

گاهنامه تخصصی

شماره ۱۱

پائیز ۱۴۰۳

Mapnabe.com

گروه مپنا

شرکت مهندسی و ساخت
بویلر و تجهیزات مپنا



گاهنامه تخصصی

آبجنا

شماره ۱۱ - پائیز ۱۴۰۳

صاحب امتیاز و مدیرمسئول

فردین شهریاری

شورای سیاست‌گذاری

اسماعیل بینایی‌باش، علیرضا حجام، محمد دیسفانی، سعید

طباطبایی، مجتبی قاسمی و مهرداد مولودی

مدیر اجرایی و سردبیر

علیرضارضایی

ویراستار

محسن پیریمی

اعضای هیات تحریریه

امید ارجمندنژادیان - صابر امینی - رضا براتی - نوید بهرامی

سیامک جمالی - علیرضارضایی - سمانه شیدایی - احسان طالب زاده

امیر فولادی - خانیه قربانی فرد - زهرا کولیوند - کریم محرابی

کیوان نجاتی - خشایار واعظی

همکاران این شماره

مریم آجورلو - محمد احمدی - امید ارجمندنژادیان - علی اسمعیلی - فهیمه اسمعیلی - رضا براتی

حسین بهادری - اسماعیل بینایی‌باش - فرشید پرستار - علیرضا تبا زاده - رعنا توکلی - سعید جوان

آرمین حسن‌پور - اسماعیل خسروبیگی - سامان ذاکر - حمید شوشتر - سید عبدالله شیخ الاسلامی

سامان صاحب‌جلال - هما طالب رجبی - محدثه طاهری - رضا عراقی - علی عشقی ثانی

مهرداد فرهنگنژاد - کامیار کاشی - یوسف کاظمیان - حسین کریمی - محمدعلی محمدی

اردشیر محمدیان - رامین مرادی - میثم مروی - مهدی معدنی‌پور - زهرا منصوری

آمنه مومیوند - علی مهرجویان - کیوان نجاتی

در این شماره ...

۴	تبدیل کربن دی اکسید و هیدروژن به متانول
۸	تنش پسماند ناشی از تحولات فازی متالورژیکی در فرآیند جوشکاری فولادها
۱۳	تست عملکردی بویلر بر اساس ASME PTC 4
۲۲	مروری بر روش‌های خنک کاری هوای ورودی به توربین گاز و بررسی اثرات آن بر سیکل و بویلر بازیافت حرارت
۳۱	آینده پژوهی و کاربرد همزاد دیجیتال در صنعت نیروگاهی
۴۲	طراحی بویلر صنعتی Elevated Drum
۴۷	مدلسازی مسیر انتقال پساب فرآیند الکترودیونیزاسیون با روش CFD و ارزیابی پیامدهای
	رهایش هیدروژن موجود در آن با نرم افزار PHAST
۵۶	فرآیند اکسپند تیوب در تیوبشیت: روش‌ها، ابزار، تکنیک‌ها و الزامات
۶۵	تحلیل تنش سوپرهیتر بویلر سینگل درام بصورت CASE STUDY
۷۶	بررسی ارتباط میان نوآوری بازار، چابکی استراتژیک و موفقیت در بازار B2B
۸۲	نظریه بازی برای مدیران در آستانه تولد هوش مصنوعی
۸۹	رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های تحولی و استراتژیک سازمان چه باشد؟ سنتی یا چابک؟
۹۴	هشت اصل تسهیلگر در مدیریت پروژه
۱۰۱	ارائه چارچوبی جهت بررسی نقش سطح بلوغ مدل ۳۴۰۰۰ تعالی منابع انسانی بر بین المللی سازی سازمانی
۱۱۰	بازرسی بر مبنای ریسک
۱۱۹	بررسی علت ترک لوله ۳ اینچ S.A 106 Gr. B مورد استفاده در خطوط لوله نیروگاهی در هنگام زدن خال جوش
۱۲۴	فرهنگ نوآوری و کارآفرینی: کلیدی برای موفقیت سازمان‌های بزرگ
۱۳۰	بررسی مشکلات خوردگی بویلرهای زیاله سوز
۱۴۶	روش‌های پرداخت در تجارت بین الملل
۱۵۰	چارچوب نظری مدل بلوغ CSR
۱۵۴	گزارش پروژه‌ها

تبدیل کربن دی اکسید و هیدروژن به متانول

رعنا توکلی، آرمین حسن پور، علیرضا تبارزاده



چکیده

انتشارات انسانی صنعتی گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسیدکربن (CO_2) در طول قرن گذشته افزایش یافته است. انتشار ناخودآگاه دی‌اکسیدکربن به محیط زیست منجر به اثر گلخانه‌ای و گرم شدن کره زمین می‌شود. صنعت سیمان اخیراً به عنوان یکی از منابع اصلی انتشار دی‌اکسیدکربن در نظر گرفته شده است، شرکت‌های متعددی تصمیم به ساخت تاسیسات مربوطه برای کاهش آلودگی شدید ناشی از CO_2 دارند. سیمان هایدلبرگ، یک شرکت چندملیتی مصالح ساختمانی، نیز از این موضوع آگاه است و بر جذب، استفاده و ذخیره‌سازی CO_2 (CCUS) تمرکز دارد. جدا از استفاده مستقیم، CO_2 جذب شده این امکان را دارد که به یک تجارت امیدوارکننده تبدیل شود. در این مقاله یکی از فناوری‌هایی که CO_2 را با هیدروژناسیون به متانول تبدیل می‌کند با برنامه‌ای به نام Aspen Plus ارائه و شبیه‌سازی شده است. بهبودهای مبتنی بر خروجی خالصتر و صرفه‌جویی در انرژی در شبیه‌سازی اولیه انجام شد. پس از خالص‌سازی محلول، غلظت CH_3OH از ۰/۹۶ درصد وزنی به ۹۹/۹۷ درصد وزنی افزایش می‌یابد، که سطح فوق‌العاده بالایی است که می‌تواند برای کاربردهای طیف‌سنجی یا نیمه‌رسانا استفاده شود. این مقاله می‌تواند برخی از منابع را برای مطالعات آینده CCUS ارائه دهد.

واژگان کلیدی

هیدروژناسیون CO_2 ، اسپن پلاس، تولید متانول، آنالیز انرژی، بهبود انتخاب‌پذیری

مقدمه

انتشار CO_2 یکی از اهداف اصلی است که باعث گرم شدن کره زمین می‌شود زیرا به عنوان گاز گلخانه‌ای تعریف می‌شود. اخیراً میزان انتشار CO_2 به شدت افزایش یافته است. انتشار سالانه CO_2 در سراسر جهان در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ به ترتیب ۲۵/۴۵ و ۳۶/۴۰ میلیارد تن متریک است که نشان می‌دهد در این بیست سال رشد ۴۳/۰۳ درصدی وجود دارد [۱]. بنابراین، جذب و استفاده مجدد از CO_2 برای کارخانجات صنعتی فعلی دو چندان ضروری نیست. دی‌اکسیدکربن جذب شده می‌تواند برای مناطق مختلف مورد استفاده قرار گیرد، می‌توان از آن برای بهبود سختی قالب‌های ریخته‌گری در تولید صنعت فلز استفاده کرد، برای مصارف صنایع لاستیک و پلاستیک استفاده کرد [۲]، و CO_2 همچنین می‌تواند به عنوان حلال برای بهبود بازیافت روغن یا به عنوان یک سیال عامل برای تامین انرژی سیستم‌های زمین گرمایی (EGS) عمل می‌کند [۳]. علاوه بر استفاده مستقیم از دی‌اکسیدکربن، CO_2 جذب شده نیز معمولاً به سایر مواد شیمیایی مفید مانند اوره، متانول و اسید فرمیک تبدیل می‌شود [۴]. متانول در فرآیندهای شیمیایی کاربردهای متفاوتی دارد، از آن برای ساخت برخی محصولات مانند فوم، مایع شیشه‌شوی و چسب استفاده می‌شود. [۵] متانول به دلیل هزینه تولید پایین‌تر و امنیت انرژی بالاتر، همیشه به عنوان سوخت حمل و نقل مورد استفاده قرار می‌گیرد [۶]. به طور متعارف، متانول از هیدروژناسیون دی‌اکسیدکربن تولید می‌شود و این فرآیند به دلیل فعالیت کاتالیزوری بالاتر و قیمت ارزانتر، توسط برخی کاتالیزورهای مبتنی بر مس کاتالیز می‌شود [۷]. این مقاله تکنیک واکنش CO_2 با هیدروژن را برای تولید متانول انتخاب می‌کند و شبیه‌سازی می‌خواهد توسط نرم‌افزار Aspen plus بهبود یابد. برخی از عوامل ضروری مانند دمای ورودی، فشار ورودی و جریان جرمی مواد شیمیایی خوراک بعداً آورده خواهد شد. مصرف انرژی نیز با مشاهده داده‌های منعکس شده از نرم افزار تجزیه و تحلیل

خواهد شد. هنگامی که دی‌اکسیدکربن به طور موفقیت‌آمیزی کنترل شود، محصولات حاصل از این فرآیند می‌توانند برای مناطق مختلف مفید باشند و همچنین می‌تواند محیط زیست را در آینده بهتر کند.

روش کار

۱-۲- طراحی تجربی

هایدلبرگ سیمان یکی از بزرگترین شرکت‌های چندملیتی مصالح ساختمانی است و سابقه کمک به پیشرفت ۱۵۰ ساله را دارد. این شرکت سال‌ها بر حفاظت از آب و هوا تمرکز کرده است، و از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱، خالص CO_2 منتشر شده را یک چهارم به ۵۶۵ کیلوگرم در هر تن مواد سیمانی کاهش داد [۸]. در این مقاله، مقدار CO_2 مورد استفاده برای تغذیه به جریان ۲۴۰۰ کیلوگرم در ساعت انتخاب شده است، با هدف مشاهده نتایج متانول تولید شده از مدل شبیه‌سازی شده توسط Aspen plus و بررسی بازخورد خروجی، هزینه‌های انرژی و دیگران هنگام مدل‌سازی با استفاده از تنظیمات مختلف. تصور می‌شود که دی‌اکسیدکربن تولید شده توسط این شرکت از قبل تصفیه شده و برای جریان تغذیه صفحه جریان در شکل ۱ خالص می‌شود.

۱-۱-۲- واکنش‌های تبدیل دی‌اکسیدکربن به متانول

واکنش‌های دی‌اکسیدکربن در جدول ۱ نشان داده شده است.

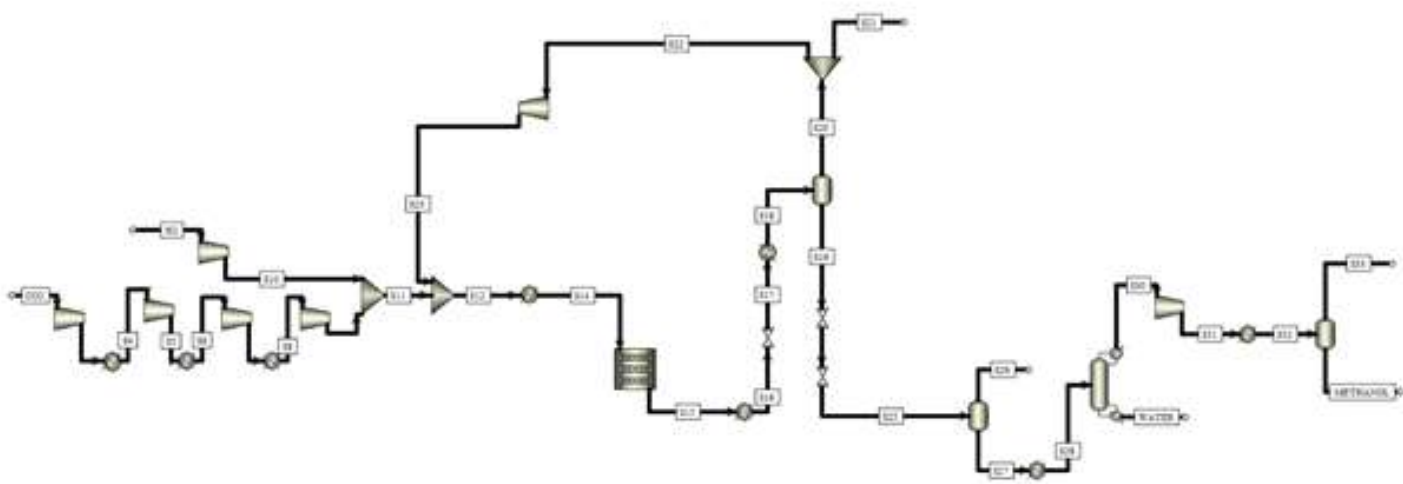
جدول ۱- واکنش‌های کربن دی اکسید

$CO_2 + 3H_2 \rightleftharpoons CH_3OH + H_2O$	$\Delta H = -49.7 \text{ KJ/mol}$	(۱)
$CO_2 + H_2 \rightleftharpoons CO + H_2O$	$\Delta H = +41 \text{ KJ/mol}$	(۲)
$CO + 2H_2 \rightleftharpoons CH_3OH$	$\Delta H = -90.7 \text{ KJ/mol}$	(۳)

۲-۲- مواد

۱-۲-۲- شبیه‌سازی

Aspen Plus V10 برنامه‌ای است که عموماً در مهندسی شیمی، صنایع ریز و بیوشیمیایی برای شبیه‌سازی مدل فرآیندهای جدید یا ارتقاء فرآیندهای موجود به منظور بهبود کارایی آنها و برخی عملکردهای دیگر مانند صرفه‌جویی، ایمنی و هزینه انرژی استفاده می‌شود. [۹] در این مقاله، شبیه‌سازی تحت چندین فرض ساخته شد، (۱) همه گازها ایده آل فرض می‌شوند. (۲) در داخل راکتور، تنظیم دما و فشار یکنواخت است. (۳) این یک فرآیند ثابت و هم دما است. (۴) گازهای تغذیه در یک نرخ جریان جرمی مشخص با نسبت معین داده می‌شوند.



شکل ۱- فرایند شبیه سازی شده در نرم افزار Aspen Plus

۲-۲-۲- چند نمونه از بلوک‌های مورد استفاده برای فرآیند شبیه‌سازی در این مقاله

مقدمه و توضیحات ماشین‌های اصلی مورد استفاده در شبیه‌سازی در جدول ۲ نشان داده شده است.

نام	عملکرد
کمپرسور	گازها را برای افزایش فشار تا رسیدن به مقدار مورد نظر فشرده میکنند.
میکسر	جریان های خوراک را مخلوط میکند یا جریان اصلی را با جریان بازیافت جمع میکند.
مبدل حرارتی	دمای جریان را افزایش یا کاهش میدهد.
راکتور	واکنش ها در راکتور در دمای مشخصی انجام می شود.
جداکننده	هدف جداکننده دو فاز جداسازی بخار و مایع است.
برج تقطیر	آب را با استفاده از نقاط جوش مختلف اجزاء جدا میکند.

۲-۲-۳- ارزیابی اقتصادی

به طور کلی، هزینه کل شامل هزینه سرمایه و هزینه عملیات است. هزینه سرمایه نشان دهنده سرمایه‌گذاری در ساخت، بهبود یا خرید دارایی‌هایی مانند تجهیزات است.

برنامه Aspen Plus V۱۰ اعمال شده در این مقاله دارای تابعی از Activated Economics Analyzer برای تخمین فوری هزینه‌های تجهیزات بر اساس شبیه‌سازی کاربر است. با استفاده از تحلیلگر، کاربران می‌توانند ماشین‌های اصلی را برای دستیابی به هدف کاهش هزینه‌های تجهیزات تنظیم یا جایگزین کنند [۱۰]. با این حال، یک روش تحلیل هزینه کل دیگر تقریباً پس از بهبود شبیه‌سازی به جای استفاده از نرم‌افزار معرفی می‌شود، زیرا مقاله بر بررسی برای بهبود خلوص تمرکز دارد.

۲-۲-۴- ارزیابی انرژی

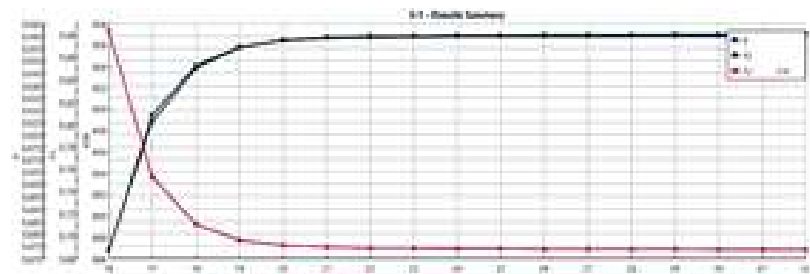
به حداقل رساندن هزینه انرژی فرآیند عامل دیگری است که برای رسیدن به یک مدل کامل باید در نظر گرفته شود. برای انجام بهینه راه‌اندازی و مقاوم‌سازی شبکه مبدل حرارتی، که همچنین می‌تواند به عنوان انجام مدل‌های کم هزینه یا آلودگی کمتر درک شود، یک تحلیلگر انرژی آسپن برای ارائه یک راه راحت و آسان برای کاهش مصرف انرژی غیرضروری ارائه شده است [۱۱]. در این مقاله از آنالایزر برای رعایت وظیفه بازیابی دستگاه‌ها و ارائه طرح پیشنهادی نزدیک به بهینه استفاده شده است.

۲-۳- فرایند مدلسازی

شبیه‌سازی فرآیند بر اساس دو جریان خوراک است. اولین جریان تغذیه، جریان ورودی دی‌اکسیدکربن است و برای دستیابی به جریانی با دما و فشار ایده‌آل، به مجموعه‌ای از کمپرسورها ارسال می‌شود که توسط خنک‌کننده‌ها پشتیبانی می‌شوند. جریان تغذیه دوم گاز هیدروژن خالص است که با جریان CO۲ آماده شده در میکسر اول (M۱) مخلوط می‌شود و سپس مخلوط به مخلوط کن جدید منتقل می‌شود که جریان بازیافت را نیز می‌پذیرد. خروجی از میکسر دوم پس از افزایش دما به دمای واکنش در اختیار راکتور قرار می‌گیرد. سپس محصول از راکتور برای شکافتن گازهایی که از مایع به متانول تبدیل نمی‌شوند، کم فشار می‌شود، مایع وارد مجموعه‌ای از بلوک‌ها می‌شود تا آب را خارج کرده و محلول متانول را به عنوان محصول مورد نظر تصفیه کند.

۲-۳-۱- مدل‌سازی فرایند بهبود نیافته

محدوده شرایط عملیاتی استاندارد شامل دما و فشار اعمال شده برای راکتور سنتز متانول به ترتیب ۲۲۰-۲۸۰ درجه سانتیگراد و ۵۰-۱۰۰ اتمسفر است [۱۲]. راکتور از شکل ۱ به عنوان راکتور RPlug با نوع «راکتور با دمای خاص» انتخاب شده است، دمای واکنش ۲۸۰ درجه سانتیگراد تنظیم شده است در حالی که فشار ۷۷ اتمسفر است. استفاده از ابزار تحلیل مدل - حساسیت برای دستکاری گروهی از متغیرهای P۱، P۲ و Q۱ برای تعیین تعداد بهینه مراحل در ستون. P نشان‌دهنده کسر جرمی متانول در جریان «S۱»، P۲ کسر جرمی H۲O در جریان «S۲» است، و Q۱ به معنای وظیفه جوش‌آور (واحد: کیلووات) در بلوک «B۲» است. از شکل ۲، منحنی «P» را می‌توان مشاهده کرد که درصد جرمی متانول در جریان «S۱» روند رشدی با افزایش تعداد مراحل دارد تا پس از موقعیت تعداد مراحل ۲۶، که در آن افزایش تعداد مراحل تأثیر زیادی روی نتایج ندارد. بنابراین، ضریب نسبت رفلاکس باید ارزیابی شود.



شکل ۲- آنالیز حساسیت

نتیجه‌گیری

مدل مطالعه تبدیل دی‌اکسیدکربن به متانول با اجرای برنامه Aspen Plus انجام و توسعه داده شد. فرآیند مدل‌سازی واکنش شامل واحدهای انتگرال مختلفی از جمله کمپرسور، مبدل حرارتی، راکتور، جداکننده و برج تقطیر RadFrac است. خلوص مورد انتظار CH۳OH بیشتر از ۹۹/۹٪ برای کاربردهای گسترده‌تر و سودمندتر است. برای دستیابی به انتظارات از ستون تقطیر تک فازی دقیق استفاده شد. متانولی که در ابتدا از ستون تقطیر خارج شد، خلوص ۹۶ درصد وزنی دارد که کمتر از مقدار مورد نیاز است. سپس مدل با تغییر مشخصات ستون بهبود یافت و دو عامل (تعداد مراحل و نسبت رفلاکس) متمرکز شد. روش بهینه‌سازی پس از تعیین تعداد مراحل مناسب و نسبت رفلاکس، از تحلیل حساسیت از ابزار تحلیل مدل در اسپن استفاده کرد. تجزیه و تحلیل اقتصادی تقریباً ذکر شد زیرا در این مقاله مهم نیست، اما چیزی که می‌توان تأیید کرد این است که وقتی جریان خوراک افزایش می‌یابد، هزینه سرمایه دیگر بر هزینه کل تأثیر خاصی نخواهد داشت. در عوض، تقاضای بیشتر برای هیدروژن باعث سرمایه‌گذاری گرانت‌تر می‌شود که می‌تواند به عنوان یک مانع غیرقابل چشم پوشی برای هیدروژنه کردن پایدار دی‌اکسیدکربن به فرآیند متانول در نظر گرفته شود.

منابع

- [1] Annual CO2 emissions worldwide 19402020-. (n.d.). Statista. November 2021. <https://www.statista.com/statistics/276629/global-co2-emissions/>
- [2] Universal industrial gases, inc.. Carbon dioxide properties, uses, applications-recovery from industrial sources. (n.d.). Concentration in Air.<http://www.uigi.com/carbondioxide.html#Applications>.
- [3] KarstenPruess. Enhancedgeothermalsystems(EGS)usingCO2asworkingfluid- Anovelapproachforgenerating renewable energy with simultaneoussequestration of carbon. Geothermics, June 2006:35(4). <https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2006.08.002>
- [4] Erdogan Alper, Ozge Yuksel Orhan. CO2 utilization: Developments in conversion processes. Petroleum, March 2017:3(1), 109-126.<https://doi.org/10.1016/j.petlm.2016.11.003>.
- [5] NationalCenterforBiotechnologyInformation. PubChemCompoundSummaryforCID887,Methanol. September 2022. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Methanol>.
- [6] Alternative fuels data center, Methanol. (n.d.). https://afdc.energy.gov/fuels/emerging_methanol.html
- [7] Ali, K. A., Abdullah, A. Z., & Mohamed, A. R. Recent development in catalytic technologies for methanol synthesis from renewable sources: A critical review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 44, April 2015, pp.508-518. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.01.010>.
- [8] Energy and climate protection. (n.d.). HeidelbergMaterials. <https://www.heidelbergmaterials.com/en/energy-and-climate-protection>.
- [9] AspenTech. Design and Optimize Chemical Processes with Aspen Plus®. <https://www.aspentech.com/en/products/pages/aspen-plusrt>.
- [10] AspenTech. Scope Out Project Economics. <https://www.aspentech.com/en/products/engineering/aspen-process-economic-analyzer>
- [11] AspenTech. Improve Heat Exchanger Networks. <https://www.aspentech.com/en/products/pages/aspen-energy-analyzer>.
- [12] Timsina, R., Thapa, R. K., Moldestad, B. M. E., & Eikeland, M. S. Methanol synthesis from syngas: A process simulation. Scandinavian Simulation Society. March 2022, pp.444-449. <https://doi.org/10.3384/ecp21185444>.

