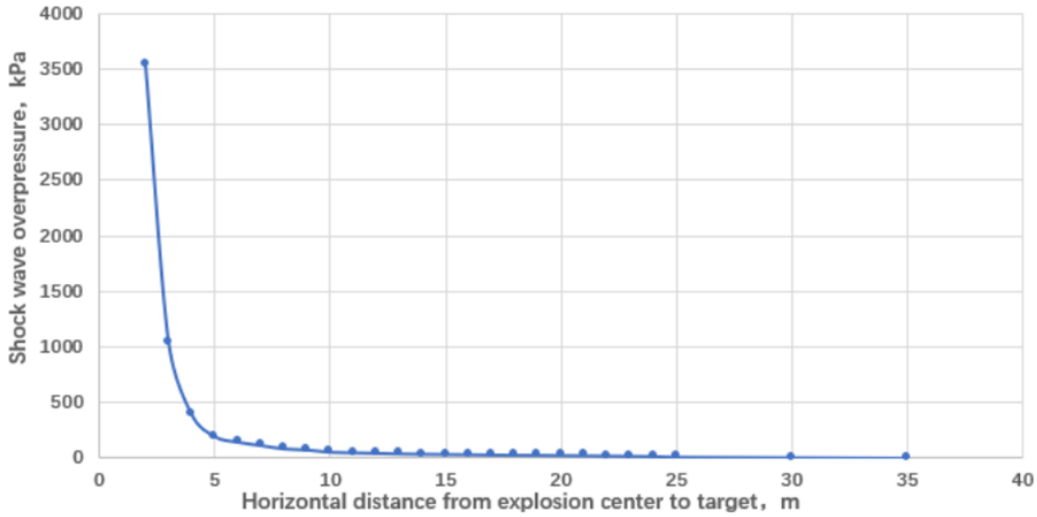


شکل ۲۴- ریسک مخازن ذخیره سازی در کف و دیواره ها در سال ۲۰۱۶ [۲۳]



شکل ۲۵- ریسک مخازن ذخیره سازی در کف و دیواره ها در سال ۲۰۲۰ [۲۳]

در شکل ۲۶ به ارائه رابطه بین فشار بیش از حد و فاصله پرداخته شده است.



شکل ۲۶. رابطه بین فشار بیش از حد و فاصله [۲۳]

در سال ۲۰۲۰، لی و همکاران به تحقیق در مورد فاصله ایمنی مخازن نگهداری مواد شیمیایی بر اساس پیامدهای تصادف و تجزیه و تحلیل ریسک به شرح زیر پرداختند: قرارگیری مخازن نگهداری مواد شیمیایی موضوع مهمی در ایمنی صنعتی است و روش قرارگیری آن بر اساس بررسی فاصله ایمنی مخازن ذخیره‌سازی است. این مقاله مخازن ذخیره‌سازی گاز مایع را به عنوان مثال در نظر گرفته است. برای تجزیه و تحلیل از انفجار ابر بخار، آتش سوزی استخر، انفجار مخازن تحت فشار، انفجار بخار انبساط مایع در حال جوش و سایر مدل‌های پیامدهای حادثه آتش سوزی و انفجار و روش‌های تحلیل احتمال خطر استفاده می‌کند. ثابت شده است که انتقال مخازن ذخیره از زمین به زیرزمین می‌تواند به طور قابل توجهی دامنه تاثیر حوادث انفجار را کاهش دهد و در نتیجه نرخ بهره‌برداری از زمین‌های صنعتی را افزایش دهد [۲۴].

در سال ۲۰۲۱، الهیلو و همکاران به مطالعه مدلسازی دینامیکی پیشرفته آتش و دود مخازن ذخیره نفت خام به شرح زیر پرداختند: خواص احتراق آتش سوزی استخر نفت خام در مقیاس بزرگ برای طراحی امنیتی و اطفاء حریق ذخایر نفت خام فعلی اهمیت زیادی دارد. سرعت سوختن، شکل شعله و شدت تابش مهمترین پارامترهای خواص آتش سوزی هستند. تازگی این مطالعه این است که شبیه‌ساز دینامیک آتش[14] برای شبیه‌سازی آتش‌سوزی استخر در مزرعه مخزن به کار گرفته شده است. این نه تنها شار تابش گرما را بررسی و تجزیه و تحلیل می‌کند، بلکه افزایش اختلاف دما و رفتار خطوط دمای شعله/ دود را نیز بررسی می‌کند. این شبیه‌سازی به منظور پیش‌بینی پتانسیل‌های آتش‌سوزی بزرگ مخزن ذخیره نفت خام و توزیع دمای دود که در داخل و اطراف مخزن مقابله می‌کند، انجام می‌شود. این داده ها در طراحی مزارع مخازن و به کارگیری استراتژی اطفاء حریق استفاده می‌شود. برای شبیه‌سازی یکی از بزرگترین مزارع نفت خام در جهان از یک سیستم پیشرفته جهت اجرای برنامه شبیه سازی استفاده می‌شود. این مدل برای شناسایی بدترین سناریوهایی که ممکن است در یک مخزن بزرگ نفت خام رخ دهد، بررسی خواهد شد. یکی از این سناریوها ممکن است وقوع آتش‌سوزی در آب بندی لبه در یکی از چهار مخزن ذخیره‌سازی باشد که در آن آتش به تمام سطح منتقل می‌شود. این مدل پتانسیل شیوع آتش مخزن، ردیابی دود و دمای دود/شعله را که با

[14] Fire dynamic simulation (FDS)

سرعت باد ۳ متر بر ثانیه، ۹ متر بر ثانیه، ۱۸ متر بر ثانیه در جهت جنوب غربی گسترش می‌یابد، پیش‌بینی می‌کند. مدل FDS داده‌های کیفی را ارائه می‌کند که سطح ایمنی را افزایش می‌دهد، مانند حداقل فاصله‌های ایمن جداسازی و محل قرارگیری آتش نشانان در طول فرآیند اطفاء حریق. همچنین بحرانی‌ترین منطقه را که برای سیستم خنک کننده آب مورد نیاز است را تعیین می‌کند. این مطالعه همچنین به مدت زمانی که پس از آن انسان در معرض تشعشعات ناشی از آتش و دود مخازن ذخیره دچار مشکلات تنفسی می گردد، نیز می‌پردازد [۲۵].

۶- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی انواع روش‌های مدیریت نگهداری و همچنین ریسک مخازن ذخیره‌سازی بتنی نفتی پرداخته شد. نتایج نشان داد، مقاومت فشاری بالاتر بتن نسبت به فولاد، مقاومت بالا در برابر آتش گرفتگی و عدم نیاز به مصالح گران و نگهداری سنگین در برابر خوردگی نسبت به فولاد جزو مزایای مخازن بتنی نفتی به حساب می‌آید. هم چنین مهم‌ترین عوامل ریسک زا در مخازن، خوردگی کف مخزن ذخیره سازی نفتی است به علت واکنش مواد نفتی داخل مخزن بتنی که در تمامی موارد خوردگی روش‌هایی چون: استفاده از پیش بینی خوردگی کف مخزن با استفاده از مدل خاکستری، استفاده از آزمون انتشار صوتی، استفاده از آزمایش غیر مخرب و انتشار صوتی، استفاده از اسکنر لیزری ۳ بعدی، استفاده از مدل مدیریتی نگهداری ناب با استفاده از مدلسازی اطلاعات سازه مخزن، بسیار پر اهمیت است. با توجه به اینکه امروزه مدل سازی اطلاعات سازه به عنوان یکی از ابزارهای نوین در طراحی و ساخت سازه ها به کار گرفته می‌شود، نمایش دیجیتالی از کاراکترهای فیزیکی و عملکردی از سازه می‌تواند با اشتراک گذاشتن دانش پروژه سازه‌ای بین ذینفعان تسهیل ایجاد نماید. با گسترش این فناوری و اضافه شدن بعدهای جدید، استفاده از آن در فاز بهره برداری و نگهداری سازه‌ها مورد توجه قرارگرفته است. اما سؤال اصلی این است که اطلاعات ذخیره شده در نرم افزارهای مدل سازی اطلاعات سازه برای فاز نگهداری در مدل‌های فعلی دارای ریسک حداقلی و کافی می‌باشد یا نیاز به در نظرگیری ریسک جدید برای یک بعد جدید با در نظرگیری مسائل و تئوری‌های بهره برداری و نگهداری از سازه‌های موجود دارد. لذا با توجه به اینکه چنین رویکردی در تحقیقات پیشین بسیار کم به آن پرداخته شده، می توان برای آینده تحقیقات مرتبط با ریسک و مدیریت نگهداری مخازن بتنی نفتی به بررسی و معرفی مدل مدیریت نگهداری مبتنی بر ریسک برای مخازن ذخیره سازی بتنی نفتی با استفاده از مدلسازی اطلاعات ساختمان پرداخت.