تنش پسماند ناشی از تحولات فازی متالورژیکی در فرآیند

جوشکاری فولادها

علی اسمعیلی، خشایار واعظی، سید عبدالله شیخ الاسلامی، حمید شوشتر



چکیده

تنش‌های پسماند در نتیجه‌ی مکانیزم‌های مختلفی مانند تغییر شکل پلاستیک غیریکنواخت، تنش‌های حرارتی ناشی از گرادیان دمایی در قطعه و تحولات فازی متالورژیکی ایجاد می‌شوند. تنش‌های پسماند در اتصالات جوشکاری شده، به طور عمده به دلیل تغییرات دمایی شدید و ناهمگن در حین فرایند جوشکاری ایجاد می‌شوند. تحولات فازی متالورژیکی که در حین گرم و سرد شدن ماده رخ می‌دهند، نقش مهمی در ایجاد و توزیع این تنش‌ها ایفا می‌کنند. در این پژوهش، به بررسی تأثیر تحولات فازی متالورژیکی بر ایجاد و توزیع تنش‌های پسماند در اتصالات جوشکاری شده پرداخته شده است. نتایج مطالعات نشان می‌دهند که تحول فازی آستنیت به مارتنزیت و تغییرات حجم همراه با آن، یکی از عوامل اصلی ایجاد تنش‌های پسماند در ناحیه تحت تأثیر حرارت جوش است. همچنین، پارامترهایی مانند سرعت سرد شدن، دمای حوضچه مذاب، سرعت جوشکاری، پیش گرم کردن فلز، ضخامت و هندسه قطعه، جنس و ترکیب شیمیایی فلز پایه بر شدت و توزیع تنش‌های پسماند تأثیرگذار هستند. درک عمیق از ساز و کارهای ایجاد تنش پسماند ناشی از تحولات فازی، امکان پیش‌بینی و کنترل بهتر این تنش‌ها در فرآیند جوشکاری را فراهم می‌آورد. چنین پدیده‌ای در فرآیند جوشکاری تیوب‌ها به هدر در مجموعه هارپ‌های بویلرهای بازیاب اهمیت می‌یابد.

کلیدواژه‌ها: تنش پسماند، جوشکاری، تحولات فازی، آستنیت، مارتنزیت.

۱- مقدمه

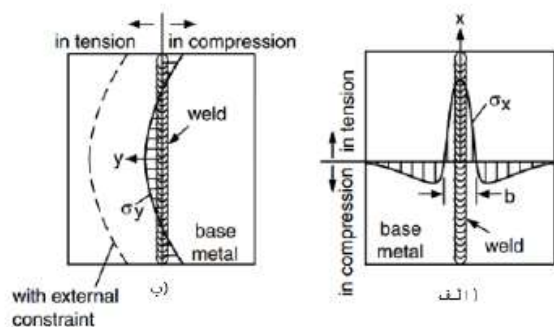
به طور کلی در فرآیندهایی که تجهیز تحت بارگذاری مکانیکی، حرارتی و یا هم‌زمان، تنش‌های فراتر از استحکام تسلیم را تجربه می‌کند، پس از باربرداری مقداری کرنش در قطعه باقی می‌ماند. در صورتی‌که تغییر شکل پلاستیک در تجهیز، غیریکنواخت باشد مقداری تنش در قطعه باقی می‌ماند. تنش باقی مانده در تجهیز در طی این فرآیند تنش پسماند نامیده می‌شود. از رایج‌ترین علل ایجاد تنش پسماند می‌توان به تغییر شکل پلاستیک غیریکنواخت، تنش‌های حرارتی ناشی از گرادیان دمایی در قطعه و تحولات فازی اشاره نمود. هنگامی که قسمت‌های مختلف یک تجهیز تغییر شکل‌های پلاستیک متفاوتی را تجربه کنند، به علت ایجاد ناسازگاری‌های داخلی تنش‌های پسماند ایجاد می‌شود. همچنین تغییرات دمایی غیریکنواخت در یک تجهیز می‌تواند به دلیل اختلاف در ضریب انبساط حرارتی مواد مختلف یا محدودیت‌های هندسی، تنش‌های حرارتی ایجاد کند. در رابطه با تحولات فازی نیز در طی فرآیندهای حرارتی مانند جوشکاری تغییرات فازی می‌تواند منجر به ایجاد تنش‌های پسماند شود که در ادامه به تفصیل بیان می‌شود. تأثیر تنش‌های پسماند بر عملکرد تجهیزات می‌تواند مثبت یا منفی باشد. این تأثیر به عوامل مختلفی از جمله نوع تنش (کششی یا فشاری)، توزیع تنش در قطعه و شرایط کاری قطعه بستگی دارد. بنابراین تنش پسماند می‌تواند مفید یا مضر باشد. به عنوان مثال فرآیند ساچمه‌زنی^۱ یکی از فرآیندهایی است که باعث ایجاد تنش پسماند فشاری در سطح قطعه می‌شود که این تنش فشاری مقاومت قطعه در مقابل ایجاد ترک‌های سطحی ناشی از خستگی را افزایش می‌دهد و باعث افزایش عمر کارکرد

قطعه می‌شود. در مقابل تنش‌های پسماند کششی می‌توانند باعث افزایش احتمال ترک‌خوردگی، ایجاد تغییر شکل‌های ناخواسته و کاهش عمر خستگی قطعه شوند. از جمله مثال‌های مضر بودن تنش پسماند می‌توان به تنش پسماند کششی ناشی از فرآیند جوشکاری روی خط جوش و نواحی متأثر از حرارت^۲ اشاره نمود که می‌تواند احتمال بروز ترک در این نواحی را افزایش دهد.

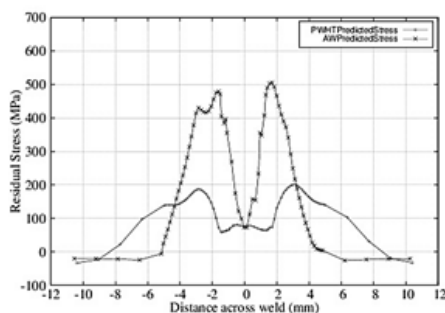
۲- تنش پسماند ناشی از جوشکاری

در تجهیزاتی که تحت فرآیند جوشکاری قرار می‌گیرند، دمای بالا در ناحیه قوس الکتریکی سبب ایجاد انبساط حرارتی غیر یکنواخت در ناحیه حوضچه مذاب و اطراف آن می‌شود. این انبساط حرارتی غیریکنواخت سبب ایجاد تغییر شکل پلاستیک غیر یکنواخت در نواحی اطراف جوش می‌شود. با توجه به این‌که یکی از عوامل اصلی ایجاد تنش پسماند، تغییر شکل پلاستیک غیریکنواخت می‌باشد، در نتیجه در نواحی جوش و اطراف آن میدان پیچیده‌ای از تنش پسماند تولید می‌شود. عواملی مانند دمای حوضچه مذاب، سرعت جوشکاری، پیش گرم کردن فلز، جنس فلز پایه، ضخامت قطعه و هندسه جوش بر مقدار و توزیع تنش پسماند موثر هستند [۱].

پس از اتمام فرآیند جوشکاری، ناحیه ذوب شده و مناطق اطراف آن به صورت غیر یکنواخت سرد شده و این نواحی دچار انقباض می‌شود و یک تنش کششی در سطح جوش ایجاد می‌شود. هر چه دمای حوضچه مذاب بالاتر باشد در نتیجه انقباض ماده در هنگام سرد شدن بیشتر می‌شود و به تبع آن تنش پسماند بزرگتری در ناحیه جوشکاری شده تولید می‌شود [۲]. به طور معمول تنش پسماند ناشی از جوشکاری به دو مولفه طولی و عرضی دسته بندی می‌شود که معمولاً مؤلفه طولی مقدار بیشتری از مؤلفه عرضی دارد [۳]. طبق مدل‌های کلاسیک تحلیل تنش پسماند خط جوش، در هر مقطع عرضی از خط جوش تنش پسماند طولی مطابق شکل ۱-الف خواهد بود. مولفه عرضی تنش پسماند نیز مانند شکل ۱-ب می‌باشد. در شکل ۱-الف مرز مشخص شده توسط ناحیه b، در واقع ناحیه‌ای است که تنش کششی در آن وجود دارد. این پروفیل تنش تا سال‌ها به عنوان پروفیل تنش پسماند ناشی از جوشکاری مورد قبول بود. در این پروفیل فقط تنش ناشی از حرارت و انبساط حرارتی در نظر گرفته شده بود. اما امروزه با وجود تجهیزات کارآمد و روش‌های نوین مانند X-ray diffraction و Neutron diffraction و روش اولتراسونیک، محققین می‌توانند به طور مستقیم پروفیل تنش واقعی را از روی نمونه مورد آزمایش استخراج کنند [۴]. شکل ۲ پروفیل توزیع تنش طولی واقعی که از اندازه‌گیری با روش‌های ذکر شده به دست آمده است نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲ می‌توان دریافت که در توزیع تنش‌های به دست آمده واقعی، برخلاف مدل‌های کلاسیک مانند شکل ۱، محل بیشینه تنش کششی در مرکز خط جوش قرار ندارد. در واقع شکل توزیع تنش از حالت گوسی^۳ به M شکل تغییر یافته است.



شکل ۱: توزیع تنش پسماند (الف) طولی و (ب) عرضی طبق مدل‌های کلاسیک [۵]



شکل ۲: توزیع تنش پسماند طولی واقعی به دست آمده از نمونه‌های تجربی [۶]

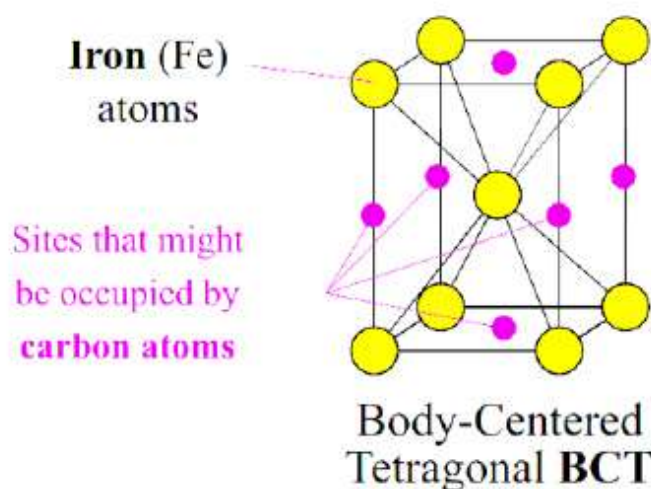
علت اختلاف بین شکل‌های ۱ و ۲ در نظر نگرفتن تمام مکانیزم‌هایی که موجب تغییر حجم ماده در حین فرآیند جوشکاری و سرد شدن می‌شوند، می‌باشد. علاوه بر اثر انبساط و انقباض ناشی از گرادیان دمایی، تحولات فازی هنگام گرم و سرد

^۲ Heat-affected zone (HAZ)
^۳ Gaussian

^۱ Shot Peening

هنگامی که ماده در حال سرد شدن می‌باشد انتظار می‌رود که حجم ماده کاهش یابد. با حرکت روی خط آبی رنگ در نمودار شکل ۱ تا قبل از رسیدن به دمای M_s که دمای شروع تحول مارتنزیت می‌باشد با کاهش دما، حجم نیز کاهش می‌یابد. ولی در ناحیه بین دماهای M_s و M_f که متناظر با دمای شروع و پایان فاز مارتنزیت می‌باشد، با کاهش دما افزایش حجم مشاهده می‌شود. علت این پدیده تغییر ساختار کریستالی در هنگام تبدیل فاز آستنیت به مارتنزیت می‌باشد. فاز مارتنزیت دارای شبکه کریستالی BCT می‌باشد که در شکل ۶ نمایش داده شده است. همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود در شبکه BCT هر سلول واحد دارای ۲ اتم است و وقتی FCC به BCT تبدیل می‌شود، تعداد اتم‌ها در هر سلول از ۴ به ۲ کاهش می‌یابد. این یعنی چگالی اتم‌ها کاهش و در نتیجه حجم افزایش یافته است. به منظور محاسبه دمای M_s می‌توان از رابطه تجربی ۳ استفاده نمود [۱۰]. به عنوان نمونه برای فولاد AISI ۱۰۴۵ دماهای M_s و M_f به ترتیب برابر با ۳۲۸ و ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند.

$$(۳) \quad M_s = 561474 - C - 33Mn + 17Ni - 17Cr - 21Mo$$



شکل ۶: شبکه کریستالی BCT

یکی از پارامترهای تاثیرگذار بر مقدار تنش پسماند ناشی از تغییر فاز، مقدار کربن موجود در فولاد است. در فولادهای کم کربن تغییر حجم ناشی از تغییر فاز آستنیت به مارتنزیت ناچیز می‌باشد و اثر کاهش حجم ناشی از سرد شدن، بیش از اثر افزایش حجم ناشی از تغییر فاز می‌باشد. در فولادهای کربن متوسط، اثر افزایش حجم ناشی از تغییر فاز چشمگیر بوده و قابل صرف‌نظر کردن نمی‌باشد. بنابراین در این فولادها، تغییر فاز موجب افزایش تنش پسماند و اعوجاج در قطعه خواهد شد.

۴- جمع‌بندی

در این پژوهش ابتدا عوامل ایجاد تنش پسماند معرفی شده و سپس به تنش پسماند ناشی از تحولات فازی متالورژیکی در حین فرآیند جوشکاری پرداخته شد. در فولادها بسته به مقدار درصد کربن موجود در ساختار شیمیایی آنها، تغییر فاز آستنیت به مارتنزیت می‌تواند سبب ایجاد تنش پسماند شود. در واقع با تغییر ساختار FCC به BCT تعداد اتم‌ها در هر سلول از ۴ به ۲ کاهش می‌یابد. بنابراین چگالی اتم‌ها کاهش و در نتیجه حجم افزایش می‌یابد. در فولادهای کم کربن اثر تغییر حجم ناشی از انبساط حرارتی بیش از اثر تغییر حجم ناشی از تحول فازی می‌باشد. هر چقدر مقدار کربن در ساختار شیمیایی یک فولاد بیشتر باشد، اثر تغییر حجم ناشی از تحول فاز و به تبع آن تنش پسماند ایجاد شده نیز بیشتر خواهد بود. بنابراین برای تحلیل توزیع تنش پسماند نواحی جوشکاری شده با در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی فولاد مورد استفاده می‌توان در مورد وضعیت تنش پسماند قضاوت کرد.

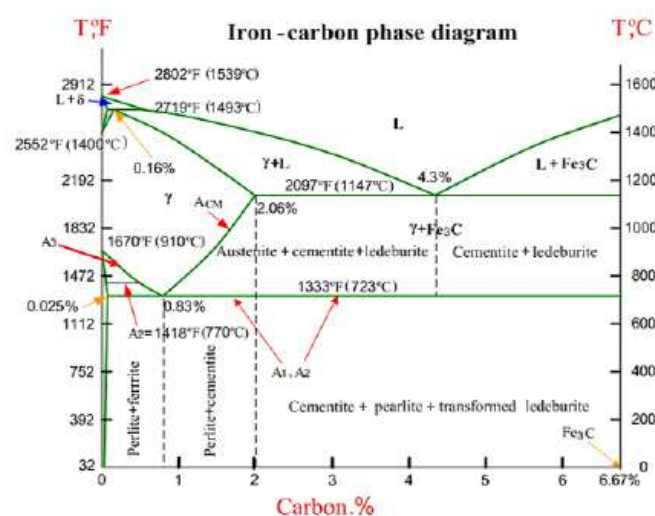
مراجع:

- [1] J. Hensel, T. Nitschke-Pagel, and K. Dilger, «On the effects of austenite phase transformation on welding residual stresses in non-load carrying longitudinal welds,» Welding in the World, vol. ۲۰۱۴ ۰۱/۰۲, ۵۹, doi: ۱۰/۱۰۰۷/S-۰۱۴-۴۰۱۹۴ ۳-۰۱۹۰.
- [2] F. Martinez and S. Liu, «Development of compressive residual stress in structural steel weld toes by means of weld metal phase transformations,» ASM Proceedings of the International Conference: Trends in Welding Research, vol. ۲۰۰۵, pp. ۲۰۰۵ ۰۱/۰۱, ۵۸۸-۵۸۳.
- [3] S. Kou, «Post-Solidification Phase Transformations,» in Welding Metallurgy, ۲۰۰۲, pp. ۲۴۲-۲۱۶.

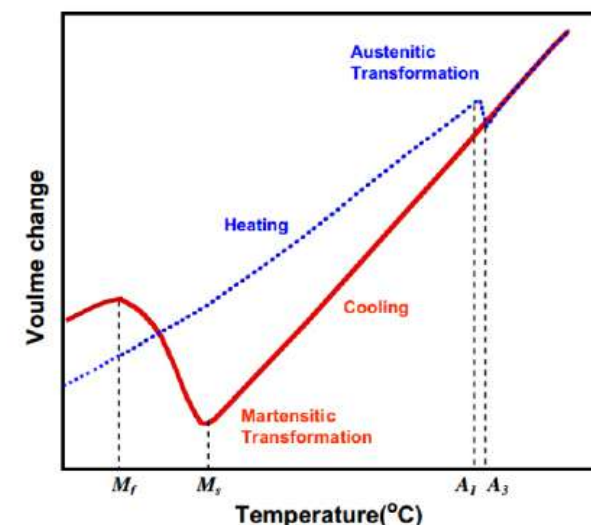
شدن نیز سبب تغییر حجم ماده در طی فرایند جوشکاری می‌شود. در شکل ۳ نمودار تغییرات حجم بر اثر تحول فازی آستنیت^۴ - مارتنزیت^۵ نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود نمودار آبی رنگ (خط‌چین) تغییر حجم ماده در هنگام گرم شدن و نمودار قرمز رنگ تغییر حجم در هنگام سرد شدن را نشان می‌دهد. برای یک فولاد با ساختار فریتی^۶ - پرلیتی^۷ مانند AISI ۱۰۴۵ نقاط A_1 و A_3 به ترتیب نشان‌دهنده دمای متناظر با ناپدید شدن فاز سمنتیت^۸ و دمای ناپدید شدن فاز فریت^۹ می‌باشد. دماهای A_1 و A_3 وابسته به مقدار کربن و سایر عناصر موجود در فولاد می‌باشد و با تغییر درصد عناصر، این دماها تغییر می‌کنند. در شکل ۴ نمودار آهن-کربن و دماهای A_1 و A_3 نشان داده شده است. به عنوان مثال برای فولاد AISI ۱۰۴۵ دماهای A_1 و A_3 تقریباً برابر با ۷۲۴ و ۷۸۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشند. دمای A_1 و A_3 برای فولادهای کربنی و فولادهای کم آلیاژ توسط روابط تجربی ۱ و ۲ قابل محاسبه است. در این روابط نماد هر عنصر نشان‌دهنده مقدار موجود از آن عنصر در ترکیب شیمیایی فولاد می‌باشد [۷].

$$(۱) \quad A_1 = 72310.7 - Mn - 16.9Ni + 29Si + 16.9Cr + 290As + 6.4W$$

$$(۲) \quad A_3 = 912203 - V - C - 15.2Ni + 44.7Si + 16.9Cr + 104V + 31.5Mo + 13.1W - 30Mn - 11Cr - 20Cu + 700P + 400Al$$

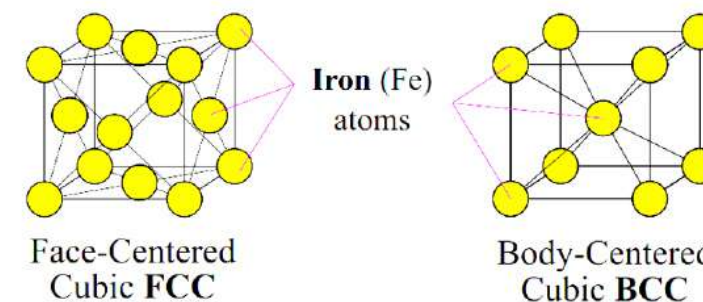


شکل ۴: نمودار آهن - کربن [۹]



شکل ۳: نمودار تغییرات حجم ناشی از تحول فاز با تغییرات دما [۸]

با توجه به شکل ۳، در هنگام گرم شدن ماده با رسیدن به دمای A_1 تغییر فاز به آستنیت آغاز می‌شود. در طی دمای A_1 تا A_3 با اینکه دما در حال افزایش است ولی بر خلاف تصور در محور عمودی کاهش حجم مشاهده می‌شود. در این ناحیه فاز فریت (α) با شبکه BCC در حال تبدیل به فاز آستنیت (γ) با شبکه FCC می‌باشد. در هر سلول واحد BCC تعداد ۲ اتم وجود دارد در حالی‌که هر سلول واحد FCC دارای ۴ اتم می‌باشد. در این حالت شبکه کریستالی تعداد اتم‌های بیشتری را در واحد حجم می‌تواند در خود جای دهد، در نتیجه در طی این تحول حجم کاهش و چگالی افزایش می‌یابد. در شکل ۵ کریستال‌های BCC و FCC نشان داده شده است.

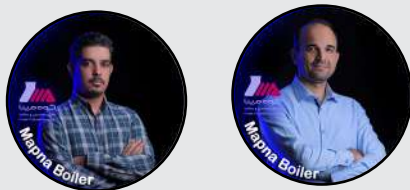


شکل ۵: شبکه کریستال‌های BCC و FCC

- ۴ Austenite
- ۵ Martensite
- ۶ Ferrite
- ۷ Pearlite
- ۸ Cementite disappearance temperature
- ۹ Ferrite disappearance temperature

تست عملکردی بویلر بر اساس ASME PTC 4

اسماعیل خسروبیگی- محمد احمدی



چکیده:

تست عملکردی بویلر بر اساس ASME PTC 4 دستورالعمل اجرای تست به منظور مقایسه عملکرد واقعی بویلر با مقادیر گارانتی شده برای تولید کننده‌های بخار (FIRED STEAM GENERATOR) میباشد که با رعایت کردن موارد مطروحه در این تست بالاترین سطح صحت نتایج حاصل خواهد شد. با توجه به این کد، الزاماتی پیش از تست، در حین تست و پس از آن باید مد نظر قرار گیرند و گروه‌های درگیر در تست باید نسبت به اجرای این الزامات متعهد باشند. همچنین این کد راهنمای جامعی در تعریف، محاسبه و تست پارامترهای اصلی بویلر از قبیل جریان بخار تحویلی به همراه دما و فشار آن و بازده بویلر می‌باشد. دو روش مورد پذیرش در تعیین بازده در این کد به ترتیب روش موازنه انرژی و روش ورودی-خروجی هستند که هر کدام از این روش‌ها دارای مزایا و معایب مربوط به خود می‌باشند و باید پیش از تست عملکردی، توسط گروه‌های درگیر در تست مشخص شوند که کدام روش مبنای محاسبات قرار خواهد گرفت.

روش‌های اندازه‌گیری کمیت‌های اصلی که اثرات بزرگی در محاسبات بازده بازی می‌کنند و کمیت‌های ثانویه که یا اثرات کمی دارند یا از اثرات آنها می‌توان چشم‌پوشی کرد به تفصیل در این کد مورد بررسی قرار گرفته‌اند. نوع تجهیز اندازه‌گیری، نحوه نصب، نحوه کالیبراسیون، نحوه اندازه‌گیری تنها بخشی از موارد مطروحه در این کد می‌باشد.

در این کد با توجه به حجم کنترل انتخاب شده و با در نظر گرفتن تمامی جریان‌های ورودی و خروجی از این حجم کنترل، تمامی محاسبات مربوط به احتراق صورت می‌گیرد و متناسب با روابط ارائه شده بازده محاسبه می‌گردد و اصلاحات لازم بر روی نتایج باتوجه به اینکه شرایط تست عملکردی با شرایط گارانتی شده متفاوت می‌باشد اعمال می‌گردد.

با در نظر گرفتن این نکته که تمامی ابزارهای اندازه‌گیری دارای خطا می‌باشند نیاز است ملاحظات لازم در مورد عدم قطعیت نتایج به دست آمده لحاظ گردد. پس از محاسبه تمامی عدم قطعیت‌های موجود با احتمال بالایی (بیش از ۹۵ درصد) می‌توانیم گفت که نتایج واقعی در بازه نتایج محاسبه شده به علاوه و منهای مقدار عدم قطعیت محاسبه شده قرار خواهد گرفت.

در انتها نیاز است که گزارش کاملی از مراحل انجام تست به همراه ارایه داده‌ها و تحلیل آنها فراهم آید و پس از بررسی توسط گروه‌های ذیربط و نهایی سازی به تایید و امضای آنها رسانده شود.

واژه‌های کلیدی: ASME PTC 4، بازده، روش موازنه انرژی، روش ورودی-خروجی، روش‌های اندازه‌گیری، عدم قطعیت

۱. مقدمه

تست عملکردی بویلر به منظور مقایسه عملکرد واقعی بویلر با مقادیر گارانتی شده صورت می‌پذیرد. بر همین اساس کد استاندارد ASME PTC 4 رویه‌هایی را برای اجرای این تست برای تولید کننده‌های بخار (FIRED STEAM GENERATOR) با سوخت زغال سنگ، سوخت مایع و سوخت گاز و همچنین دیگر سوخت‌های هیدروکربنی ارائه کرده است که با رعایت کردن موارد مطروحه در این تست بالاترین سطح صحت نتایج حاصل خواهد شد. با استفاده از این کد مواردی از قبیل بازده، ظرفیت، مصارف سوخت و هوا، دمای دود خروجی و ... تعیین خواهند شد. تست عملکردی بویلرهای با چرخش طبیعی و چرخش اجباری، بویلرهای مادون بحرانی و فوق بحرانی ONCE-THROUGH، بویلرهای سیکلون، استوکر و بستر سیالی نیز تحت این کد اجرا می‌شوند. لازم به ذکر است این تست برای بویلرهای هسته‌ای، زباله‌سوز و HRSG نمی‌باشد و برای اجرای تست عملکردی آنها باید به کدهای استاندارد دیگر رجوع شود. بویلرهای صنعتی بزرگ و

- [4] N. S. Rossini, M. Dassisti, K. Benyounis, and A. G. Olabi, «Methods of Measuring Residual Stresses in Components,» Materials & Design, vol. ۲۰۱۱ ۰۱/۰۱, ۳۵, doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.matdes.۲۰۱۱/۰۸/۰۲۲.
- [5] S. Kou, «Residual Stresses, Distortion, and Fatigue,» in Welding Metallurgy, ۲۰۰۲, pp. ۱۴۱-۱۲۲.
- [6] H.-H. Lai and W. Wu, «Practical examination of the welding residual stress in view of low-carbon steel welds,» Journal of Materials Research and Technology, vol. ۲۰۲۰ ۱۴/۰۱, ۹, doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.jmrt.۲۰۲۰/۰۱/۰۰۴.
- [7] D. F. Watt, L. Coon, M. Bibby, J. Goldak, and C. Henwood, «An algorithm for modelling microstructural development in weld heat-affected zones (part a) reaction kinetics,» Acta Metallurgica, vol. ۳۶, no. ۱۱, pp. ۳۰۲۹-۱۹۸۸, ۱۱/۱۱/۱۹۸۸, ۳۰۳۵, doi: <https://doi.org/10.1016/j.actamet.1988.09.016>.
- [8] D. Deng, «FEM prediction of welding residual stress and distortion in carbon steel considering phase transformation effects,» Materials & Design, vol. ۳۰, pp. ۲۰۰۹ ۰۱/۰۲, ۳۶۶-۳۵۹, doi: ۱۰/۱۰۱۶/j.matdes.۲۰۰۸/۰۴/۰۵۲.
- [9] M. F. Ashby and D. R. H. Jones, «Chapter ۳ - Phase Diagrams ۱,» in Engineering Materials ۲ (Fourth Edition), M. F. Ashby and D. R. H. Jones Eds. Boston: Butterworth-Heinemann, ۲۰۱۳, pp. ۶۱-۳۳.
- [10] D. P. Koistinen and R. E. Marburger, «A general equation prescribing the extent of the austenite-martensite transformation in pure iron-carbon alloys and plain carbon steels,» Acta Metallurgica, vol. ۷, pp. ۱۹۵۹, ۶۰-۵۹.

همچنین بویلرهای صنعتی کوچک که با عنوان پکیج بویلرها نیز شناخته می‌شوند باید متناسب با نیازمندی‌های این کد، تست و راه اندازی گردند.

با توجه به اینکه عمده فعالیت‌های شرکت مپنا در خصوص بویلرهای صنعتی با سوخت‌های مایع و گاز بوده است لذا مطالبی که زین پس ارائه می‌گردد با تمرکز بیشتر بر این موارد خواهند بود و در صورت نیاز در آینده مطالب تکمیلی در خصوص بویلرهای با سوخت جامد نیز ارائه خواهد شد.

۲. قواعد راهنما

پیش از آماده سازی برای انجام تست عملکردی بویلر، نیاز است گروه های درگیر در تست بر سر یک سری تصمیمات و موافقت‌ها به اجماع برسند.

تست عملکردی بویلر عموماً بر اساس سه ویژگی کمیت دهی می‌شود: ۱- ظرفیت (بیشترین نرخ جریان جرمی تولیدی در شرایط مشخص)، ۲- راندمان (نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی) و ۳- خروجی (تمام انرژی جذب شده توسط سیال عامل).

الف) انواع راندمان

همان گونه که پیشتر عنوان شد راندمان عبارت است از نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی که به صورت درصد بیان می‌شود. همین تعریف ساده منجر به مقادیر بسیار متفاوتی برای راندمان خواهد شد با توجه به اینکه چه مواردی برای خروجی و ورودی انتخاب می‌گردد و اینکه آیا ارزش حرارتی بالا (HHV) سوخت لحاظ می‌شود یا ارزش حرارتی پایین (LHV) آن. نشان داده شده است که حداقل ۱۴ مقدار متفاوت برای راندمان از داده‌های مشابه قابل محاسبه می‌باشد. در این کد دو تعریف برای راندمان بویلر در نظر گرفته شده است:

۱) راندمان سوخت که در آن تمامی انرژی جذب شده توسط سیال عامل به عنوان خروجی لحاظ می‌گردد اما تنها انرژی شیمیایی سوخت به عنوان ورودی مد نظر قرار می‌گیرد. راندمان سوخت بر اساس HHV ارجحیت داشته و مبنای محاسبات در این کد می‌باشد زیرا با دقت زیاد قابل تعیین است در حالی که LHV باید از HHV اندازه گیری شده، محاسبه گردد که سبب پایین آمدن دقت خواهد شد. با این حال برخی استانداردهای دیگر از LHV برای محاسبات خود استفاده می‌کنند. راندمان محاسبه شده بر اساس LHV همواره بالاتر از راندمان محاسبه شده بر اساس HHV می‌باشد.

۲) راندمان ناخالص که در آن تمامی انرژی جذب شده توسط سیال عامل به عنوان خروجی لحاظ می‌گردد و تمام انرژی ورودی به مرزهای بویلر به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود. بنابراین راندمان ناخالص معمولاً کوچکتر یا مساوی راندمان سوخت می‌باشد.

ب) روش‌های اندازه گیری و محاسبه راندمان

دو روش پذیرفته شده برای تعیین راندمان بویلر عبارتند از روش ورودی-خروجی (Input-Output method) و روش موازنه انرژی (EnergyBalancemethod).

- در روش ورودی-خروجی باید تمامی ورودی ها و خروجی ها به صورت مستقیم و دقیق اندازه گیری شوند. اندازه‌گیری‌های اصلی عبارتند از: نرخ جریان آب ورودی به بویلر، نرخ جریان آب دی‌سوپرهیتر، نرخ جریان تمامی جریان‌های ثانویه از قبیل بلودان، دما و فشار تمامی جریان‌های سیال‌های عامل، نرخ جریان سوخت، HHV سوخت.

- روش موازنه انرژی بدین صورت است که تمامی انرژی ورودی (انرژی سوخت و دیگر انرژی‌های ورودی که به عنوان CREDIT شناخته می‌شوند) باید برابر با تمامی انرژی خروجی (انرژی جذب شده توسط سیال عامل و دیگر انرژی‌های جذب نشده که به عنوان LOSS شناخته می‌شوند) خواهد بود. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\text{Input} + \text{Credits} = \text{Output} + \text{Losses}$$

$$\text{Efficiency} = \text{Output}/\text{Input}$$

$$\text{Efficiency} = [\text{Input} - \text{Losses} + \text{Credits}]/\text{Input}$$

$$[\text{Efficiency} = 1 - (\text{Losses} - \text{Credits})/\text{Input}]$$

در این روش نیاز است که تمامی Lossها و creditها یا اندازه‌گیری و یا برآورد شوند. شکل ۱-۱-۳ استاندارد تمامی Lossها و Creditها را به صورت شماتیک نشان داده است. طبیعی است متناسب با هر پروژه برخی از این Lossها و Creditها باید حذف گردند. برخی از lossها و creditهای مهمی که معمولاً اثرات قابل ملاحظه‌ای در محاسبه راندمان پکیج بویلرها دارند در بخش‌های بعد ارائه خواهند شد. لازم به ذکر است بسیاری از Lossها معمولاً اثرات کمی روی نتایج دارند و معمولاً یا از اثرات آنها صرف‌نظر می‌شود و یا به صورت یک برآورد تجمیعی به عنوان Unaccounted Loss در محاسبات وارد می‌گردند. روش موازنه انرژی نسبت به روش ورودی-خروجی دارای عدم قطعیت پایینتری است زیرا مقادیر مورد استفاده در روش موازنه انرژی (مثلاً Lossها) در مقایسه با انرژی خروجی مورد استفاده در روش ورودی-خروجی بخش بسیار کوچکتری از انرژی کل می‌باشند. از دیگر مزایای این روش نسبت به روش ورودی-خروجی این است که می‌توان فهمید که کدام عامل اثرات محسوسی روی راندمان می‌گذارد و با اصلاح آن عامل سبب بهبود راندمان گردید. همچنین در مواقعی که نیاز به

اصلاح نتایج تست نسبت به شرایط استاندارد یا گارانتی می‌باشد تنها می‌توان از این روش استفاده کرد. با توجه به مزایای بیشتر این روش پیشنهاد این کد استفاده از روش موازنه انرژی در تعیین راندمان می‌باشد. در جدول ۱-۳-۱ از ASME PTC ۴ تمامی مزایا و معایب این دو روش ارائه گردیده است.

پ) روند تست عملکردی

۱) تعیین سطح تست: تعیین دقیق عملکرد تولید کننده‌های بخار نیازمند صرف هزینه زیاد زمانی و مالی است. در ویرایش‌های قبلی این کد دو روش برای تعیین سطح با استفاده از روش موازنه انرژی ارائه شده بود. تست کاملی که در آن تمامی Lossها با اندازه‌گیری تعیین شود یکی از روش‌ها ارائه شده بود و دیگری تست مختصرتری که تنها Lossهای اصلی اندازه‌گیری می‌شوند و اثرات Lossهای کم اهمیت‌تر یا نادیده گرفته شده و یا به صورت تجمیعی به صورت Unaccounted Loss برآورد می‌شد. با این حال این کد به گروه‌های درگیر در تست اجازه می‌دهد تا بنابر نیازمندی‌های خود سطوح تست عملکردی متفاوتی را در نظر بگیرند.

لازم به ذکر است به کارگیری سطح پایینتر تست با استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری کمتر و با دقت پایین تر و یا تخمین برخی پارامترها به جای اندازه‌گیری آنها سبب بالا رفتن نتایج عدم قطعیت خواهد شد. با محاسبه نتایج عدم قطعیت قادر خواهیم بود کیفیت سطح تست را به دست آوریم. پیش از تست، گروه‌های درگیر در آن باید بر سر مقادیر قابل قبول در نتایج عدم قطعیت به توافق برسند. برای مثال ممکن است تصمیم بر این شود که راندمان با عدم قطعیت $\pm 0.5\%$ درصد تعیین خواهد شد که به این مقادیر اهداف نتایج عدم قطعیت گفته می‌شود و نتایج عدم قطعیت محاسبه شده نباید از اهداف نتایج عدم قطعیت عبور کند.

۲) تعداد Runها: یک Run مجموعه کاملی از رصد بویلر در دوره‌ای از زمان است که با یک یا چند متغیر مستقل تقریباً ثابت صورت می‌پذیرد. یک تست شامل یک یا چند Run برای تعیین عملکرد بویلر می‌باشد. به صورت معمول تست بویلر شامل دو Run یا بیشتر می‌باشد زیرا تنها در صورت انجام تست بیش از یک بار تکرارپذیری نتایج تست قابل اثبات است. معیار تکرارپذیری بین Runها این است که نتایج نرمالیز شده دو یا چند Run، درون بازه عدم قطعیت یکدیگر قرار بگیرند.

پیش از انجام تست توافقاتی باید بین گروه های درگیر در تست صورت می‌پذیرد از قبیل: اهداف تست (راندمان، دمای بخار و ...)، معرفی فرد یا افرادی برای اجرا و مدیریت تست با اختیارات لازم، تعداد Runها، نحوه کالیبراسیون تجهیزات اندازه‌گیری و این توافقات باید به صورت مکتوب در اختیار طرفین درگیر در تست قرار گیرند.

۳) آماده‌سازی برای انجام تست عملکردی: پیش از انجام تست باید سنجش‌ها و فعالیت‌هایی صورت پذیرد تا این اطمینان حاصل شود که بویلر آماده راه‌اندازی است. سوخت مورد استفاده باید مورد تایید باشد. تمامی انحرافات از شرایط استاندارد یا قبل تعیین شده در شرایط فیزیکی تجهیزات، تمیزی سطوح حرارتی، ویژگی‌های سوخت یا پایداری لود باید مد نظر قرار بگیرند و در صورت امکان اصلاح گردند. نصب و عملکرد تمامی تجهیزات ابزار دقیق باید چک شوند. بهتر است یک Run مقدماتی برای انجام تنظیمات پیش بینی نشده و اطمینان از اینکه شرایط بویلر و کل Plant مناسب است صورت پذیرد.

۴) روش انجام تست: پیش از شروع تست عملکردی، بویلر باید به شرایط پایدار (Steady State) برسد. شرایط پایدار در اینجا بدین معنی است که سیستم در تعادل حرارتی و شیمیایی باشد. تعادل حرارتی بدین صورت است که در طول تست هیچ تغییر خالصی در انرژی ذخیره شده در سیستم مشاهده نشود. پایداری پارامترهای عملکردی از قبیل دما، فشار و جریان بخار نمایانگر رسیدن به شرایط تعادل است.

مدت زمان هر Run باید به اندازه‌ای باشد که منعکس کننده میانگین عملکرد واحد باشد. برای سوخت گازی و مایع این مدت نباید کمتر از ۲ ساعت باشد. اگر تغییرات در سوخت‌های مخلوط یا سوخت‌های ضایعات (Waste Fuels) زیاد باشد مدت زمان Run می‌تواند افزایش یابد.

هر Run باید تا حد ممکن در شرایط مشخص شده انجام شود تا از تصحیح نتایج تست اجتناب گردد و یا به حداقل برسد. ملاحظات اصلی شامل نوع سوخت، نرخ جریان، فشار و دما می‌باشد.

تعداد اندازه‌گیری‌ها و داده‌برداری‌ها و نمونه‌برداری‌ها با توجه به سطح تست و دقت تجهیزات تعیین می‌گردند. در هر حال بهتر است که داده‌برداری‌ها هر ۱۵ دقیقه یا کمتر صورت بگیرد. رصد مستمر نیز مجاز است. اگر میزان سوخت یا آب تغذیه از جمع چند تجهیز ابزار دقیق تعیین می‌شود، داده‌برداری در فرجه های یک ساعته انجام شود. اگر دستگاه‌های اندازه‌گیری اختلاف فشار به صورت ونتوری، فلونازل یا اوریفیس باشند داده برداری هر ۵ دقیقه یا کمتر صورت پذیرد.

داده‌برداری یا به صورت رایانه‌ای و یا به صورت انسانی انجام می‌پذیرد. داده‌برداری‌های دستی باید درون فرم‌های از پیش تهیه شده‌ای باشند که شامل تمامی پارامترهای لازم برای اندازه‌گیری هستند. این داده‌ها باید در اختیار تمامی

گروه‌های درگیر در تست قرار گیرند. داده‌برداری در زمان تست باید بازه نوسانات (کمترین و بیشترین مقدار) را نشان دهد تا اثرات آن در محاسبات عدم قطعیت به درستی لحاظ شود.

۵) تصحیح نتایج تست: شرایط عملکردی در زمان انجام تست ممکن است با شرایط استاندارد یا از پیش تعیین شده که مبنای طراحی و گارانتی‌ها بوده متفاوت باشد. در این صورت باید اصلاحاتی بر روی محاسبات نتایج تست اعمال گردد تا این تفاوت‌ها را لحاظ کند. این ضرایب تصحیح از منابع متفاوتی از قبیل جداول، نمودارهای تصحیح و یا داده‌های طراحی خود تولید کننده حاصل می‌شوند. عدم قطعیت محاسبه شده باید به همراه نتایج تست گزارش گردد. عدم قطعیت تنها برای برآورد کیفی تست مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۳. نیازمندی‌های متداول اندازه‌گیری

در این کد روش‌هایی برای تعیین ویژگی‌های عملکردی ارایه می‌گردد از قبیل راندمان، ظرفیت، دمای بخار، دمای دود خروجی و هوای ورودی، هوای اضافه، افت فشارهای مسیر آب/بخار و هوا/دود، دبی سوخت، هوا و دود و همچنین جداولی در این کد آورده شده است و در آن تمامی پارامترهای مورد نیاز اصلی که تاثیرات زیادی روی ویژگی‌های عملکردی دارند و پارامترهای ثانویه که تاثیرات کمتری دارند مشخص گردیده است. برای مثال برای تعیین راندمان با استفاده از روش موازنه انرژی پارامترهای اصلی شامل دود خشک، آب تشکیل شده از احتراق H۲ در سوخت، آب یا بخار موجود در سوخت جامد، مایع یا گاز، جابجایی و تشعشع از سطح می‌باشند و برخی از پارامترهای ثانویه شامل رطوبت در هوا و تولید NOX هستند. همچنین در این جداول عنوان شده است که کدام پارامترها باید اندازه‌گیری شوند، کدام‌ها باید با استفاده از پارامترهای اندازه‌گیری شده و مطابق با قواعد مهندسی محاسبه گردند و کدام‌ها نیاز است تا تخمین زده شوند. برای اطلاعات بیشتر می‌توانید به جداول ۴-۲-۱ الی ۴-۲-۱۲ کد مراجعه فرمایید.

معمولا چندین روش برای اندازه‌گیری یک پارامتر وجود دارد. هر کدام از این روش‌ها دارای خطاهای اندازه‌گیری هستند که وابسته هم به نوع فرآیند و هم به خود سیستم اندازه‌گیری می‌باشند.

الف) نوع تجهیز و نحوه نصب :

به طور کلی، ابزارهای اندازه‌گیری باید به گونه‌ای انتخاب گردند تا عدم قطعیت تست را به حداقل برسانند. در خصوص پارامترهای اصلی ابزارهای اندازه‌گیری باید دقت کافی را برای اطمینان از رعایت عدم قطعیت هدف گذاری شده را داشته باشند. معمولا ابزارها به گونه‌ای انتخاب می‌گردند که به سهولت بتوان از آنها استفاده کرد و یا تعمیرپذیری آسانی داشته باشند و نسبت به دقت آنها کمتر توجه می‌شود. تمام ابزارهای اندازه‌گیری در نهایت باید مورد آزمون قرار گیرند تا این اطمینان حاصل شود که از نوع مشخص شده هستند، به درستی نصب شده اند، عملکردی مطابق با طراحی دارند و بازه مدنظر را پوشش می‌دهند.

ب) کالیبراسیون

کالیبراسیون ابزارهای اندازه‌گیری پیش و در حین تست باید مطابق با استانداردهای بین‌المللی باشند. با تنظیم ابزار اندازه‌گیری مطابق با استاندارد مرجع از عدم قطعیت سیستماتیک کاسته می‌شود. بهترین روش کالیبراسون ابزارهای اندازه‌گیری تست عملکردی کالیبره کردن کل سیستم می‌باشد. این کار بدین گونه صورت می‌پذیرد که یک ورودی مشخص به دستگاه اندازه‌گیری داده می‌شود و نتیجه آن با مقدار مشخص و از قبل تعیین شده مقایسه می‌گردد. با این روش، اثرات نصب از قبیل محیط با دمای بالا یا اتصالات سیم پیچی نیز در کالیبراسیون لحاظ می‌گردد. لازم به ذکر است که کالیبراسیون هر ابزار اندازه‌گیری باید حداقل در سه نقطه متفاوت که شامل میزان حداکثر و حداقل بازه مورد انتظار است صورت پذیرد. کالیبراسیون ابزارهای اندازه‌گیری دما حداقل باید در چهار نقطه بازه عملیاتی دمایی صورت پذیرد. ترموکوپل‌ها باید پیش از کالیبراسیون در حرارت غوطه‌ور شوند تا این اطمینان حاصل گردد که پس از کالیبراسیون در خروجی تغییری حاصل نخواهد شد. کالیبراسیون فشاری باید در پنج نقطه صورت پذیرد. فشار باید در حالت اتمسفریک (صفر)، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ مقیاس کل اندازه‌گیری و ثبت گردد. فشار باید در تمام این نقاط در حالتی که فشار در حال افزایش است ثبت گردد و مجددا در حالتی که فشار رو به کاهش است نیز باید خوانده شود و متوسط آنها باید مورد استفاده در کالیبراسیون قرار گیرد.

پ) اندازه‌گیری توسط Traverse

بسیاری از پارامترهای مورد نیاز برای تعیین راندمان به وسیله اندازه‌گیری در صفحه Traverse صورت می‌پذیرد و به صورت متوسط در محاسبات وارد می‌گردند. برای مثال دمای دود و ترکیبات آن. در این روش سطح مقطع داکت به سطوح کوچکتری تقسیم می‌شوند و ویژگی‌های هر سطح، اندازه‌گیری و در نهایت میانگین‌گیری صورت می‌گیرد. روش‌های متفاوتی برای تعیین تعداد نقاط در صفحه Traverse، اندازه و هندسه سطوح تقسیم شده و تاثیر هر سطح بر روی میانگین کلی، بیان شده است. استفاده از توزیع خطی یا لگاریتمی، استفاده از تکنیک‌های گرافیکی یا عددی برای انتگرال‌گیری از توزیع

سرعت یا یک خاصیت در سطح مقطع داکت، استفاده از سطوح تقسیم شده مساوی و جمع جبری ساده نسبت به توزیع هر سطح به میانگین و استفاده از تصحیح به وسیله لایه مرزی که سیال نزدیک دیواره داری حرکت آهسته‌تری می‌باشد تنها بخشی از روش‌های ارایه شده هستند. به عنوان یک قانون کلی، دقت یا با افزایش تعداد نقاط در صفحه Traverse و یا با استفاده از روش‌های پیچیده ریاضی افزایش می‌یابد. در این کد روش تقسیم صفحه Traverse به سطوح مساوی و اندازه‌گیری هر سطح تقسیم شده، مبنای کار قرار گرفته است. برخی از پارامترها، به عنوان پارامترهای وزنی شناخته می‌شوند. برای مثال برای تعیین گرمای محسوس دود نیاز به دمای آن می‌باشد. با توجه به تغییرات دما در سطح مقطع داکت، دمای صحیح دمای متوسط انتگرال‌گیری شده می‌باشد و همچنین تغییرات جریان جرمی و لایه لایه‌ای شدن جریان نیز باید مد نظر قرار داده شود. به طور ایده‌آل، اندازه‌گیری همزمان سرعت دود، اکسیژن، فشار و دما در تمام نقاط شبکه مشکل را حل می‌کند و ضرایب وزنی بر مبنای جریان جرمی نسبی در هر سطح باید بر دمای اندازه‌گیری هر سطح اعمال گردد تا برآورد صحیحی از گرمای محسوس دود به دست آید.

ت) تعیین عدم قطعیت سیستماتیک در اندازه‌گیری

تخمین عدم قطعیت سیستماتیک مرحله کلیدی در طراحی تست و انتخاب ابزارهای اندازه‌گیری می‌باشد. در یک اندازه‌گیری خاص عدم قطعیت کل از نتیجه چندین عدم قطعیت سیستماتیک در سیستم اندازه‌گیری حاصل می‌گردد. بدین منظور باید تمامی منابع محتمل خطا در سیستم اندازه‌گیری برای یک پارامتر خاص در نظر گرفته شود.