در همین راستا برای ادامه تحقیقات، مدل‌سازی اطلاعات ساختمان می تواند مخازن بتنی نفتی را به همراه جزئیات مدل‌سازی کند، تمامی المان‌ها به همراه اطلاعات سازه‌ای شامل مقاومت بتن، میزان آرماتور، بتن، قالب بندی و هم چنین از بعد هزینه‌ای آن، هزینه‌های مربوط به ساخت اولیه، افت مقاومت و مشخصات سازه‌ای، نیاز به نگهداری را می‌تواند اعلام نماید. منظور کنترل چرخه عمر پروژه می‌توان به نمایش وضعیت سازه مخزن تا سال‌ها پس از بهره-برداری پرداخت و تمامی اطلاعات را به صورت شفاف در محیط مورد نظر بایگانی نمود تا هر زمان که نیاز باشد این اطلاعات استخراج گردد. طراحی و ساخت مناسبت‌تر وقتی به واسطه به کارگیری روش مدل سازی اطلاعات ساختمان باشد، سازه به نحوی می‌تواند مشخصات مقاومتی خود را برای مدت زمان بیشتری حفظ نماید. به دلیل دقت بالای این روش در نمایش وضعیت المان‌های سازه مخزن بتنی نفتی، هر زمان خرابی‌ای به چشم بخورد با داشتن اطلاعات مربوط می‌شود آن را مشاهده و نسبت به رفع آن اقدام نمود. همچنین منجر به کاهش تأخیرات در نگهداری و کاهش

خطاهای مربوط به آن می شود. به دلیل دسترسی سریع و آسان به اطلاعات سازه به واسطه مدلسازی اطلاعات ساختمان، می‌توان عملیات نگهداری را در زمان اضطراری بودن به سرعت شروع نمود.

۷-مراجع

[۱] مهندسی و مدیریت ساخت، فصلنامه علمی تخصصی شرکت بلند پایه، سال اول، شماره سوم (ویژه نامه مخازن بتنی ذخیره سوخت)، پاییز ۱۳۹۲.

[2] El, M. S. B. A. A, El Nawawy, O. A. M., & Abdel-Alim, A. M, "Identification and assessment of risk factors affecting construction projects," *Hbrc Journal*, 2015.

[3] Kuo, Y. C, and Lu, S. T, "Using fuzzy multiple criteria decision making approach to enhance risk assessment for metropolitan construction projects", *International Journal of Project Management*, vol. 31, no 4, pp. 602-614, 2013.

[4] Hallowell, M. R, Hardison. D, and Desvignes, M. "Information technology and safety: Integrating empirical safety risk data with building information modeling, sensing, and visualization technologies," Construction innovation, 2016.

[۵] وزارت نفت، راهنمای ایمنی مخازن مواد نفتی (رو زمینی اتمسفریک)، اداره کل بهداشت، ایمنی، محیط زیست و پدافند غیرعامل.

[6] Kumar. K, and Saini, R. P. A, "review on operation and maintenance of hydropower plants". Sustainable Energy Technologies and Assessments, vol. 49, pp.101704, 2022.

[7] Xiao-gang. Z, Yi. Z, Fei, C, Jian-cheng. Z, Jie.Z, and De-peng. G, "Prediction of soleplate corrosion in petroleum storage tank based on Grey Model GM (1, 1)," IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, pp. 2093-2097, Dec 2012.

[8] Guo. Z, Kang. Y, Chen. H, Xu. H, and Liu. M, "The Reliability of Acoustic Emission Inspection on the Storage Tank Floor," In International Pipeline Conference, Vol. 46131, p. V004T05A003, September 2014.