عوامل خارجی که بر اندازه‌گیری اثر می‌گذارند نیز باید مدنظر قرار گیرند. عواملی از قبیل نشت هوا به آنالایزر دود باید مورد توجه قرار گیرد و به عنوان عدم قطعیت یک-طرفه وارد معادلات شود زیرا تنها سبب رقیق شدن نمونه خواهد شد و خلاف آن امکان پذیر نیست. تمامی نشتی‌ها پیش از تست باید شناسایی و رفع گردند. با این حال دیده شده است که نشتی‌های کم می‌توانند در حین تست رخ دهند و یا نشتی‌های بسیار کم ممکن است که اصلا کشف نشوند. تمامی این عدم قطعیت‌های سیستماتیک باید تحت یک مقدار واحد تجمیع شوند. نمونه‌هایی برای تخمین عدم قطعیت سیستماتیک در یک سیستم اندازه‌گیری در جداول ۴-۳/۶-۱ تا ۴-۳/۶-۵ از این کد ارایه گردیده است هر چند الزامی به رعایت این مقادیر نبوده و طرف‌های درگیر در تست باید به توافقی در این خصوص برسند. در بسیاری از مشخصات ابزارهای اندازه‌گیری دقت مرجع (Reference Accuracy) گزارش شده است. این مقدار تنها بخشی از عدم قطعیت سیستماتیک آن ابزار است. عوامل دیگر از قبیل دریافت، غیر یکنواختی جریان سیال، نوسان و ... می‌توانند اندازه‌گیری را تحت تاثیر قرار دهند. معمولا دقت مرجع یک ابزار اندازه‌گیری با کالیبراسیون می‌تواند بهبود یابد. بعد از یک کالیبراسیون، با تجمیع دقت استاندارد مرجع و تکرارپذیری ابزار می‌توان یک دقت جدیدی را مشخص نمود. عدم قطعیت پارامترهایی که اندازه‌گیری نمی‌شوند و به صورت تخمینی بیان می‌گردند باید به صورت توافقی بین گروه‌های درگیر در تست مشخص گردند.

اندازه‌گیری‌ها

الف) اندازه‌گیری دما:

دما معمولا با ترموکوپل‌ها (TC)، گِج‌های دمایی (RTD)، Temperature gauge) (Resistance temperature device) و یا ترمومترهای جیوه‌ای (Mercury-in-glass thermometer) اندازه‌گیری می‌شود. ابزار اندازه‌گیری باید به تعادل حرارتی در محیطی که قرار است اندازه‌گیری شود برسد. RTDها نسبت به TCها بازه کوچکتر و پاسخ زمانی آهسته‌تری دارند اما دقیق‌تر می‌باشند. ترمومترهای جیوه‌ای تنها برای دماهای کمتر از نقطه جوش جیوه مناسب هستند.

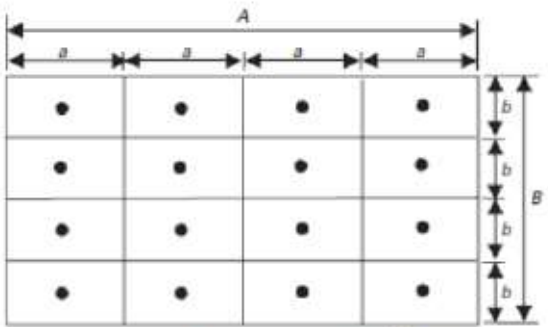
برای تعیین عدم قطعیت سیستماتیک اندازه‌گیری دما، منابع بالقوه عدم قطعیت مانند نوع، کالیبراسیون، موقعیت و هندسه و شرایط ترموول، لایه‌ای بودن جریان سیال، اندازه و موقعیت صفحه اندازه‌گیری، نویزهای الکتریکی، انتقال حرارت هدایتی و تابشی، دریافت، شرایط محیط در نقاط اتصال و ... باید مد نظر قرار گیرند. دمای هوا و دود که درون داکت جریان دارند دارای سرعت، دما و حتی ترکیبات غیر یکنواخت هستند. این موضوع به ویژه در آشفته کننده‌های جریان مانند انحن‌ها بیشتر خودنمایی می‌کند. به همین دلیل برای کاهش عدم قطعیت سیستماتیک دمایی، نمونه‌گیری می‌تواند در چندین نقطه در صفحه‌ای عمود بر جریان صورت پذیرد. این صفحه اندازه‌گیری بهتر است از انحن‌ها، انقباض‌ها و انبساط‌های داکت دور باشد. خوانش ترموکوپل‌ها باید به صورت جداگانه صورت پذیرد. اگر اندازه‌گیری دمای دود در نقطه‌ای که دمای آن با دمای سطح اطراف بسیار متفاوت است (مثلا سطوح دارای خنک کاری) صورت پذیرد، خطایی وارد اندازه‌گیری خواهد شد. در این شرایط استفاده از ترموکوپل‌های با سرعت بالا (HVT) می‌تواند سبب کاهش خطا گردد.

ا) روش اندازه‌گیری دمای هوا و دود

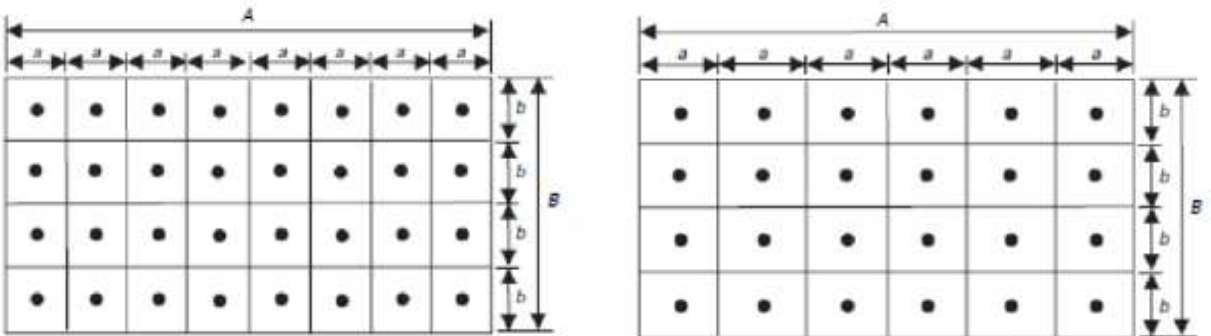
مقادیر متوسط چندین نقطه مورد اندازه‌گیری باید تعیین شوند که موقعیت این نقاط حایز اهمیت می‌باشد. افزایش تعداد نقاط اندازه‌گیری سبب کاهش عدم قطعیت خواهد شد:

ا) داکت‌های مستطیلی: در این حالت، داکت باید به گونه‌ای شبکه‌بندی شود تا مساحت شبکه‌ها برابر یکدیگر باشند و نمونه‌ها باید از مرکز هر شبکه خوانش گردند. برای داکت‌های بزرگتر از ۹ ft² از ۴ تا ۳۶ نقطه نمونه با توجه به سطح

مقطع داکت پیشنهاد می‌گردد و هیچ شبکه‌ای نباید از ۹ ft^۲ بزرگتر باشد مگر اینکه تعداد آنها بیش از ۳۵ باشد که در این حالت مساحت‌های برابر ممکن است از ۹ ft^۲ بزرگتر شوند. در این کد نیازی به استفاده از نقاط بیشتر از ۳۶ نمی‌باشد. دو نقطه در حالت کمینه در هر بعد (ارتفاع و عرض) از سطح مقطع داکت نیاز است. از آنجا که عدم قطعیت با توان دوم تعداد نقاط کاهش می‌یابد، استفاده از نقاط بیشتر تاثیر بسزایی روی عدم قطعیت اندازه‌گیری خواهد داشت. شکل شبکه‌های با مساحت برابر می‌تواند به صورت‌های زیر باشد:

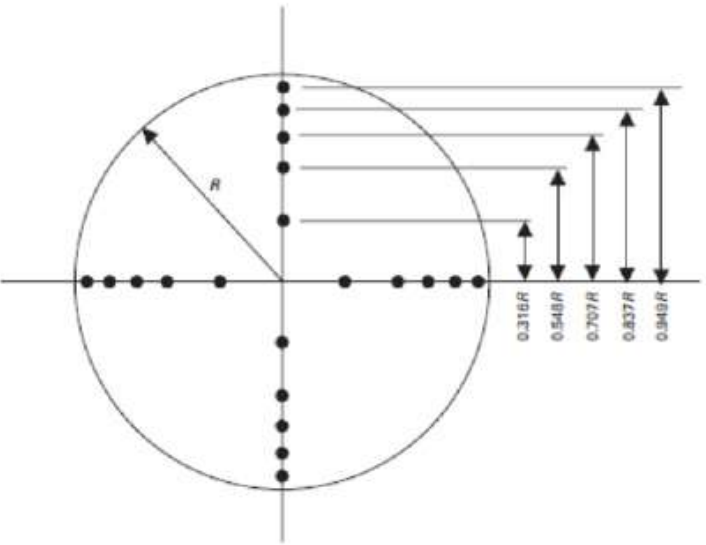


(a) مستطیل‌هایی با نسبت ارتفاع به عرضی برابر با ارتفاع به عرض خود داکت.



(b) مستطیل‌های دلخواه و بیشتر نزدیک به مربع

(c) به شکل مربع



where
 n = total number of points
 p = sampling point number. To be numbered from center of duct outward.
 All four points on the same circumference have the same number.
 R = radius of duct
 r_p = distance from center of duct to point p

(ii) اندازه‌گیری دمای آب، بخار، سوخت گازی و سوخت مایع

جریان سیال آب و بخار و همچنین سوخت گاز و سوخت مایع درون لوله عموماً دارای توزیع دمای یکنواختی می‌باشند و با استفاده از حسگر درون ترموول قرار گرفته شده در لوله، قابل اندازه‌گیری هستند. تنها مورد استثنا بالقوه در خطوط دیسوپرهتر در جایی که برخورد آب اسپری می‌تواند سبب غیر یکنواختی شود رخ می‌دهد.

(ب) اندازه‌گیری فشار، سرعت و دبی:

مطابق اندازه‌گیری دما، روش‌ها و ابزارهایی برای اندازه‌گیری فشار، سرعت و دبی وجود دارد که برای جلوگیری از طولانی شدن مطالب از ارایه آنها اجتناب می‌شود. همچنین روش‌های نمونه‌گیری از سوخت‌های گازی، سوخت‌های مایع و سوخت‌های جامد و تعداد مورد نیاز نمونه‌گیری و بازه‌های زمانی مورد نیاز نمونه‌گیری و دیگر اطلاعات مورد نیاز در زمان انجام تست را می‌توانید در بخش ۴ کد ASME PTC ۴ بیابید.

(ب) اندازه‌گیری برای تعیین LOSS ناشی از انتقال حرارت تابشی و جابجایی روی سطوح:

برای تعیین این loss در این کد می‌توان از روش زیر استفاده نمود:

با اندازه‌گیری دمای میانگین سطح تولید کننده بخار و شرایط محیطی اطراف آن این loss قابل تعیین است. برای تعیین این loss به وسیله اندازه‌گیری، اندازه‌گیری دمای سطح، دمای محیط و سرعت هوای محیط باید در موقعیت‌های مکانی کافی صورت پذیرد. هر اندازه‌گیری دمای هوای محیط و سرعت آن باید در فاصله ۲ فوت تا ۵ فوت از سطح صورت گیرد. برای اندازه‌گیری دمای سطح می‌توان از ترموکوپل، پایرومتر تماسی (Contact Pyrometer)، پایرومتر فروسرخ یا دوربین حرارتی (Thermal Imaging Camera) استفاده کرد. چون تعداد به نسبت زیادی از خوانش دما مورد نیاز است استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری فروسرخ توصیه می‌گردد اما باید این ابزارها نسبت به ضریب صدور دیواره‌ها کالیبره گردند. همچنین زاویه برخورد پرتو به دیواره باید به صورت عمودی صورت پذیرد.

محاسبه نتایج

پس از جمع‌آوری داده‌ها با استفاده از قواعد مهندسی و فرمول‌های ارایه شده در بخش ۵ این کد می‌توان پارامترهای مورد نظر از قبیل ظرفیت یا بازده را به دست آورد. اما پیش از آن ابتدا باید مقادیر نادرست و جعلی را از خوانش‌ها حذف کرد که به آنها outlier می‌گویند. این outlierها داده‌های معتبری نمی‌باشند و نباید در محاسبات وارد گردند زیرا سبب ایجاد خطا در محاسبات می‌گردند. علت وجود این outlierها خطاهای انسانی در خوانش و نگارش مقادیر و یا خطاهای تجهیزات ابزار دقیق به واسطه تداخل الکتریکی و ... می‌باشند. زمانی که تمام داده‌ها برای پارامتر خاصی ثبت و مقایسه شوند اکثر outlierها مشخص می‌شوند و با یک قضاوت مهندسی می‌توان آنها را حذف نمود. پس از حذف این داده‌های نامعتبر میانگین‌گیری از پارامتر اندازه‌گیری باید صورت پذیرد. پارامترهای اندازه‌گیری شده در طول تست عملکردی می‌توانند با زمان و موقعیت فضایی تغییر یابند. روش میانگین‌گیری از پارامترهایی که تنها با زمان تغییر می‌کنند با روش میانگین‌گیری از پارامترهایی که علاوه بر زمان با موقعیت فضایی نیز تغییر می‌کنند متفاوت است. میانگین پارامترها به همراه انحراف از معیار و درجات آزادی برای محاسبه عدم قطعیت تصادفی کل مورد نیاز است. به منظور آشنایی بیشتر با این تعاریف و نحوه محاسبه آنها می‌توانید به فصل ۵ و ۷ کد مراجعه فرمایید. محاسبات احتراق، میزان هوای اضافه، میزان رطوبت، میزان هوای خشک و تر و ... به صورت کامل در فصل ۵ ارایه شده است. با توجه به محدودیت مطالب از ارایه این موارد صرفنظر شده و تنها چند مورد از LOSSها و CREDITها مهم که بیشتر در بویلرهای پکیج برای محاسبات بازده مورد استفاده هستند را ذکر می‌نماییم:

(الف) LOSSها

محاسبه LOSSها به دو دسته تقسیم می‌گردد. دسته اول LOSSهایی که تابعی از سوخت ورودی هستند که می‌توان به صورت loss در واحد سوخت ورودی بیان کردند.

۱. LOSS به واسطه خروج دود خشک داغ (Dry Gas Loss)

۲. LOSS به واسطه تولید آب از سوختن هیدروژن و همچنین آب موجود در سوخت جامد یا مایع و بخار آب موجود در سوخت گاز

۳. LOSS به واسطه رطوبت هوا

۴. LOSS به واسطه مواد سوخته نشده

۵. LOSS به واسطه تشکیل NOx

۶. دسته دوم LOSSهایی هستند که وابسته به سوخت ورودی نیستند و می‌توان به صورت انرژی بر واحد زمان بیان گردد.

۷. LOSS به واسطه انتقال حرارت تابشی و جابجایی سطوح

(۲) داکت‌های دایروی: این داکت‌ها نیز باید

به مساحت‌های برابری که کوچکتر یا مساوی ۹ ft^۲ می‌باشد تقسیم شوند که می‌توانند از ۴ تا ۳۶ نقطه نمونه با توجه به سطح مقطع داکت باشند. خود سطح مقطع می‌تواند به ۴، ۶ و یا ۸ بخش تقسیم شود و حداقل یک نقطه باید در هر بخش قرار گیرد. نمونه‌ها باید در مرکز هر شبکه قرار گیرند. برای مثال در شکل زیر سطح مقطع دایروی به ۴ بخش و ۲۰ نقطه اندازه‌گیری تقسیم شده است.

ب) CREDIT ها

CREDIT ها نیز همانند LOSS ها به دو دسته تقسیم می‌گردند. دسته اول CREDIT هایی که تابعی از سوخت ورودی هستند که می‌توان به صورت credit در واحد سوخت ورودی بیان کردند. دسته دوم credit هایی هستند که وابسته به سوخت ورودی نیستند و می‌توان به صورت انرژی بر واحد زمان بیان کردند.

۱. Credit به واسطه ورود هوای خشک
۲. Credit به واسطه رطوبت در هوای ورودی
۳. Credit به واسطه گرمای محسوس سوخت

تمامی loss ها و credit ها با جزئیات و روابط مربوطه در فصل ۵ کد ارایه شده‌اند لذا از تکرار آنها پرهیز می‌نماییم.

اعمال اصلاحات بر روی شرایط طراحی یا شرایط استاندارد

معمولا اجرای تست در شرایط استاندارد یا طراحی مطابق با آنچه در قرارداد آمده است امکان پذیر نخواهد بود و در این شرایط نیاز است تا با اعمال اصلاحاتی روی نتایج تست به مقایسه ای معنادارتر و برآوردی دقیق تر از بازده و عملکرد بویلر برسیم. یکی از این موارد اصلاح دمای هوای ورودی و دمای دود خروجی می‌باشد. اختلاف بین خروجی تست هدف‌گذاری شده و واقعی نباید بیش از ۰.۵٪ باشد. اختلاف بین بازده تست و بازده اصلاح شده معمولا از ۲ تا ۳ درصد تجاوز نخواهد کرد. این موضوع در رابطه با آنالیز سوخت و اصلاحات مربوط به آن نیز بسیار حایز اهمیت است.

آنتالپی هوا، دود و جریان‌های دیگر مورد استفاده در روش موازنه انرژی برای برآورد loss ها و credit ها در محاسبه بازده، انرژی ویژه (انرژی بر واحد جرم) بسیاری از جریان‌های مختلف مورد نیاز است. مواردی از قبیل جریان‌های بخار، آب، هوا و دود برای این محاسبات لازم می‌باشد. برای محاسبه آنتالپی آب و بخار معمولا از نرم افزارها و جداول استفاده می‌کنند. برای محاسبه آنتالپی هوا و دود به روش زیر عمل می‌گردد:

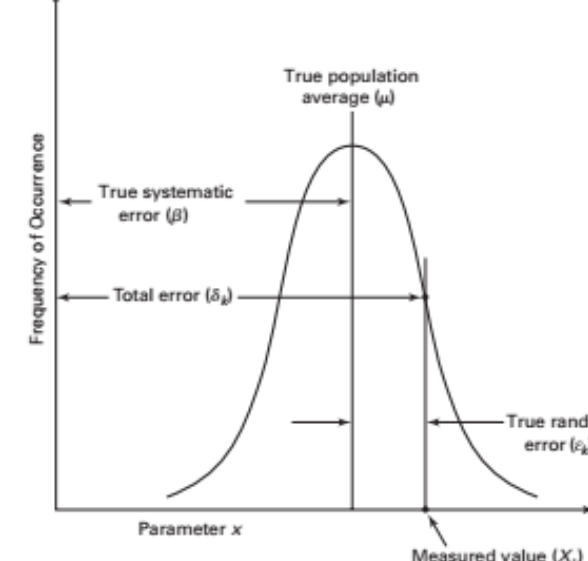
آنتالپی هوا تابعی از جرم ترکیب هوای خشک و بخار آب درون هوا می‌باشد. برای تعیین آنتالپی هوای خشک، میزان بخار آب را باید صفر در نظر گرفت. دود نیز شامل دود خشک و بخار آب می‌باشد لذا آنتالپی آن مجموع آنتالپی دود خشک و بخار آب درون آن می‌باشد. برای محاسبه آنتالپی هوای خشک و آنتالپی دود خشک با ترکیب ۰.۱۵۳ CO₂، ۰.۳۰۲ O₂، ۰.۱٪ SO₂ و ۰.۸۱۱٪ N₂ و همچنین بخار آب نمودارها و فرمول‌هایی در فصل ۵ ارایه شده‌اند که در صورت نیاز می‌توان از آنها بهره گرفت.

برای محاسبه آنتالپی سوخت‌های مایع با درجه API متفاوت و همچنین سوخت گاز طبیعی با ترکیب ۹۰٪ متان، ۵٪ اتان و ۵٪ نیتروژن نیز در این کد روابطی ارایه گردیده است.

تحلیل عدم قطعیت

در انتها مختصری نسبت به موضوع عدم قطعیت ارایه می‌گردد. همان گونه که پیشتر گفته شد تمامی اندازه‌گیری‌ها دارای خطاهایی هستند هم به دلیل خطاهایی در داده‌ها و هم از تخمین یا خطاهایی در فرایند محاسبات. تحلیل عدم قطعیت فرایندی است که می‌توان به وسیله آن صحت نتایج تست را کمیت دهی کرد. این فرآیند بهترین برآورد محدوده خطا در مجموعه‌ای از اندازه‌گیری‌ها یا نتایج تست می‌باشد. مقدار اندازه‌گیری شده به علاوه یا منهای محدوده تعیین شده به وسیله عدم قطعیت به احتمال زیادی (معمولا ۹۵ درصد) شامل مقدار واقعی می‌باشد. لازم است تعریف خطا و عدم قطعیت ارایه گردد تا تفاوت آنها بهتر مشخص شود:

خطا: اختلاف بین مقدار واقعی یک پارامتر و مقدار اندازه‌گیری شده یا محاسبه شده آن پارامتر. خطا نامشخص است زیرا مقدار واقعی نامشخص می‌باشد.

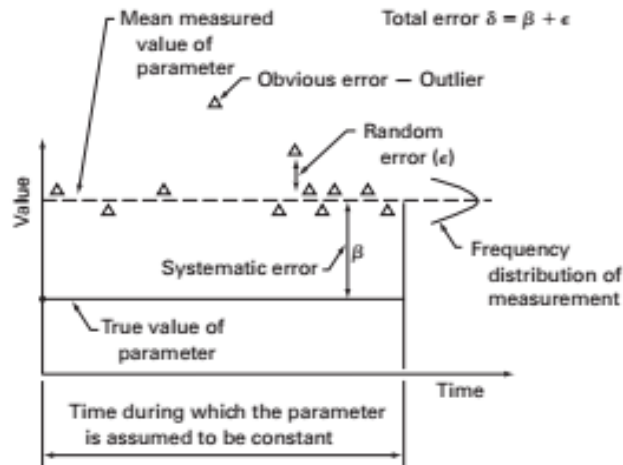


عدم قطعیت: تخمین محدوده خطای اندازه‌گیری یا نتایج.

خطا و عدم قطعیت در بسیاری از جنبه ها مشابه هستند. زمانی که بتوان به خطا یک عدد اختصاص داد، در این صورت به عدم قطعیت تبدیل می‌گردد. اندازه‌گیری‌ها شامل دو نوع خطا می‌باشند: خطای کلی در هر اندازه گیری مجموع خطای تصادفی و خطای سیستماتیک می باشد.

خطای تصادفی از این واقعیت تجلی می‌یابد که اندازه‌گیری‌های یک کمیت مشابه توسط یک سیستم اندازه‌گیری مشابه که توسط یک شخص صورت پذیرد منجر به مقادیر یکسان نگردد. خطای سیستماتیک یکی از ویژگی‌های سیستم اندازه‌گیری می‌باشد. در هر تستی که از یک سیستم ابزار دقیق و فرایندهای محاسباتی استفاده می‌کند این خطا لزوما یک کمیت ثابت (اگرچه نامشخص) می‌باشد. زمانی که اندازه و نشانه خطای سیستماتیک مشخص باشد، باید

به عنوان اصلاحی روی مقدار اندازه‌گیری اعمال گردد و مقدار اصلاح شده در محاسبات نتایج مورد استفاده قرار گیرد. طبقه‌بندی یک عدم قطعیت خاص به عنوان تصادفی یا سیستماتیک همیشه آسان نیست. معمولا عدم قطعیت‌های تصادفی با زمان تغییر می‌کنند در حالی که عدم قطعیت‌های سیستماتیک در زمان ثابت می‌باشند.



تغییر در فضا (از قبیل دمای دود یا سرعت دود در داکت) هم می‌تواند به عنوان عدم قطعیت تصادفی طبقه‌بندی گردد و هم عدم قطعیت سیستماتیک. در این کد متغیرهایی که به صورت فضایی نیز تغییر می‌کنند به عنوان منبع بالقوه‌ای از عدم قطعیت سیستماتیک لحاظ شده است. به منظور کاهش پیچیدگی در مفاهیم ارایه شده از ارایه روابط و نحوه محاسبات اجتناب شده است و تنها به بیان کلیات بسنده گردیده است.

گزارش نتایج تست

در انتها و پس از انجام تست عملکردی بویلر گزارش این تست باید تمامی داده ها، محاسبات و فرآیندهای به کار گرفته شده در اجرای تست را شامل شود. همچنین باید نشان دهد که تمامی اهداف تست برآورده شده است. آنالیز عدم قطعیت به همراه محاسبات و تحلیل‌های مربوطه در گزارش نتایج باید ارایه گردد. نتایج ارایه شده باید به تایید طرفین درگیر در انجام تست عملکردی رسانده شود و در انتها صحت نتایج با مقادیر گارانتی شده مقایسه و در صورتی که مغایرت معناداری وجود نداشت و نتایج در بازه مورد توافق قرار گرفت، تست عملکردی با موفقیت به پایان رسیده است. این موضوع باید به صورت مکتوب و با امضای تمامی طرف های ذیربط مورد توافق قرار گیرد.

فهرست مراجع

[1] ASME PTC 42013-, FIRED STEAM GENERATORS (Performance Test Codes

مروری بر روش‌های خنک کاری هوای ورودی به توربین گاز و بررسی اثرات آن بر سیکل و بویلر بازیافت حرارت

اردشیر محمدیان، سعید جوان، میثم مروی

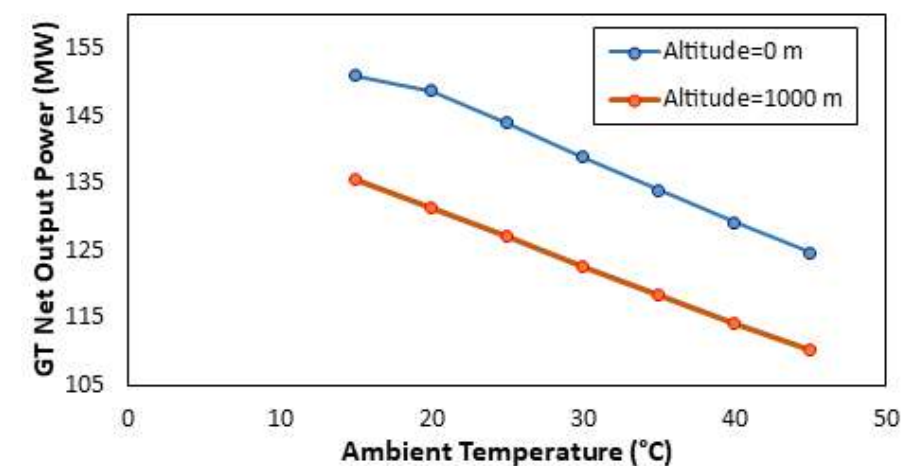


چکیده

توان تولیدی توربین‌های گازی تحت تاثیر افزایش دمای محیط، به مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. لذا اتخاذ روش‌هایی جهت سرمایه‌گذاری هوای ورودی کمپرسور این توربین‌ها و پیرو آن افزایش دبی جرمی هوا باعث افزایش توان خروجی می‌شود. مطالعات نشان داده است به ازای هر ۵ درجه سانتی گراد کاهش دمای هوای ورودی، باعث افزایش ۵ تا ۱۰ درصدی توان خروجی و ۲ تا ۵ درصدی راندمان توربین گازی می‌شود. تکنولوژی‌های مختلفی در راستای خنک کاری هوای ورودی به توربین گاز که براساس خنک کاری تبخیری و تبریدی می‌باشد که توسعه داده شده است. از سوی دیگر بدلیل تغییرات در دبی، دما و ترکیبات دود خروجی عملکرد بویلرهای بازیافت و توربین بخار که در پایین دست توربین‌های گازی قرار دارند تحت تاثیر قرار خواهد گرفت. هدف از این مطالعه، بررسی تکنولوژی‌های مختلف خنک کننده هوای ورودی توربین گاز، کاربردهای آن بر اساس شرایط آب و هوایی و اثر آن بر بویلرهای بازیافت (HRSG) پایین دست است. همچنین برای بررسی تاثیر بکارگیری این سیستم بر عملکرد سیکل ترکیبی، پروژه جنوب ۲ با توربین گاز کلاس F که سیستم مدیا در آنها نصب شده است مورد مطالعه قرار گرفته است.

۱- مقدمه

توربین‌های گازی به عنوان محرک اصلی نیروگاه‌های سیکل ترکیبی سهم قابل توجهی را در تامین برق در سراسر جهان دارا می‌باشند. از جمله ویژگی‌های توربین گاز می‌توان به راندمان بالا، چگالی انرژی بالا، زمان استارت آپ بسیار کوتاه، آلاینده‌ی پایین، انعطاف پذیری در نوع سوخت، سرعت بالای نصب و راه اندازی و زمان پاسخ کوتاه اشاره نمود. در مقابل توربین گاز نقاط ضعفی از جمله وابستگی به شرایط آب و هوایی محل نصب، دشواری در بهره برداری از جهت دارا بودن تجهیزات دوار، و راندمان پایین در بارهای پایین دارد. طراحی توربین‌های گازی نیروگاهی بر اساس شرایط ISO انجام می‌شود. در شرایط ISO دمای هوا ۱۵ درجه سانتی‌گراد (۵۹ فارنهایت)، رطوبت نسبی ۶۰ درصد و فشار مطلق (سطح دریاهای آزاد) ۱۰۱/۳۲۵ کیلو پاسکال (psia ۱۴/۷) تعریف می‌شود. همانطور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود با افزایش دمای محیط و همچنین افزایش ارتفاع از سطح دریا، توان تولیدی این ماشین کاهش محسوسی دارد. بطوری که بطور متوسط، به ازای هر ۵ درجه سانتی گراد افزایش دمای محیط توان تولیدی این ماشین ۳ درصد کاهش می‌یابد.



شکل ۱- اثر شرایط محیطی بر توان تولیدی توربین گاز

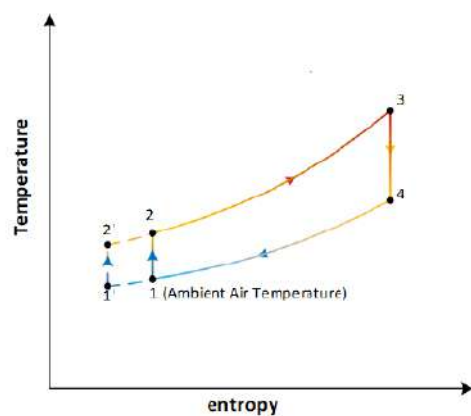
علت وابستگی توربین گاز به شرایط محیطی این است که توربین گاز یک ماشین جرمی می‌باشد. یعنی در هر شرایط محیطی که قرار گیرد دبی جرمی عبوری از آن بدون تغییر باقی می‌ماند. با ثابت باقی ماندن دبی جرمی با کاهش چگالی هوا دبی جرمی کاهش می‌یابد. از آنجاییکه توان تولیدی نسبت مستقیم با دبی جرمی عبوری دارد، با کاهش دبی جرمی عبوری از این ماشین توان تولیدی نیز کاهش می‌یابد. لذا هر عاملی که باعث کاهش چگالی هوای محیط گردد، اعم از افزایش دمای محیط یا کاهش فشار محیط، که وابسته به ارتفاع محل از سطح آب‌های آزاد است، منجر به کاهش دبی جرمی عبوری از توربین گاز می‌گردد.

رابطه (۱) کار مخصوص شفت برای یک ماشین دوار در حالت عملکردی پایا را محاسبه می‌نماید. طبق رابطه (۱)، در فرآیند تراکم افزایش دمای هوای ورودی برای یک نسبت فشار مشخص باعث افزایش حجم مخصوص هوا و در نتیجه افزایش کار مخصوص مصرفی کمپرسور می‌شود.

$$W_{compressor} = \int v dp \quad (1)$$

لذا افزایش دمای محیط دو اثر منفی بر عملکرد توربین گاز دارد: کاهش دبی جرمی عبوری از توربین گاز و افزایش کار مخصوص مورد نیاز کمپرسور.

شکل ۲ منحنی T-S یک توربین گاز ایده آل را نشان می‌دهد. به کمک این نمودار نیز میتوان اثر افزایش دمای محیط بر کارکرد یک توربین گاز ایده آل را بررسی نمود. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش دمای محیط سطح محصور به نمودار که کار خالص توربین گازی را نمایش می‌دهد نیز کاهش می‌یابد.



شکل ۲- منحنی دما بر حسب انتروپی سیکل ایده آل برایتون

لذا، در صورتیکه بتوان به هر طریقی دمای هوای ورودی به توربین گاز را کاهش داد می‌توان عکس این فرآیند را ایجاد نمود. یعنی با کاهش دمای محیط، چگالی هوا افزایش و در نتیجه دبی جرمی عبوری از توربین گاز افزایش می‌یابد. همچنین کار مخصوص مصرفی توربین گاز کاهش می‌یابد. هر دوی این عوامل منجر به افزایش توان خالص تولیدی توربین گاز می‌گردد. با تکیه بر مفاهیم فوق روش‌هایی تحت عنوان خنک‌کاری هوای ورودی به توربین گاز توسعه داده شده است که بر مبنای دو روش خنک کاری تبخیری و خنک کاری تبریدی است که در ادامه به هر یک از آنها پرداخته شده است. از جمله مزایای تکنولوژی TIAC می‌توان به قابلیت پیک سایه در فصول گرم سال، افزایش تاب آوری شبکه تامین برق، افزایش پایداری شبکه برق، کاهش آلاینده‌های زیست محیطی و کاهش مصرف سوخت‌های هیدروکربنی، کاهش ردپای نیروگاه‌ها، زمان توسعه و نصب بسیار کوتاه، کاهش هزینه تولید برق نام برد. لازم به توضیح است، کاهش ردپای کربن از طریق تکنولوژی TIAC با افزایش راندمان واحدهای موجود اتفاق می‌افتد.

۲- سیستم‌های خنک هوای ورودی به توربین

۲-۱- سیستم‌های خنک کاری تبخیری

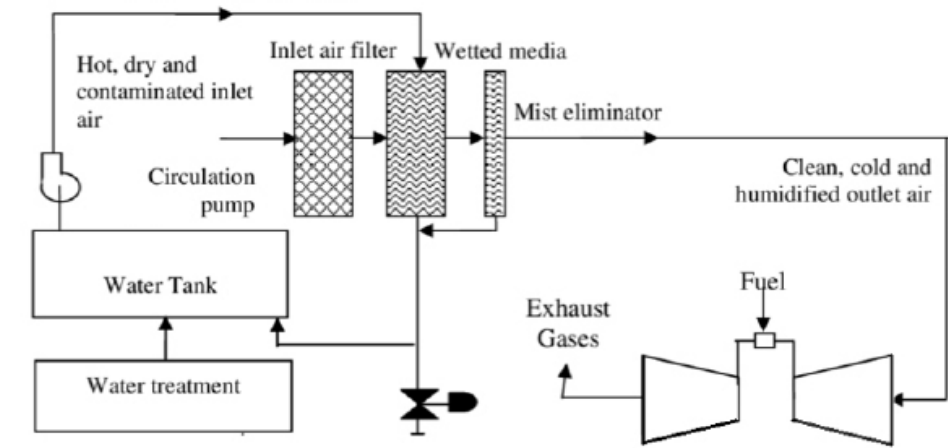
۲-۱-۱- سیستم خنک کاری تبخیری مدیا^۱

در این روش با قراردادن سلولزهای مرطوب و عبور جریان هوا از میان آن‌ها، ذرات آب موجود در این سلولزها با گرفتن گرمای نهان تبخیر خود از هوا جهت تبخیر شدن، باعث خنک شدن هوای ورودی به کمپرسور می‌شود هوای ورودی به

۱ Turbine Inlet Air Cooling (TIAC)
۲ Wetted media

کمپرسور از میان صفحات مدیا عبور کرده و تا ۹۰ درصد اشباع می‌شود، سرعت هوای عبوری از میان این صفحات نباید از حد معینی بالاتر باشد زیرا ممکن است در سرعت‌های بالا قطرات از سطوح جدا شده و ضمن حمل با جریان هوا باعث خرابی پره‌های کمپرسور شوند. آب موجود در سیستم پس از عبور و خیس کردن سلولزها از طریق درین‌ها جمع می‌شوند و به تانک ذخیره منتقل می‌شود. شماتیک یک نمونه سیستم خنک کاری Watted media به همراه اجزای اصلی در شکل ۳ ارائه شده است.

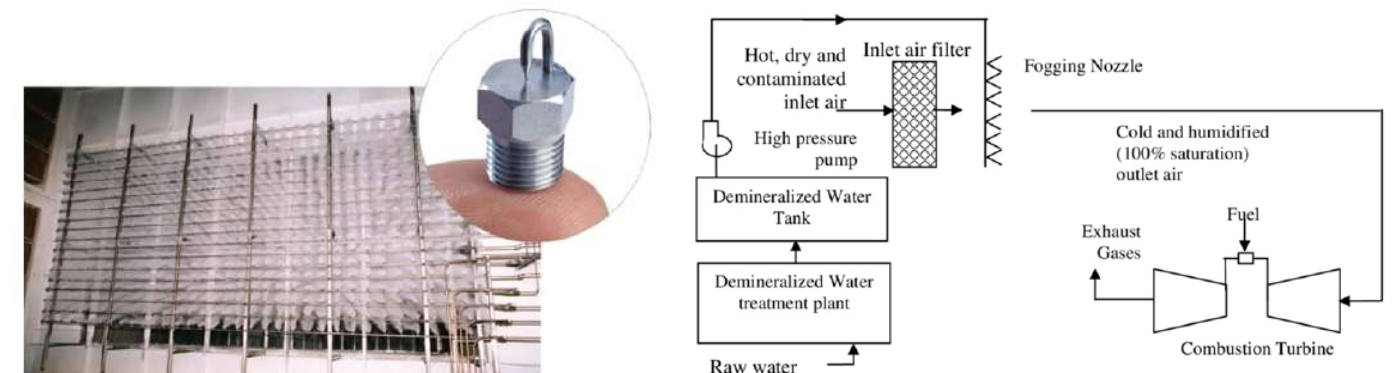
راندان این سیستم حدودا ۹۰٪ می‌باشد و در نواحی گرم با رطوبت نسبی و دمای حباب تر کم بکار گرفته می‌شود.



شکل ۲- شماتیک خنک کاری هوای ورودی به روش تبخیری wetted media [۱]

۲-۱-۲- سیستم خنک کاری تبخیری مه گون^۳

در این روش با استفاده از نازل ها قطرات آب به اندازه ۶ تا ۲۰ میکرون اتمایز می‌شود (شکل ۴)، هرچه قطرات ریزتر باشند به علت وزن کمتر آنها، مدت زمان بیشتری در ارتباط با هوا می‌مانند و سرعت سقوط قطرات کندتر است. در این روش کیفیت آب بسیار حائز اهمیت می‌باشد. کارایی سیستم تبخیری فاگ (مه) با رطوبت رابطه عکس دارد. کاربرد این سیستم شبیه به مدیا می‌باشد و در شرایط آب و هوایی گرم و خشک بکار گرفته می‌شوند. شکل ۵ شبکه پاشش آب یک سیستم خنک کاری مه گون و نازل مربوطه را نمایش می‌دهد.



شکل ۴- شماتیک خنک کاری به روش تبخیری مه گون [۱]

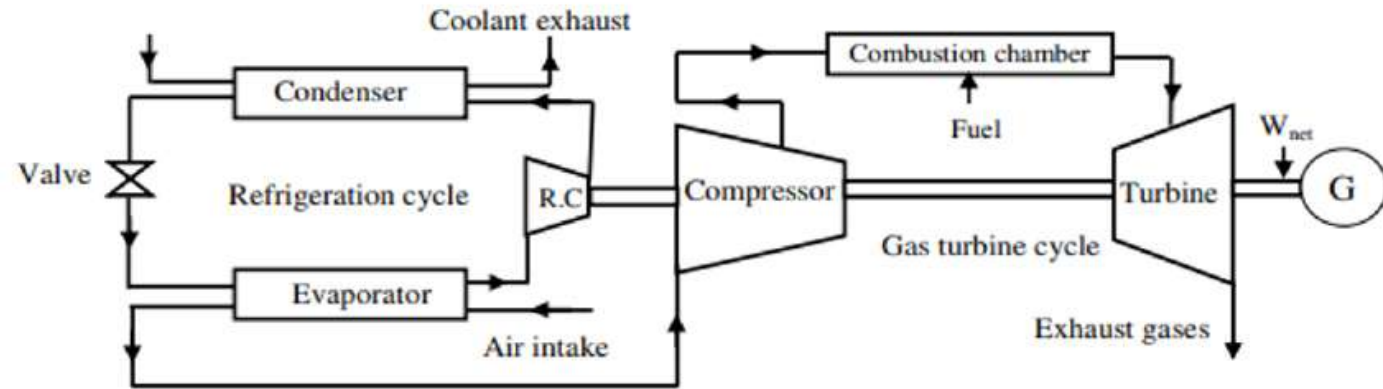
شکل ۵- نمایی از شبکه پاشش آب و نازل مربوطه در سیستم خنک کاری مه گون

۲-۲- سیستم های خنک کاری تبریدی

در این فرایند با ایجاد سرمایش دمای حباب خشک کاهش می‌یابد و رطوبت نسبی افزایش می‌یابد، اما چون فاقد رطوبت زنی یا رطوبت گیری است، رطوبت مخصوص هوا ثابت می‌ماند، این نوع سرمایش با عبور جریان هوا از کوئل‌هایی که در آن‌ها مبرد جریان دارد انجام می‌شود. سیستم‌های تبریدی به دو دسته چیلرهای تراکمی و جذبی تقسیم می‌شوند. به طورکلی چیلرهای تراکمی از انرژی الکتریکی و چیلرهای جذبی از انرژی حرارتی به عنوان منبع اصلی ایجاد سرمایش استفاده می‌کنند.

۲-۲-۱- سیستم‌های تبرید تراکمی^۴

با استفاده از این روش می‌توان دمای هوای ورودی به توربین گاز را تا ۵/۵ درجه سانتیگراد (حداقل دمای مجاز) بدون وابستگی به دمای حباب تر کاهش داد [۲]. سیستم‌های تبرید تراکمی به دو نوع مستقیم و غیرمستقیم تقسیم بندی می‌گردند: در نوع مستقیم لوله‌های خنک کن حاوی مبرد بر سر راه جریان هوا قرار گرفته و باعث جذب حرارت و در نتیجه کاهش دمای هوا می‌شود. در نوع غیرمستقیم ابتدا آب به کمک مبرد خروجی از چیلر خنک و سپس آب خنک شده درون لوله‌های خنک جریان یافته و باعث خنک شدن هوای ورودی به توربین می‌شود. شماتیک یک نمونه سیستم تبرید تراکمی در شکل ۶ نمایش داده شده است.



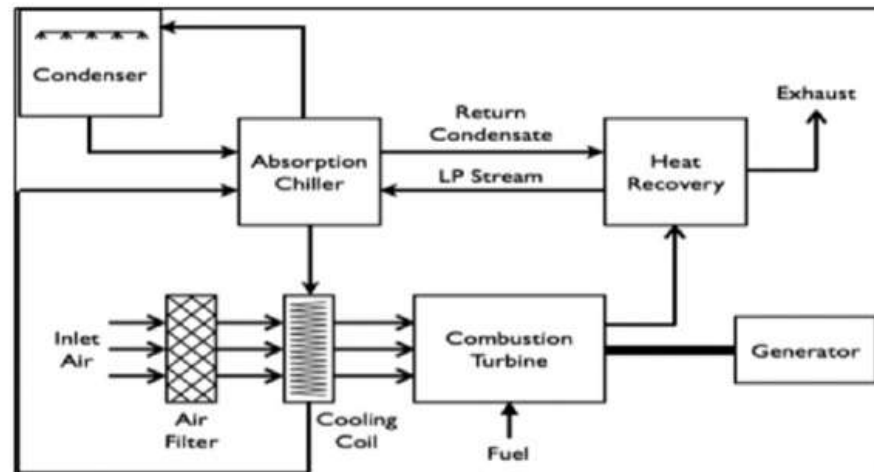
شکل ۶- شماتیک خنک کاری با سیستم تبرید تراکمی [۳]

۲-۲-۲- سیستم های تبرید جذبی^۵

این نوع چیلرها از انرژی حرارتی برای تولید سرما استفاده می‌نمایند، در این سیستم‌ها برای تراکم از پمپ استفاده می‌شود. در نتیجه میزان مصرف انرژی، خرابی و هزینه تعمیرات آنها بسیار کمتر می‌باشد. انتخاب ظرفیت چیلر جذبی تاثیر مهمی بر روی اجزای سیکل تبرید و جنبه‌های اقتصادی آن دارد.

سیستم‌های تبرید جذبی متداول برای خنک کاری هوای ورودی عبارتند از:

- سسیستم تبرید جذبی لیتیوم بروماید
- سیستم تبرید جذبی آب و آمونیاک
- شماتیک یک نمونه سیستم تراکم جذبی در شکل ۷ نمایش داده شده است.

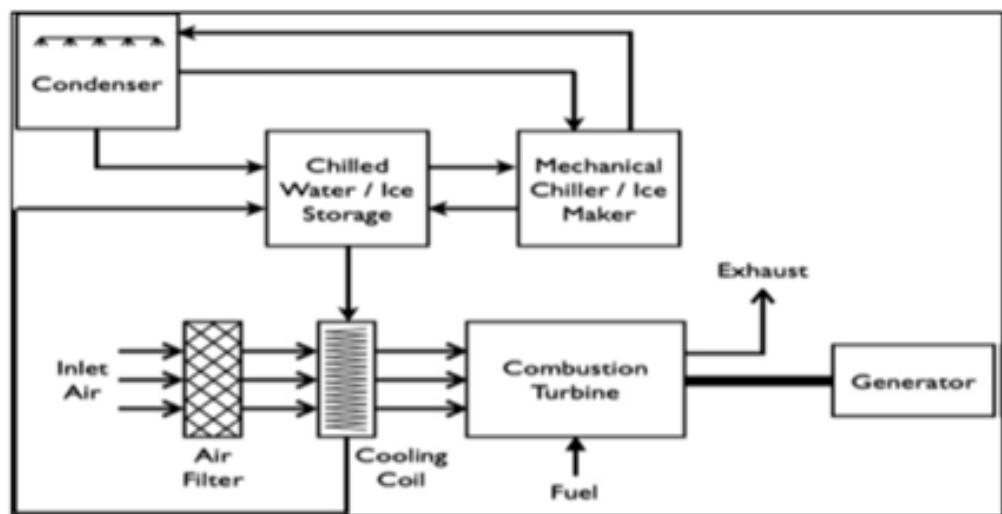


شکل ۷- شماتیک خنک کاری با سیستم تراکم جذبی [۴]

۲-۳- خنک کاری از طریق ذخیره انرژی

این روش بیشتر در مواقع پیک مصرف برق بکار می‌آید بدین صورت که در زمان‌های غیرپیک کاهش سیستم‌های تبرید، انرژی را در منابع موجود مانند یخ ذخیره کرده تا در هنگام پیک مصرف جهت خنک کاری هوای ورودی استفاده شود، همچنین با توجه به سناریوهای بهره‌برداری استفاده همزمان و یا مجزا این سیستم‌ها وجود دارد. مطالعات نشان داده است با کاهش دما از ۲۳ درجه به ۵/۵ درجه سانتیگراد توان خروجی توربین ۱۷ درصد افزایش داشته است. (قابل ذکر است که این مقادیر در شرایط محیطی مختلف و در توربین‌های مختلف نیز متفاوت است) [۴]. شماتیک یک سیستم خنک کاری هوای ورودی شامل سیستم ذخیره انرژی در شکل ۸ نمایش داده شده است.