[9] Xu. H, Liu. X, Guo. Z, Kang. Y, and Chen. H, "Comparison between acoustic emission in-service inspection and nondestructive testing on aboveground storage tank floors," In Advances in Acoustic Emission Technology, pp. 451-457. Springer, New York, NY, 2015.

[10] Feng.Y, Yang.Y, and Huang. B, "Corrosion analysis and remaining useful life prediction for storage tank bottom", *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 16, no.5, 2019.

[11] Park. J. K, and Lee. K. W, "Oil Storage Tank Inspection using 3D Laser Scanner", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol 21, no 12, pp. 867-872, 2020.

[12] Dou. M. Y, Liao. X. H, Yang, S. J, Qin. M. W, Zou. S, and Huang. F. C, "Development trend of protection technology for oil storage tank", In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 526, no. 1, p. 012117. IOP Publishing, June 2020.

[13] Luo. F. W, Ran. R, and Wang. L, "Study on Corrosion Law of Large Crude Oil Storage Tank Floor and Risk-Based Inspection and Maintenance Technology," *Corrosion Science and Technology*, vol. 19, no. 2, pp. 66-74, 2020.

[14] Zhang. Y, Liu. X, Lai. J, Wei. Y, and Luo. J, "Corrosion fatigue life prediction of crude oil storage tank via improved equivalent initial flaw size", *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 114, 103023, 2021.

[15] Rathaur. R, and Ghosh. S, "Numerical investigation of water draining and oil-water draining from a square tank-A comparison,"*International Journal of Multiphase Flow*, 104001, 2022.

[16] Hou. Y, Zhang. Y, Wu. N, and Zhu. Q, "Constrained multi-objective optimization of short-term crude oil scheduling with dual pipelines and charging tank maintenance requirement", *Information Sciences*, vol. 588, pp. 381-404, 2022.

[17] Nemati. H, and Heidary. R, "Risk analysis of cryogenic ammonia storage tank in Iran by fault tree method", *Emir J Eng Res*, vol.17, no. 2, pp. 43-52, 2012.

[18] Kuwayama. Y, Roeshot. S. S, Krupnick. A, and Richardson. N. D, "Pits versus tanks: Risks and mitigation options for on-site storage of wastewater from shale gas and tight oil development", *Resources for the Future Discussion Paper*, pp. 15-53, 2015.

[19] Shin. C, ParkJ. H, and Yoon. J, "Analysis on the risk of the impermeable concrete bottom of dikes for nitric acid storage tanks", *Journal of the Korean Society of Safety*, vol. 31, no.3, pp. 53-59, 2016.

[20] Qiu. F, Dai. G, and Zhang. Y, "Application of an acoustic emission quantitative method to evaluate oil tank bottom corrosion based on corrosion risk pace", *Insight-Non-Destructive Testing and Condition Monitoring*, vol. *59. No.*12, pp. 653-658, 2017.

[21] Bernier, C, and Padgett. J. E, "Fragility and risk assessment of aboveground storage tanks subjected to concurrent surge, wave, and wind loads,"*Reliability engineering & system safety*, vol. *191*, 106571, 2019.

[22] Hajimehrabi. H, Behnamfar F, Samani. A. K, and Goudarzi, M. A, "Fragility curves for baffled concrete cylindrical liquid-storage tanks", *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol.119, pp. 187-195, 2019.

[23] Fang. Z, Wang.Z, and Li. G, "Research on Implementation Method and Technical Application of Risk Assessment to Storage Tank at National Petroleum Reserves", *In Pressure Vessels and Piping Conference*, vol, 83815, p. V001T01A078, August 2020.

[24] Li. Z, Wang. S, and Sun. D, "Research on Safety Spacing of Chemical Storage Tanks Based on Accident Consequence and Risk Analysis", In *E3S Web of Conferences* Vol. 198, p. 01021, 2020.

[25] Elhelw. M, El-Shobaky. A, Attia. A, and El-Maghlany. W. M, "Advanced dynamic modeling study of fire and smoke of crude oil storage tanks", *Process Safety and Environmental Protection*, vol. *146*, pp. 670-685, 2021.