^۴ Vapor Compression refrigeration
^۵ Absorption refrigeration



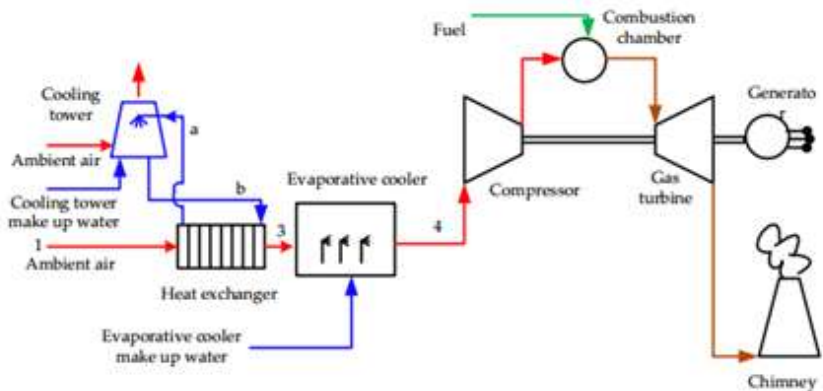
شکل ۸- شماتیک خنک کاری با سیستم ذخیره سازی [۴]

۲-۴- سیستم های هیبریدی

روش های مختلفی با ترکیب کردن سیستم های معرفی شده نیز بکار گرفته می شوند که در ادامه به آن پرداخته شده است.

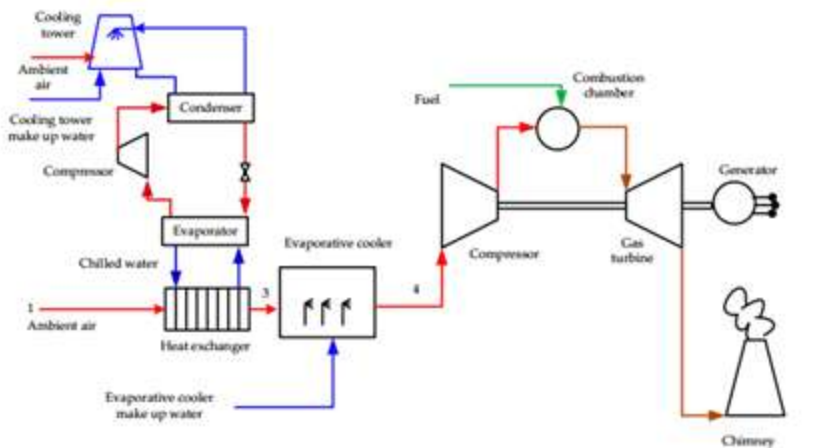
۲-۴-۱- خنک کاری دو مرحله ای

برای خنک کردن هوای ورودی تا زیر دمای حباب تر محیط، ابتدا هوای ورودی توسط آبی که در برج خنک کن (شکل ۹) گرمای خود را از دست داده است، خنک می شود سپس وارد سیستم مدیا می شود. استفاده از این روش ها توازنی در میان مصرف آب و انرژی ایجاد می کند و دمای هوا را می توان تا مقدار بسیار کمتری نسبت به سیستم های تبخیری خنک کرد.



شکل ۹- شماتیک خنک کاری با سیستم هیبریدی [۵]

همچنین در روشی دیگر با ترکیب سیستم های تبریدی و تبخیری (شکل ۱۰) باعث کاهش هرچه بیشتر دمای هوای ورودی می شوند. براساس تحقیقات موجود در ماه های تیر و مرداد سیستم هیبریدی در مقایسه با سایر روش ها بالاترین افزایش توان خروجی و راندمان سیکل را داشته اند [۵].



شکل ۱۰- شماتیک خنک کاری با سیستم هیبریدی تبریدی و تبخیری [۵]

مطالعات پیشین نشان داده است که استفاده از سیستم سرمایشی تراکمی در دمای ۴۳ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۱۸ درصد دمای هوا و راندمان چرخه را به ترتیب تا ۲۸ درجه سانتیگراد کاهش و ۵ درصد افزایش داده است. این در حالی است که سیستم مه پاش سبب کاهش ۱۸ درجه سانتی گراد دمای هوای ورودی و ۲ درصد افزایش بازده می شود. همچنین دوره بازگشت سرمایه برای خنک کاری با چیلر مکانیکی ۶/۵ درصد طولانی تر از دوره بازگشت سرمایه با سیستم مه گون است [۶]. در مطالعه دیگری نشان داده شده است که خنک کاری به روش تبرید جذبی به ترتیب ۲۵/۴۷ و ۳۳/۶۶ درصد در توان خروجی و راندمان افزایش داشته است درحالیکه به روش به تبخیری ۵/۵ و ۱/۵۵ درصد در توان و راندمان افزایش نشان داده شده است [۴].

جدول ۱- مقایسه مزایا و معایب انواع روش های خنک کاری هوای ورودی به توربین گاز

نوع سیستم	مزایا	معایب
تبخیری مدیا	هزینه سرمایه گذاری اولیه، تعمیر و نگهداری پایین زمان کم مورد نیاز برای نصب سیستم	مصرف بسیار بالای آب در تابستان، افت فشار ناشی از سیستم مدیا، نیاز به تعویض پدهای مدیا، تاثیرپذیری زیاد از شرایط محیطی
تبخیری مه گون	ایجاد افت فشار کمتر در مسیر ورودی، زمان کم و هزینه پایین مورد نیاز برای نصب سیستم، مصرف پایین برق، قابلیت خنک کردن سریعتر به دلیل وجود ذرات بسیار ریز آب	مصرف بسیار بالای آب در تابستان، نیاز به آب مقطر، عدم کارایی لازم در مناطق با رطوبت بسیار بالا
تبرید تراکمی	قابلیت سرمایش تا دمای دلخواه، وابسته نبودن به شرایط اقلیمی، مصرف کم آب نسبت به سیستم های تبخیری	مصرف برق نسبتا زیاد، هزینه نصب اولیه و نگهداری بالا، افت فشار قابل ملاحظه سیستم
تبرید جذبی	مصرف برق بسیار کم، وابسته نبودن به شرایط اقلیمی، امکان نصب کویل در بیرون و درون اتاق قیلتر	مصرف آب در برج خنک کن، نیاز به تامین انرژی حرارتی، هزینه اولیه بالای سیستم
ذخیره سازی انرژی	وابسته نبودن به شرایط اقلیمی، مصرف برق پایین در زمان پیک مصرف	محدودیت زمان عملیاتی هزینه تعمیرات و نگهداری بالا
هیبرید	قابلیت استفاده در شرایط آب و هوایی مختلف، قابلیت خنک کاری بیشتر نسبت به روش های تبخیری	هزینه نصب و نگهداری بالا، مصرف آب زیاد نسبت به روش های تبریدی

در جدول ۱ به بررسی و مقایسه انواع روش های خنک کاری هوای ورودی به توربین گاز پرداخته شده است.

در ادامه اثر استفاده از روش خنک کاری تبخیری بر توربین سیکل ترکیبی جنوب ۲ مورد بررسی قرار می گیرد.

۳- مطالعه موردی پروژه جنوب ۲ با توربین گازی کلاس F

با نصب سیستم مدیا عملکرد توربین بخار و بویلرهای بازیافت که در پایین دست توربین های گازی قرار دارند تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. برای بررسی تاثیر بکارگیری این سیستم بر عملکرد سیکل ترکیبی، پروژه جنوب ۲ با توربین گاز کلاس F که سیستم مدیا در آن نصب شده است مورد بررسی قرار گرفته شده است.

نیروگاه جنوب ۲ واقع در استان اصفهان می باشد. برای این نیروگاه از سیستم تبخیری مدیا استفاده شده است، دبی مصرفی آب در سیستم مدیای پروژه جنوب ۲، ۲/۴ کیلوگرم بر ثانیه است. در ادامه اثر استفاده از این روش خنک کاری هوای ورودی در کیس تابستان با دمای محیط ۴۵ درجه سانتی گراد و رطوبت نسبی ۱۰ درصد، ۲ بویلر با لود ۱۰۰ درصد و حالت فایرینگ بر سیکل و بویلر بازیافت بررسی شده است.

دمای هوای محیط با استفاده از این سیستم از ۴۵ درجه به ۲۳ درجه سانتیگراد کاهش پیدا کرده است و بدلیل اشباع نمودن هوای ورودی رطوبت نسبی به ۷۳ درصد افزایش یافته است. همچنین بدلیل نصب تجهیزات مربوط ۲ میلی بار افت فشار مسیر ورودی هوا افزایش یافته است.

مشخصات بخار تولید شده که موجب افزایش توان خروجی در توربین بخار شده است در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲-مقایسه تغییرات دما، دبی و فشار بخار تولید شده پس از نصب سیستم مدیا

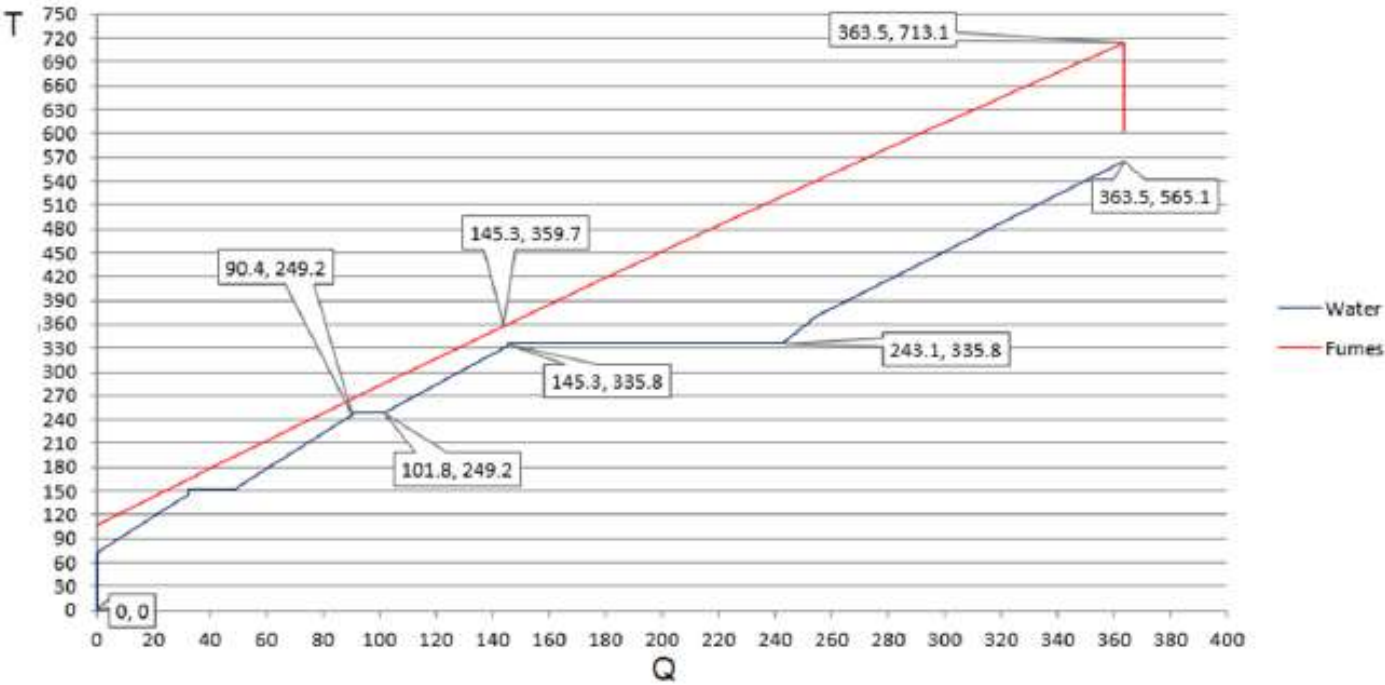
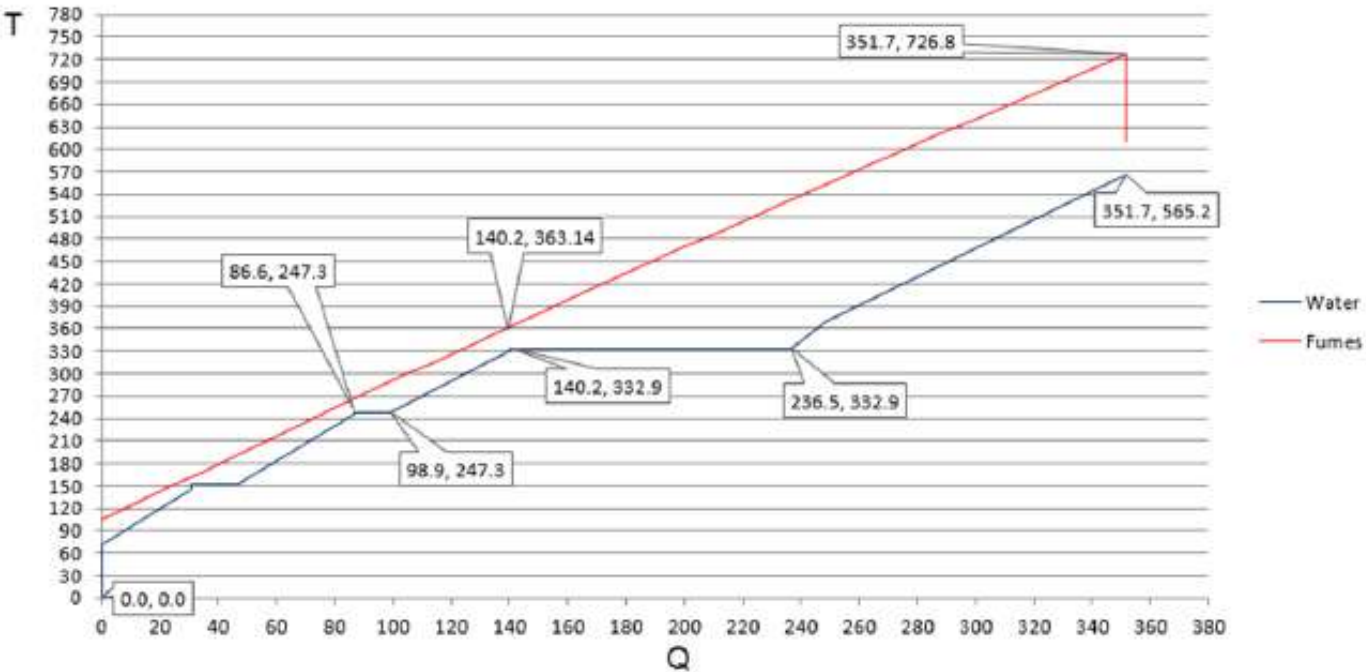
پارامتر	واحد	SSC-F-100+with media	SSC-F-100	اختلاف	اختلاف %
دبی	kg/s	۹۱/۶۰	۸۵/۶۳	۵/۹۷	۶/۹۷
دما	C°	۵۶۵	۵۶۵	۰	۰
فشار	bara	۱۳۵	۱۲۶/۷۵	۸/۲۵	۶/۵۰
دبی	kg/s	۵/۱۹	۴/۵۷	۰/۶۲	۱۳/۵۶
دما	C°	۳۳۳/۲۶	۳۲۷/۵۴	۵/۷۲	۱/۷۴۶
فشار	bara	۳۸/۸۰	۳۶/۱۶	۲/۶۴	۷/۳۰
دبی	kg/s	۷/۳۰	۶/۵۳	۰/۷۷	۱۱/۷۹
دما	C°	۲۵۰/۱۴	۲۴۶/۲۹	۳/۸۵	۱/۵۶
فشار	bara	۴/۴۸	۴/۲۳	۰/۲۵	۵/۹۱

جدول ۳- مقایسه تغییرات برنر، آب اسپری و خروجی دود استک

پارامتر	واحد	SSC-F-100+with media	SSC-F-100	اختلاف
دبی سوخت برنر	kg/s	۱/۴۳	۱/۵۳	-۰/۱
توان برنر	MW	۶۵/۶۴	۷۰	-۴/۳۶
دبی آب اسپری میانی HP	kg/s	۱/۱۴۶	۵/۴۵	-۴/۳۰
دبی آب اسپری میانی HRH	kg/s	۰/۵۸	۲/۵۴	-۱/۹۶
دمای دود خروجی از دودکش	C°	۱۰۶/۲۸	۹۹/۹۴	۶/۳۴

همانطور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود دبی، دما و فشار بخار تولید شده در هر ۳ سطح فشاری افزایش یافته است بطوریکه دبی و فشار بخار HP تقریباً ۶/۵ درصد افزایش، دبی و فشار بخار IP به ترتیب ۱۳ و ۷/۳ درصد افزایش و دبی و فشار بخار LP به ترتیب ۱۱ و ۶ درصد افزایش یافته است که موجب بالارفتن توان خروجی توربین بخار شده است. بطور کلی با افزودن سیستم مدیا راندمان کلی سیکل بهبود می‌یابد اما در بویلرهای بازیافت به دلیل آنکه با دمای کمتری وارد می‌شود و جذب نیز کاهش یافته و در نتیجه دود با دمای بیشتری خارج شده که نشان دهنده کاهش راندمان بویلر است.

همچنین بر اساس جدول ۳ مشاهده می‌شود که بدلیل کاهش دمای دود خروجی از توربین گاز، دمای بخار کاهش یافته و نیاز به آب اسپری نیز به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. بدلیل کاهش دمای دود، جذب حرارت نیز کاهش یافته و دود با دمای کمتر، خارج شده است. دمای داکت دبی نشان کاهش، تقریباً ۴/۵ مگاهات مشاهده می‌شود.



شکل ۱۲- نمودار دما بر حسب جذب حرارت بخار و دود با نصب تجهیز مدیا

شکل ۱۱ و ۱۲ نشان دهنده نمودار دما بر حسب جذب حرارت بخار و دود به ترتیب بدون سیستم مدیا و با سیستم مدیا می‌باشد. خط قرمز نشان دهنده دمای دود و خط آبی نشان دهنده بخار است، شیب خط در نمودار مربوط به سیستم با مدیا کمتر می‌باشد. شیب برابر() که با افزایش دبی دود خروجی و تغییر ترکیب شیمیایی دود شیب آن کمتر شده است. همچنین دود با دمای بیشتری خارج شده است که نشان دهنده کاهش راندمان بویلر است. همچنین سطح فشاری بخار در مقدار بالاتری قرار دارد و اختلاف دمای دود و بخار در کیس تابستان بدون مدیا بیشتر است که باعث تخریب آگرزژی بیشتری می‌شود.

باتوجه به تغییر ترکیب شیمیایی دود بعد از اضافه شدن آب به هوای ورودی دمای نقطه شبنم اسیدی^۶ نیز تغییر می‌کند که در راندمان بویلر، مقدار آب بای پس، و جذب حرارت در CPH تاثیرگذار است، زمانی که مقدار دمای نقطه شبنم اسیدی بالاتر رود آب سرد بیشتری بای پس شده و Approach درام LP نیز بیشتر می‌شود که موجب افزایش نیاز بخار Pegging شده و همچنین دبی LP نیز کاهش می‌یابد.

با توجه به افزایش دبی، دما و سطح فشار بخار در کیس تابستان با مدیا تغییری در ضخامت تیوب‌های آلیاژی و همچنین ست پوینت PSV نیز بوجود نمی‌آید.

نتیجه گیری

پس از نصب سیستم مدیا توان خروجی توربین گاز ۱۹/۵ درصد معادل ۳۷ مگاوات و راندمان توربین گاز ۱/۲۵ درصد افزایش یافته است. دبی دود خروجی ۱۲ درصد که معادل ۶۳ کیلوگرم بر ثانیه افزایش و دمای خروجی از آن ۱۴ درجه کاهش یافته است که موجب تغییر قابل توجهی در دبی و دمای بخار گردیده است که بر اثر آن توان خروجی توربین بخار نیز ۱۴ مگاوات افزایش یافته است.

راندمان بویلر با مدیا برابر ۸۸/۵ درصد و بدون سیستم مدیا برابر ۸۹/۵ درصد شده است که درصد کاهش را نشان می‌دهد اما راندمان کلی سیکل افزایش یافته است. مصرف آب سیستم مدیا با فرض استفاده در ۹۰ روز تابستان و ۸ ساعت کارکرد در روز معادل ۶۲۰۰ تن است که بزرگترین نقص استفاده از این نوع سیستم می‌باشد زیرا مناطق گرم و خشک مانند اصفهان و اکثر مناطق ایران با مشکل شدید کم آبی مواجه هستند و استفاده از این سیستم تبعات زیست محیطی بسیار شدید در پی دارد.

که با نصب سیستم‌های تبرید جذبی می‌توان با این مشکل مقابله کرد اما به دلیل هزینه نصب اولیه بالا نیاز به تغییر سیاست اقتصادی می‌باشد.

آینده پژوهی و کاربرد همزاد دیجیتال در صنعت نیروگاهی

علی مهرجویان، سامان ذاکر، رامین مرادی، حسین بهادری



چکیده

این مقاله به آینده پژوهی و کاربرد همزاد دیجیتال پرداخته و آن را به طور ویژه در صنعت نیروگاهی مورد بررسی قرار می دهد. عدم وجود یک مدل دینامیکی جامع و کارآمد به منظور شبیه سازی دقیق بویلر با در نظر گرفتن تمام شرایط محیطی و عوامل تأثیرگذار بر روی پارامترهای سیستم کنترل آن، مشکلات متعددی را برای نیروگاه به همراه خواهد داشت. از جمله این موارد می توان به خرابی تجهیزات به دلیل عدم تعمیر به هنگام، نگهداری نامناسب و نیز اشراف ناکافی بر روی تأثیر پارامترهای سیستم کنترل بر روی عملکرد بویلر و سایر تجهیزات نیروگاهی اشاره نمود. همچنین یکی از مسائل مورد اهمیت در این حوزه توجه به وقوع عیب و تشخیص به موقع آن در تجهیزات مذکور می باشد. بدیهی است، در صورت تشخیص و شناسایی عیوب سیستم و تلاش برای رفع آن ها در زمان مناسب، می توان خسارات مالی و جانی را در حین بروز مشکل تا حدود زیادی کاهش داد. علاوه بر این، آموزش اپراتورهای نیروگاهی به منظور دستیابی به بینشی عمیق در رابطه با عملکرد کلی سیستم در حین تغییر و خرابی تجهیزات مورد استفاده، می توان از بروز مشکلات و خسارات جبران ناپذیر جلوگیری بعمل آورد. در این راستا به منظور ارائه راهکاری مناسب در رابطه با مشکلات مذکور، تکنولوژی همزاد دیجیتال مورد توجه شرکت ها و محققین فعال در این حیطه قرار گرفته است. بنابراین، این مقاله سعی در بررسی این نگرش و ایجاد آشنایی کلی با تکنولوژی مذکور در حیطه صنعت نیروگاهی خواهد داشت.

۱- مقدمه های بر همزاد دیجیتال

با افزایش پیچیدگی ها در یک بازار پر تقاضا، نیاز به یکپارچگی میان جهان فیزیکی و دیجیتالی شتاب می گیرد. در عین حال نیازهای فزاینده انسان در مواجهه با محصولات صنعتی، توانایی مدل دیجیتال را برای تعامل با شیء فیزیکی به چالش می کشد. در این راستا همزاد دیجیتال یا (Digital Twin (DT روی کار آمده و جرقه یک انقلاب صنعتی گسترده را آغاز کرد [۱-۲]. فناوری DT از مهندسی و ساخت هوافضا در ایالات متحده، به ویژه در پروژه آپولو ناسا در سال ۱۹۶۹ نشأت گرفت، اما اصطلاح «همزاد دیجیتال» را به صراحت پیشنهاد نکرد. در آن زمان دو فضایی یکسان ایجاد شد که یکی از آنها برای مأموریت به فضا فرستاده شد و دیگری در یک محیط شبیه سازی شده روی زمین نگهداری شد تا وضعیت واقعی فضاپیما در فضا را منعکس کند [۳].

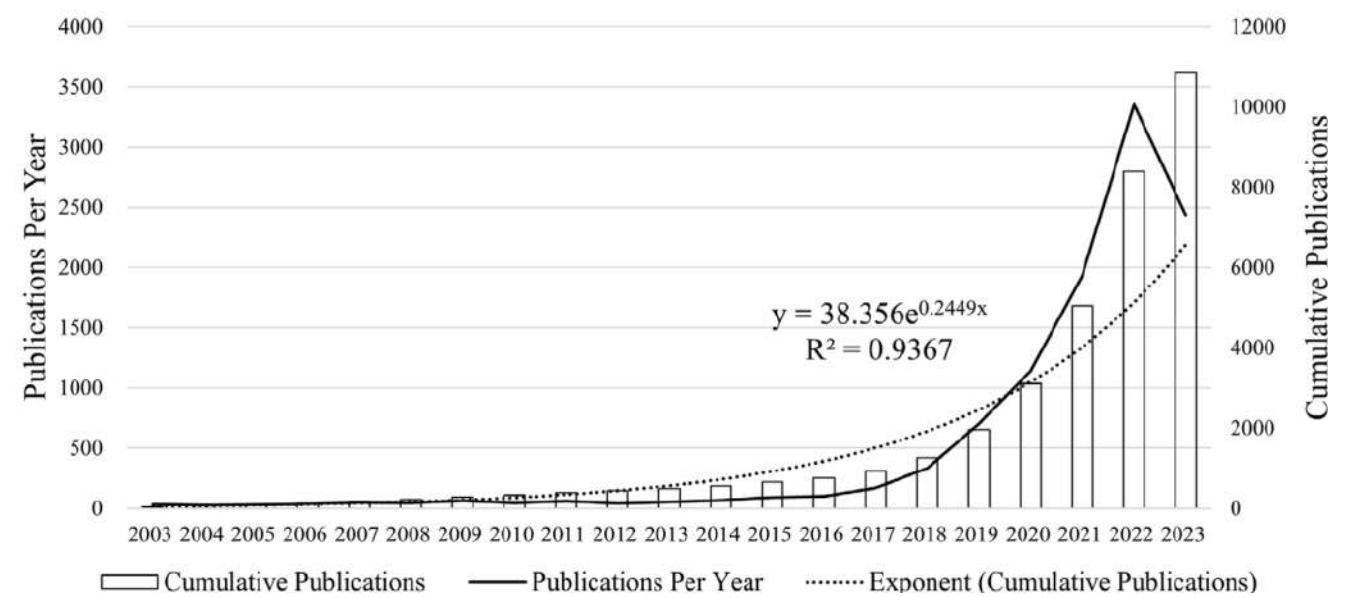
در اوایل قرن بیست و یکم در سال ۲۰۰۳، Michael Grieves مدل مفهومی مدیریت چرخه عمر محصول (PLM) را تحت سخنرانی خود در دانشگاه میشیگان در ایالات متحده پیشنهاد کرد [۴]. این مدل وجود فضای واقعی، فضای مجازی، جریان داده (Data) از فضای واقعی به فضای مجازی، جریان اطلاعات (Information) از فضای مجازی به فضای واقعی و بیان زیرفضاهای مجازی را پیشنهاد می کرد. Grieves این مدل را «مدل آینه اطلاعات» نامید که پیشروی همزاد دیجیتال است. بعدها، Grieves مفهوم DT را بیشتر توسعه داد و آن را به عنوان یک کپی دیجیتالی تعریف کرد که می تواند برای اجرا در محیط های واقعی یا مجازی آزمایش شود [۵]. همچنین در سال ۲۰۱۵، شرکت جنرال الکتریک ایالات متحده، DT را با فناوری های اطلاعاتی مانند اینترنت و داده های بزرگ (Big Data) ترکیب کرد تا کل چرخه عمر موتورها را از طریق پلتفرم خدمات ابری Predix مدیریت کند [۶]. به همین صورت این مسئله به تدریج پیشرفته تر شد، به گونه ای که می توان بیان کرد اکتشاف نظری و ارتقای کاربرد در زمینه DT یک فرآیند تکاملی طولانی مدت و عمیق است.

- [1] Abdalla, Kamal & Adam, Zuhair. (2006). Enhancing Gas Turbine Output Through Inlet Air Cooling. Sudan Engineering Society Journal. Volume 52.
- [2] Maghsoodi K, Atigh A. Studying the Effect of Evaporative and Refrigerated Cooling Methods on the Gas Turbine Inlet Air Cooling. IJE 2010; 13 (3) :47-71 URL: <http://necjournals.ir/article-1-199-fa.html>
- [3] Ibrahim TK, Rahman MM, Abdalla AN. Improvement of gas turbine performance based on inlet air cooling systems: A technical review. International journal of physical sciences. 2011 Feb 18;6(4):620-7.
- [4] Odila, Christian & Saturday, Ebigenibo & Ebieto, Ebieto. (2023). A review of gas turbine inlet cooling technologies. International Journal of Frontiers in Engineering and Technology Research. 5. 051-068. 10.53294/ijfetr.2023.5.1.0020.
- [5] Zeitoun, Obida. «Two-stage evaporative inlet air gas turbine cooling.» Energies 14.5 (2021): 1382.
- [6] Energy, Exergy, Economic & Environmental Analysis for Two Methods of Inlet air Cooling for Gas Turbine (Case Study: Khangiran Refinery)

از سوی دیگر، افزایش قابل توجه تحقیقات در سه سال گذشته نشان می دهد که این زمینه هنوز در مرحله گسترش است. در سال ۲۰۲۴ مقاله ای در رابطه با DT منتشر شد [۷] که در آن نویسندگان ۲۳۰ تحقیق منتشر شده در زمینه DT را مورد بررسی قرار داده اند. در این راستا، یافته های آنها حاکی از آن است که ۱۵۸ بررسی بر روی استفاده از DT در ۱۱ صنعت متمایز، از جمله تولید، مراقبت های بهداشتی، ساخت و ساز، انرژی و حمل و نقل متمرکز شده است. علاوه بر این، ۴۹ بررسی به ۳۹ سناریو کاربردی خاص و اشیاء، مانند ربات ها، زیرساخت های عمرانی، کشتی ها و خودروها پرداختند. در این بین ۱۳ مطالعه، فناوری های کلیدی DT مانند مدل سازی، داده ها، واقعیت افزوده، هوش مصنوعی، داده های بزرگ، یادگیری ماشین، کمی سازی عدم قطعیت و بهینه سازی را بررسی کردند. قابل ذکر است که آنها مدعی شدند، تنها ۱۰ مقاله یک نمای کلی جامع از زمینه DT ارائه می دهند که به منظور بررسی بیشتر و دسترسی به اطلاعات جامع می توان به جدول ۱ از مرجع [۷] مراجعه نمود.

در این مرجع اهمیت تکنولوژی همزاد دیجیتال از دیدگاه چاپ مقالات در سال های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ به تصویر کشیده است (شکل ۱). از شکل مذکور می توان دریافت که از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳، مطالعات در حوزه DT در مرحله نوپا بودند، چرا که حجم انتشار سالانه زیر ۶۰ مقاله باقی مانده بود که تنها ۴/۵۴ درصد از کل مقالات را تشکیل می داد. بنابراین مسئله مذکور نشان می دهد که تکنولوژی DT در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ هنوز توجه گسترده ای را به خود جلب نکرده بود. اما از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۹ فناوری DT به عنوان یک زمینه جذاب مورد توجه صنایع قرار گرفت.

این دوره شاهد فعال شدن تدریجی تحقیقات همراه با ادغام نسل جدید فناوری اطلاعات (مانند رایانش ابری، اینترنت اشیاء و داده های بزرگ) با تولید و تدوین استراتژی هایی برای توسعه تولید پیشرفته در بین کشورها بود. شایان ذکر است، گارتنر (Gartner)، یک شرکت مشاوره و تحقیقات فناوری اطلاعات جهانی، به طور مداوم DT را به عنوان یکی از ده مورد برتر فناوری استراتژیک برای چهار سال متوالی، از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۱۹ شناسایی کرده است. پس از سال ۲۰۱۹، حوزه DT وارد دوره توسعه سریع شد. داده ها نشان می دهد که در سال ۲۰۱۹، ۷۰۳ نشریه وجود داشت که ۶/۴۹ درصد از کل را تشکیل می داد و تا سال ۲۰۲۲، این تعداد به ۳۳۵۴ مقاله افزایش یافت که ۳۰/۹۴ درصد از کل مقالات را شامل می شد. این افزایش سالانه از ۴۰۰ مقاله فراتر رفت و در سال های اخیر، نرخ رشد سالانه حتی به حدود ۱۰۰۰ مقاله رسیده است که نشان دهنده یک توسعه بسیار سریع در عرض چند سال است.



شکل ۱: روند چاپ مقالات در زمینه همزاد دیجیتال از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ [۷]

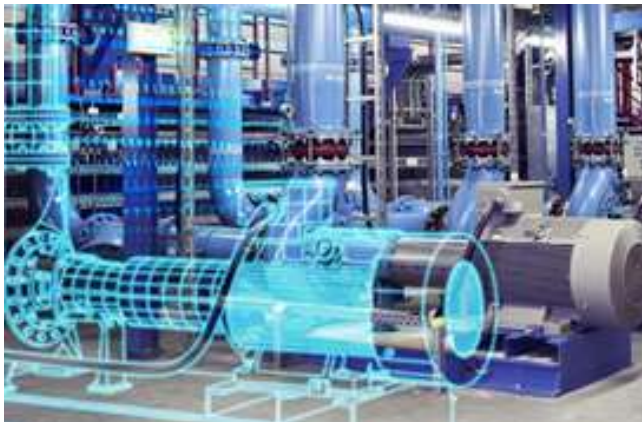
به صورت کلی، فناوری همزاد دیجیتال به دلیل پتانسیل آن برای تسهیل تحقق مفاهیم پیشرفته مانند دیجیتالی شدن، هوشمندی و خدمات، یک فناوری روزافزون محبوب در دانشگاه و صنعت بشمار می رود. با توجه به بحث های فوق و بر طبق داده های جمع آوری شده از مجموعه Web of Science Core، ۱۰۸۴۰ مقاله از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۳ در این زمینه منتشر شده است که نشان از توجه بسیار زیاد به حوزه تکنولوژی همزاد دیجیتال می باشد. ظهور داده های بزرگ، اینترنت اشیاء (IoT) و دیگر فناوری های اطلاعاتی نسل جدید، تحولی را در صنعت تولید به وجود آورده است که هسته آن دیجیتالی شدن، شبکه سازی و هوشمندی است. برای دگرگونی سیستم های صنعتی و ارتقای توسعه بهره وری، کشورهای مختلف استراتژی های تولیدی پیشرفت های را متناسب با شرایط ملی خود تدوین کرده اند، مانند استراتژی «اینترنت صنعتی» ایالات متحده و استراتژی «صنعت ۴» آلمان، که هر دو به دنبال اهرم نوآوری فناوری اطلاعات برای پیشبرد توسعه سریع فناوری همزاد دیجیتال هستند [۹]. DT به عنوان یکی از شاخه های کلیدی فناوری اطلاعات، تبدیل به یک پل ارتباطی میان محیط فیزیکی و اطلاعات مجازی شده است که ویژگی های فنی آن برای تسریع سرعت تولید هوشمند ملی ضروری است [۱۰].

۲- پیش نیاز تکنولوژی همزاد دیجیتال

تکنولوژی همزاد دیجیتال از تحقیقات نظری تا اجرای عملی پیشرفت کرده و نشان می دهد که داشتن «مدل» یک مولفه اصلی و در واقع یک پیش نیاز برای اجرای موفق تکنولوژی مذکور می باشد. در محیط مجازی، بر اساس ویژگی های فیزیکی پلنت، مدل همزاد دیجیتال را می توان در چهار بُعد از جمله مدل هندسی، فیزیکی، رفتاری و قانون بیان کرد [۱۱]. مدل هندسی، شکل هندسی و روابط مجموعه موجودیت فیزیکی را توصیف می کند. مدل فیزیکی خواص فیزیکی، ویژگی ها و محدودیت های موجودیت فیزیکی محصول را منعکس می کند. مدل رفتاری نشان دهنده رفتار دینامیکی پلنت در پاسخ به مکانیسم های داخلی و خارجی است. در نهایت مدل قانون، شامل داده های تاریخی یا به عبارتی داده هایی که مربوط به گذشته می باشد که می توان از آن ها دانشی را استخراج کرده و مدل همزاد دیجیتال را هوشمندتر کند. با ترکیب دانش چند رشته ای، مدل چند بعدی همزاد دیجیتال بدست آمده که می تواند عملکردهایی مانند پیش بینی، بهینه سازی و کنترل را در دنیای دیجیتال انجام دهد.

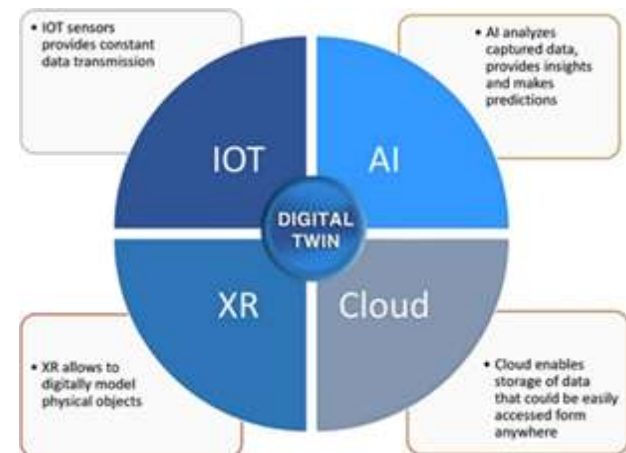
۳- نحوه کار و اجزای تشکیل کننده همزاد دیجیتال

همانطور که پیشتر نیز اشاره شد، فناوری همزاد دیجیتال به نمایش مجازی اشیاء فیزیکی، فرآیندها یا سیستم ها اشاره دارد. این مسئله شامل ایجاد یک همزاد دیجیتالی است که موجودیت فیزیکی را در زمان واقعی یا نزدیک زمان واقعی منعکس می کند. این نسخه مجازی داده های حسگرها، دستگاه های اینترنت اشیاء و سایر منابع را برای شبیه سازی رفتار، عملکرد و شرایط مشابه فیزیکی خود ترکیب می کند. همزادهای دیجیتال از طریق ادغام فناوری های مختلف مانند حسگرها، تجزیه و تحلیل داده ها و نرم افزارهای مدل سازی ایجاد می شوند [۱۲]. بنابراین، همانطور که در شکل ۲ نیز به تصویر کشیده شده است، همزاد دیجیتال در واقع به صورت موازی با پلنت واقعی اما در محیط نرمافزاری ایفای نقش می کند.



شکل ۲: نمایی کلی از همزاد دیجیتال

در تکنولوژی همزاد دیجیتال، به طور مداوم داده ها از همتایان فیزیکی دریافت شده که امکان نظارت، تجزیه و تحلیل در زمان واقعی را فراهم می کنند. این قابلیت، نگهداری پیش بینی شده یا پیشگویانه، بهینه سازی عملکرد و تست سناریو را بدون ایجاد اختلال در سیستم واقعی امکان پذیر می کند. در نهایت به صورت کلی می توان عنوان کرد که سه جنبه اصلی DT عبارتند از (۱) اکتساب داده، (۲) مدل سازی داده و (۳) کاربرد داده می باشند [۱۳]. شایان ذکر می باشد که همزاد دیجیتال از چهار فناوری برای جمع آوری و ذخیره داده های بلادرنگ، به دست آوردن اطلاعات برای ارائه بینش های ارزشمند و ایجاد یک نمایش دیجیتالی از یک شیء فیزیکی استفاده می کند. همانطور که در شکل ۳ نمایش داده شده است، این فناوری ها شامل اینترنت اشیاء، هوش مصنوعی (AI)، رایانش ابری (Cloud) و واقعیت توسعه یافته (XR) می باشند. علاوه بر این، DT از یک فناوری خاص بسته به نوع کاربرد، به میزان کم یا زیاد استفاده می کند. در ادامه به توضیح هر یک از فناوری های مذکور پرداخته خواهد شد.



شکل ۳: اجزای تشکیل دهنده تکنولوژی همزاد دیجیتال [۱۳]

۱-۳- اینترنت اشیا

تکنولوژی اینترنت اشیا یا همان IoT به یک شبکه غول پیکر از «اشیا» متصل اشاره دارد. ارتباط مذکور میان اشیا - اشیا، مردم - اشیا یا مردم - مردم می باشد [۱۴]. از آنجایی که تکنولوژی DT از اینترنت اشیا به عنوان فناوری اصلی خود در هر برنامه ی استفاده می کند، بدین جهت پیش بینی شده است که تا سال ۲۰۲۷، بیش از ۹۰ درصد از تمام پلتفرم‌های اینترنت اشیا دارای قابلیت همزاد دیجیتال خواهند بود [۱۵].

اینترنت اشیا از حسگرها برای جمع آوری داده ها از اشیا دنیای واقعی استفاده می کند. بنابراین در این راستا، داده های منتقل شده توسط اینترنت اشیا برای ایجاد یک کپی دیجیتالی از یک شیء فیزیکی استفاده می کند. سپس، نسخه دیجیتال می تواند تجزیه و تحلیل، دستکاری و بهینه سازی شود. بایستی توجه داشت که اینترنت اشیا دائماً داده ها را آپدیت می کند و به برنامه های کاربردی DT کمک می کند تا یک نمایش مجازی در زمان واقعی از یک شیء فیزیکی ایجاد کنند. بنابراین، هر برنامه DT از اینترنت اشیا به عنوان یک فناوری اولیه استفاده می کند.

۲-۳- رایانش ابری

رایانش ابری به ارائه خدمات میزبانی (Hosted) شده از طریق اینترنت اشاره دارد. این فناوری به طور موثر داده ها را از طریق اینترنت ذخیره می کند و به آنها دسترسی پیدا می کند [۱۶]. رایانش ابری به همزادهای دیجیتال، فناوری محاسبات داده و فناوری ذخیره سازی داده های ابری را ارائه می دهد.

همچنین رایانش ابری به DT اجازه می دهد تا با حجم زیادی از داده ها، آنها را در فضای مجازی Cloud ذخیره کند و به راحتی از هر مکانی به اطلاعات مورد نیاز دسترسی پیدا کند. علاوه بر این فناوری مذکور، DT را قادر می سازد تا زمان محاسبات سیستم‌های پیچیده را به طور موثر کاهش دهد و بر مشکلات ذخیره‌سازی مقادیر زیاد داده غلبه کند [۱۷].

۳-۳- هوش مصنوعی

به عنوان یک رشته از علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی به دنبال تقلید از اساس هوش، برای ایجاد یک ماشین هوشمند جدید است که قادر به پاسخگویی مانند هوش انسان به انسان است. محدوده مطالعاتی هوش مصنوعی شامل رباتیک، تشخیص تصویر و تشخیص زبان، شبکه‌های عصبی، یادگیری ماشینی، یادگیری عمیق و سیستم‌های خبره می باشد. هوش مصنوعی می‌تواند با ارائه یک ابزار تحلیلی پیشرفته که قادر به تجزیه و تحلیل خودکار داده‌های به‌دست‌آمده است، به ارائه بینش‌های ارزشمند، ایجاد پیش‌بینی‌هایی درباره نتایج، و ارائه پیشنهادهایی در مورد چگونگی انجام آن پردازد و از این طریق به DT کمک کند تا از مشکلات احتمالی اجتناب نماید [۱۸].

۴-۴- واقعیت توسعه یافته

واقعیت بسط یافته یا توسعه یافته (XR) یک اصطلاح کلی است که برای توصیف فناوری‌های فراگیر مانند واقعیت مجازی (VR)، واقعیت افزوده (AR) و واقعیت ترکیبی (MR) استفاده می‌شود. این فناوری‌ها می‌توانند دنیای فیزیکی و مجازی را ادغام کنند و واقعیتی را که ما تجربه می‌کنیم را گسترش دهند [۱۹].

XR نمایشهای دیجیتالی از اشیا را ایجاد می کند که در آن اشیا دیجیتال و دنیای واقعی با هم وجود داشته و در زمان واقعی با هم تعامل دارند. DT از قابلیت‌های XR برای مدل‌سازی دیجیتالی اشیا فیزیکی استفاده می‌کند و به کاربران اجازه می‌دهد با محتوای دیجیتال تعامل داشته باشند.

۴- محصولات همزاد دیجیتال در حوزه نیروگاهی

با توجه به پیشرفت فناوری DT، شرکت های فعال در این حوزه به ارائه راهکارهای مختلفی به منظور بهبود در خدمات ارائه به مشتری تلاش کرده اند. برای این منظور ۱۰ شرکت برتر دنیا بر اساس سایت digitaltwininsider شرکت های Honeywell، Siemens، General Electric، Microsoft، IBM، PTC، ANSYS، ABB، Dassault، Bentley می باشند که در این زمینه فعالیت های موثر دارند. بنابراین در ادامه، به بیان مزیت های تکنولوژی DT با معرفی محصولات شرکت های فعال و حتی دانشگاه در این زمینه پرداخته می شود.

۱-۴- شرکت (GE) General Electric

بدیهی است که فناوری DT از بهم پیوستن اطلاعات، مدل ها و نرم افزارهای مختلف ایجاد شده است. در این راستا، همزاد دیجیتال شرکت GE بر روی یک پلتفرم صنعتی به نام Predix™ اجرا می‌شود تا از این طریق بتواند حجم عظیمی از داده‌های حسگر ماشین آلات را دریافت کرده و همچنین به مدیریت و اجرای مدل‌های تحلیلی، اجرای موتور قوانین بیزنسی با سرعت بالا و مدیریت داده‌های صنعتی پردازد. با توجه به شکل ۴ واضح است که فناوری DT مذکور شامل مدل های مختلف بوده و کاربری متفاوتی را از دیدگاه بیزنسی می تواند ایجاد کند.



شکل ۴: قابلیت‌های همزاد دیجیتال شرکت GE [۲۰]

بایستی توجه داشت که با یکپارچه کردن این مدل ها، شرکت مذکور توانسته به کاربردهای بیزنسی خود رونق دهد که در ادامه مختصری از قابلیت مدل های مذکور از همزاد دیجیتال شرکت GE معرفی خواهند شد.

• Lifting Digital Twin

این مدل از همزاد دیجیتال قادر است تا اجزاء داخل پلنت را ارزیابی کرده و چگونگی پیرشدن و گذر عمر آنها را نسبت به عملکردشان بسنجد. همچنین خستگی، استرس، اکسیداسیون و سایر پدیده‌ها با استفاده از همزاد دیجیتال قابل پیش‌بینی هستند و به بهینه‌سازی عمل نگهداری اجزا کمک می کند.

• Anomaly Digital Twin

تکنولوژی مذکور از فیزیک و مدل‌های پیش‌آگاهی مبتنی بر داده برای شناسایی خطاها برای بهبود مدیریت خرابی تجهیزات و کاهش زمان خرابی برنامه‌ریزی نشده استفاده می‌کند. همچنین با استفاده از ترکیب DT مذکور با نوع Lifting، می توان دقت منحنی‌های عمر ماشین آلات تولید را افزایش داده و به درک بهتری برای نیازهای تعمیر و نگهداری دست یافت.

• Thermal Digital Twin

این نوع از همزاد دیجیتال قادر است تا بازده حرارتی و ظرفیت پلنت را به همراه شبیه سازی همه پارامترهایی که می تواند بر روی این نتایج تأثیر بگذارد را تعیین کند. این فناوری را می توان در تمام چرخه های حرارتی از سیکل ترکیبی و فسیلی گرفته تا تولید همزمان و گرمایش منطقه ای استفاده کرد.

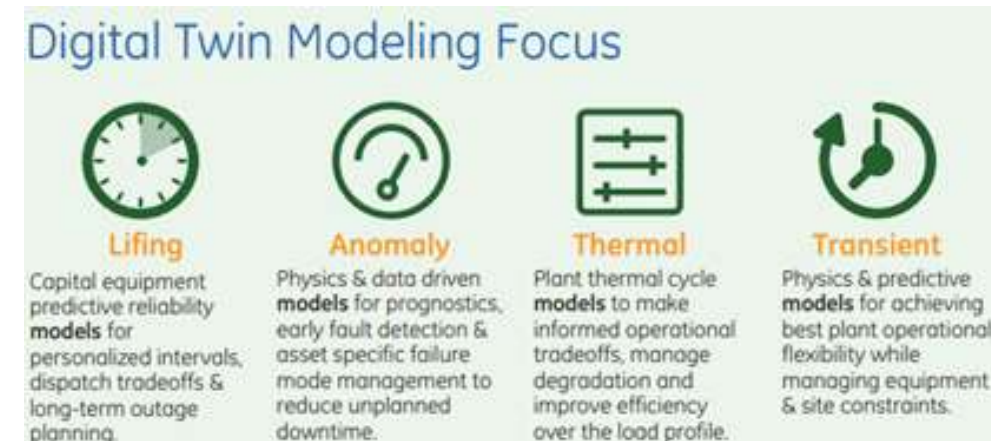
این تکنولوژی اصطلاحاً OEM agnostic بوده و می تواند دقت را برای تمام برندهای نیروگاهی به ارمغان آورد. به هر حال این مدل به بهترین وجه، نیروگاه های مبتنی بر اجزای خود GE را بهبود می دهد.

• Transient Digital Twin

این مدل می تواند قابلیت پلنت را در واکنش به تغییرات محیطی یا تغییرات کنترلی شبیه سازی کند. این مسئله شامل راه اندازی، نرخ رمپ، حداقل تولید و عملکرد منظم است.

تکنولوژی DT همچنین بینش هایی در مورد سرعت، پایداری، انتشار و تنش ها ارائه کرده و علاوه بر این پیش بینی می کند که با تنظیمات و تغییرات عملیاتی چه محدودیت هایی در سر راه نیروگاه قرار می گیرد.

در ادامه شکل ۵، خلاصه ای از گروه بندی مدل‌های GE را به تصویر کشیده است.



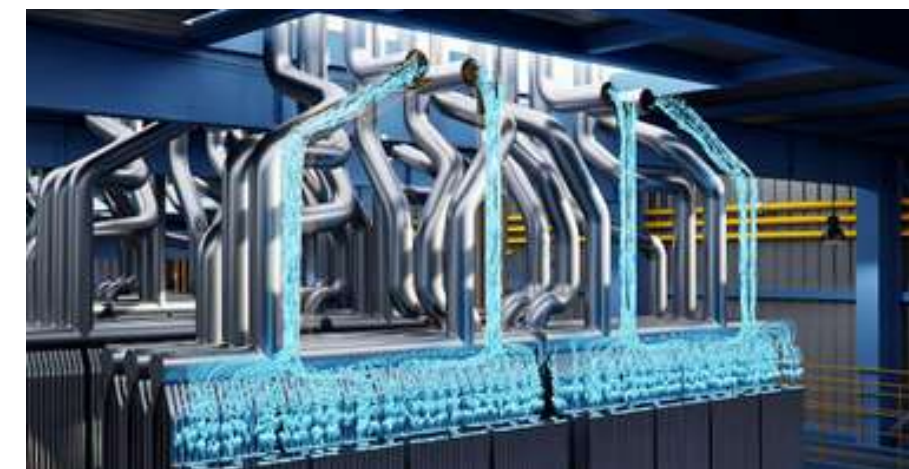
شکل ۵: گروه‌بندی انواع مختلف DT در شرکت GE

۲-۴- شرکت زیمنس انرژی

یکی از کاربردهای همزاد دیجیتال را می‌توان در زمینه بویلرهای بازیافت حرارت (HRSR) یافت. برای مثال بازرسی‌های مرسوم دیواره‌ها و لوله‌ها در HRSR ممکن است تا ۳ هفته به طول بیانجامد و همچنین اینکار به تلاش قابل توجهی نیاز دارد. از اینرو، با داشتن دانش نسبت به محل خوردگی می‌توان هزینه‌ها را در این زمینه تا حدود زیادی کاهش داد. در عین حال، شناسایی خوردگی بسیار پیچیده بوده و به عوامل مختلفی وابسته است. برای مثال باید بدانیم که چه مقدار مایع در بخار وجود دارد و در کجا به لوله‌ها برخورد می‌کند. فاکتورهای اساسی در این خصوص را می‌توان به صورت زیر برشمرد:

- هندسه لوله
- دما
- فشار
- شیمی آب
- جریان جرمی

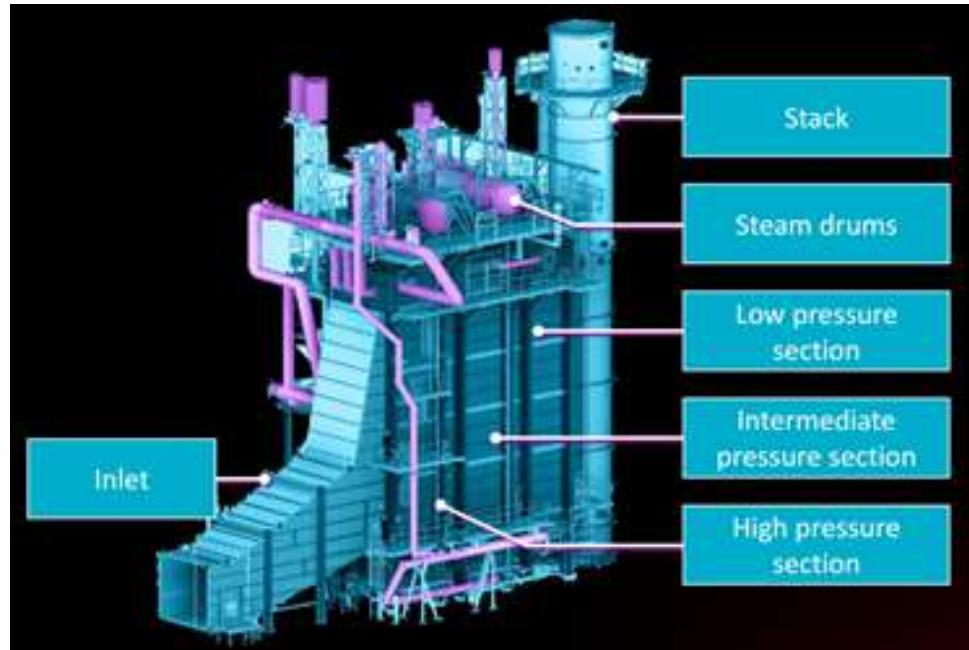
در این شرایط با مدل‌سازی دقیق و ترکیب دانش فیزیک با آخرین فناوری‌های یادگیری ماشین می‌توان به شناسایی شرایط خوردگی تجمعی در لوله‌ها بر اساس داده‌های عملیاتی از تعداد محدودی سنسور پرداخت. زیمنس انرژی تخمین می‌زند که کاهش ۱۰ درصدی متوسط زمان توقف برنامه ریزی شده ۵/۵ روزه برای HRSRها، از جمله برای بررسی ضخامت از دست رفتن دیواره لوله‌ها به دلیل خوردگی، باعث صرفه جویی ۱۷ میلیارد دلاری در سال خواهد شد. در نتیجه این شرکت با بهره‌گیری از پلتفرم NVIDIA Omniverse همزاد دیجیتال را برای پشتیبانی از تعمیر و نگهداری پیشبین نیروگاه‌ها ارائه کرده است. شایان ذکر می‌باشد که در این فناوری، داده‌های بلادرنگ دمای ورودی آب، فشار، pH، توان و دمای توربین گاز، برای محاسبه فشار، دما و سرعت آب و بخار، پیش‌پردازش می‌شوند. فشار، دما و سرعت در اختیار یک مدل ایجاد شده با مازول NVIDIA قرار داده می‌شوند تا دقیقاً نحوه جریان بخار و آب از طریق لوله‌ها در زمان واقعی شبیه‌سازی شود و سپس شرایط جریان در لوله‌ها با NVIDIA Omniverse بازسازی می‌شود.



شکل ۶: پیش‌بینی پیشرفت خوردگی در نیروگاه‌ها توسط DT شرکت زیمنس انرژی

همچنین بایستی توجه داشت که زیمنس انرژی اثرات خوردگی گرما، آب و سایر شرایط را بر روی فلز در طول زمان، شبیه‌سازی می‌کند تا نیازهای تعمیر و نگهداری را به دقت تنظیم کند. پیش‌بینی تعمیر و نگهداری دقیق‌تر با استفاده از مدل‌های یادگیری ماشین می‌تواند به کاهش دفعات بررسی‌های تعمیر و نگهداری کمک کند.

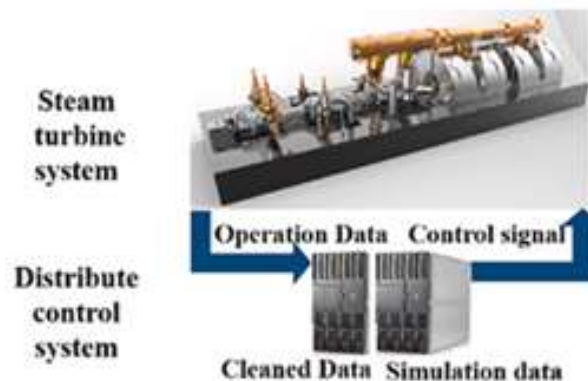
از دیگر نمونه‌های بسط یافته توسط شرکت زیمنس انرژی، همزاد انتقال حرارت (Heat Transfer Twin) با بهره‌گیری از سرویس‌های مبتنی بر وب آمازون (AWS) است که نوعی سرویس یادگیری نظارت نشده (Unsupervised) به شمار می‌رود. در این سرویس داده‌های سنسورهای روی تجهیزات در یک پلنت خاص تجزیه و تحلیل شده و از این داده‌ها برای آموزش خودکار یک مدل یادگیری ماشینی استفاده می‌کند.



شکل ۷: نمایی از همزاد دیجیتال شرکت زیمنس انرژی در HRSR [۲۱]

۳-۴- همزاد دیجیتال دانشگاه تگزاس

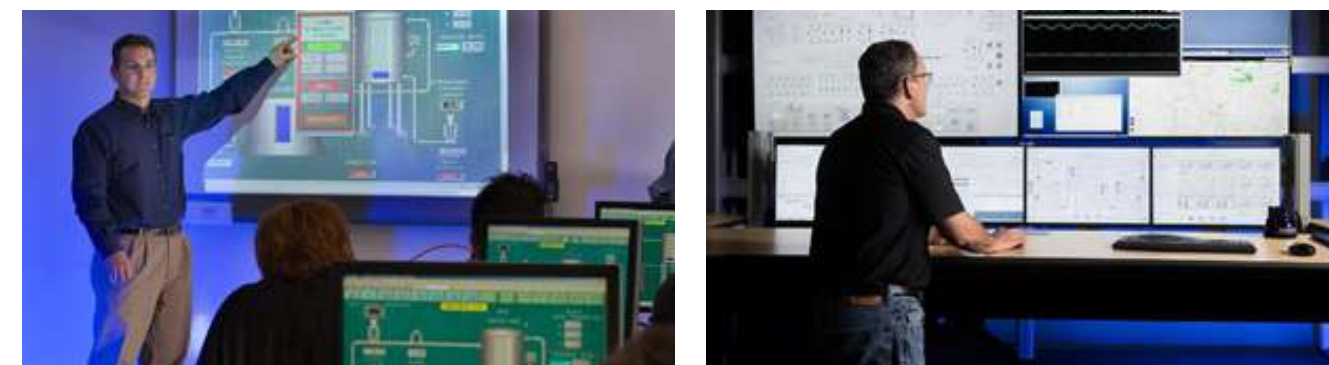
از دیگر موارد استفاده از فناوری همزاد دیجیتال می‌توان به مدل DT برای نیروگاه‌های تولید همزمان برق و حرارت (CHP) اشاره کرد. در این طرح، مدل CHP با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده بدست آمده و مدل‌های اجزای سیستم عملکرد CHP مانند ژنراتور توربین گاز، ژنراتور توربین بخار، ژنراتور بخار بازیابی حرارت و دیگ بخار را پیش‌بینی می‌کنند. در توسعه همزاد دیجیتال CHP سیستمی از معادلات برای شکل دادن مدل، توسعه داده شده و پارامترهای بهینه‌سازی شناسایی می‌شوند. از جمله کاربردهای این طرح می‌توان به کمک در کنترل، بهینه‌سازی و گذار به سوی سوخت‌های تجدیدپذیر اشاره کرد [۲۲].



شکل ۸: همزاد دیجیتال دانشگاه تگزاس

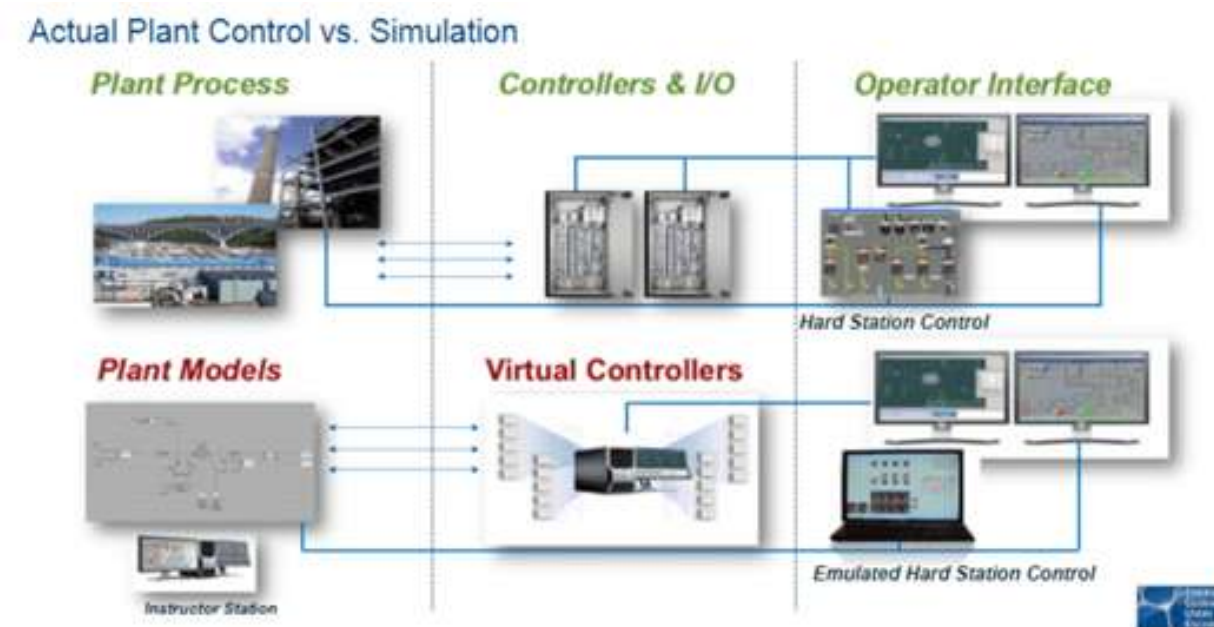
۴-۴- شرکت Emerson

یکی دیگر از موارد مطرح، همزاد دیجیتال Ovation از شرکت Emerson برای شبیه‌سازی و کنترل نیروگاه‌ها است. در Ovation شبیه‌سازی با سیستم کنترل ادغام شده، و هر دو به صورت موازی اجرا می‌شوند تا با آزمایش‌های پیشرفته بلادرنگ، رویکردهای عملیاتی جدید در یک محیط بدون ریسک، قبل از اعمال آنها در پلنت واقعی، امکان‌پذیر شود. از Ovation می‌توان برای اهدافی نظیر آموزش اپراتورها با استفاده از شبیه‌سازی برای پرسنل جدید و یا آموزش مجدد و تأیید صلاحیت اپراتورهای با تجربه‌تر استفاده کرد. همچنین تکنولوژی مذکور می‌تواند به توسعه رویه‌ها با استفاده از شبیه‌سازی و نیز انتقال سیستماتیک دانش کارخانه و فرآیند از اپراتورهای مجرب به کل کارکنان عملیاتی کمک کند. علاوه بر موارد فوق، تست منطق کنترل قبل از اجرای استراتژی‌های کنترلی جدید در سیستم و اطمینان از کارکرد صحیح این استراتژی‌ها موثر می‌باشد، که از این قضیه می‌توان به منظور جلوگیری از تریپ، کاهش هزینه‌های نگهداری، عملیات ایمن‌تر، دسترس پذیرتر بودن سیستم و در نهایت بهبود فرآیند استفاده نمود. با بکارگیری همزاد دیجیتال Ovation، مهندسان قادر به بررسی سناریوهای مختلف و ارزیابی تأثیر تغییرات قبل از سرمایه‌گذاری خواهند شد که این عمل منجر



شکل ۹: همزاد دیجیتال شرکت Emerson [۲۳]

از جمله نمونه های عملی پیاده سازی این همزاد دیجیتال می توان به واحد ۲۸۰ مگاواتی ایستگاه انرژی Rawhide اشاره کرد که در آن با استفاده از همزاد دیجیتال Ovation، ۴۰۰ نفر ساعت آموزش تنها در عرض چهار ماه انجام شده و یا در این واحد با استفاده از اجرای موازی همزاد دیجیتال با پلنت، امکان برنامه ریزی پیشگیرانه برای حوادث محتمل میسر شده است. در نمونه دیگر با شبیه سازی یک نیروگاه سیکل ترکیبی ۳۶۰ مگاواتی متشکل از ۲ توربین گاز GE، ۲ HRSG و ۱ هدر رینگ بخار، در پروژه Con Edison، علاوه بر کمک به کاهش مدت زمان راه اندازی به مدت ۳ ماه، استفاده از این تکنولوژی منطق کنترل جدید را قبل از عملیات برای کارخانه تأیید نمود.

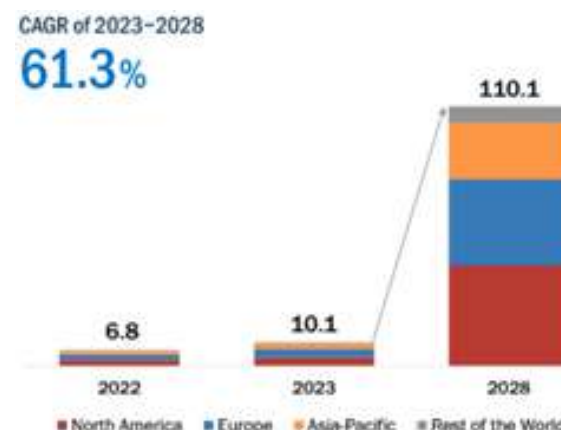


شکل ۱۰: کنترل پلنت واقعی در برابر شبیه سازی

از دیگر موارد مطرح می توان به Maximo Application Suite از شرکت IBM به منظور نگهداشت و شبیه سازی سیستم، همزاد دیجیتال Honeywell برای تجزیه و تحلیل و عیب یابی سیستم، ردیابی KPIها و پیش بینی نام برد، که با توجه به اینکه عملکردی مشابه با سیستم های تشریح شده تا کنون دارند، در اینجا به منظور اختصار به توضیح آنها پرداخته نشده است.

۵- بازار آینده همزاد دیجیتال

با توجه به داده های ثبت شده در سایت MarketsandMarkets میزان بازار تکنولوژی همزاد دیجیتال از نقطه نظر درآمد در سال ۲۰۲۳ تقریباً ۱۰/۱ میلیارد دلار تخمین زده شده است. این در حالی است که آنها انتظار دارند این عدد تقریباً به عدد ۱۱۰/۱ میلیارد دلار با نرخ رشد سالانه ۶۷/۳ درصد در سال ۲۰۲۸ خواهد رسید. در این راستا شکل ۶، با توجه به نقاط مختلف جهان به تخمین درآمد حاصل از تکنولوژی مذکور پرداخته است. با در نظر گرفتن نمودار شکل ۶ میتوان انتظار داشت که محصولات وابسته به تکنولوژی های همزاد دیجیتال در آینده رشد قابل توجهی داشته باشند.



شکل ۱۱: تخمین میزان درآمد حاصل از فناوری DT [۲۴]

۶- جمع بندی و نتیجه گیری

در این مقاله به تشریح تکنولوژی همزاد دیجیتال و بررسی برخی از کاربردهای این تکنولوژی در صنعت نیروگاهی پرداخته شد. با توجه به پیچیده تر شدن فرآیندها و سیستم ها و گسترش قابلیت های مرتبط با فناوری اطلاعات طی دو دهه گذشته، بهره گیری از تکنولوژی های دیجیتال به منظور پیشگیری از بروز مشکلات، آموزش و بهبود فرآیندها روز به روز افزایش یافته است. در مقاله حاضر با بررسی تکنولوژی همزاد دیجیتال، ظرفیت ها و قابلیت های این تکنولوژی به نمایش درآمد. همچنین با ارائه مثال هایی از محصولات عرضه شده توسط برخی شرکت های بزرگ در زمینه صنعت نیروگاهی می توان دریافت که این تکنولوژی به طور موثری در حال بکارگیری در این صنایع بوده و باعث بهبود قابل توجهی در زمینه های مختلف نظیر تعمیرات به موقع، بهبود فرآیندها و سیستم کنترل و نیز آموزش پرسنل شده است. در نهایت نیز با بررسی بازار آینده، میتوان انتظار داشت که این عرصه شاهد سرمایه گذاری های وسیع و پیشرفت بیش از پیش باشد.

مراجع

- [1] Tao, Fei, et al. «Data-driven smart manufacturing.» Journal of Manufacturing Systems 48 (2018): 157169-.
- [2] Errandonea, Itxaro, Sergio Beltrán, and Saioa Arrizabalaga. «Digital Twin for maintenance: A literature review.» Computers in Industry 123 (2020): 103316.
- [3] Liu, Mengnan, et al. «Review of digital twin about concepts, technologies, and industrial applications.» Journal of manufacturing systems 58 (2021): 346361-.
- [4] Leng, Jiewu, et al. «Digital twins-based smart manufacturing system design in Industry 4.0: A review.» Journal of manufacturing systems 60 (2021): 119137-.
- [5] Liu, Xin, et al. «A systematic review of digital twin about physical entities, virtual models, twin data, and applications.» Advanced Engineering Informatics 55 (2023): 101876.
- [6] Sharma, Angira, et al. «Digital twins: State of the art theory and practice, challenges, and open research questions.» Journal of Industrial Information Integration 30 (2022): 100383.
- [7] Sun, Zeyu, Runtong Zhang, and Xiaomin Zhu. «The progress and trend of digital twin research over the last 20 years: A bibliometrics-based visualization analysis.» Journal of Manufacturing Systems 74 (2024): 115-.
- [8] Sun, Zeyu, Runtong Zhang, and Xiaomin Zhu. «The progress and trend of digital twin research over the last 20 years: A bibliometrics-based visualization analysis.» Journal of Manufacturing Systems 74 (2024): 115-.
- [9] Rosen, Roland, et al. «About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing.» Ifac-papersonline 48.3 (2015): 567572-.
- [10] Qi, Qinglin, et al. «Enabling technologies and tools for digital twin.» Journal of Manufacturing Systems 58 (2021): 321-.
- [11] Tao, Fei, et al. «Five-dimension digital twin model and its ten applications.» Comput. Integr. Manuf. Syst 25.1 (2019): 118-.
- [12] Segovia, Mariana, and Joaquin Garcia-Alfaro. «Design, modeling and implementation of digital twins.» Sensors 22.14 (2022): 5396.
- [13] Lv, Zhihan, and Shuxuan Xie. «Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future



research topics.» Digital Twin 1 (2022): 12.

[14] Attaran, Mohsen. «The internet of things: Limitless opportunities for business and society.» Journal of Strategic Innovation and Sustainability Vol 12.1 (2017): 11.

[15] <https://www.researchandmarkets.com>

[16] Attaran, Mohsen. «The internet of things: Limitless opportunities for business and society.» Journal of Strategic Innovation and Sustainability Vol 12.1 (2017): 11.

[17] Shu, Zhaogang, et al. «Cloud-integrated cyber-physical systems for complex industrial applications.» Mobile Networks and Applications 21 (2016): 865878-.

[18] Lv, Zhihan, and Shuxuan Xie. «Artificial intelligence in the digital twins: State of the art, challenges, and future research topics.» Digital Twin 1 (2022): 12.

[19] Marr, Bernard. «What is extended reality technology? A simple explanation for anyone.» Forbes (2019).

[20] https://hi.dcsmodule.com/js/htmledit/kindeditor/attached/2021091681906_20210916172149/.pdf

[21] <https://resources.nvidia.com/en-us-omniverse-industrial-digital-twins/siemens-energy-hrsg>

[22] Novoselac, Atila. «CHP Digital-Twin-Model for Control, Optimization and Transition to Renewable Based Fuels.» (2024).

[23] <https://www.emerson.com/documents/automation/con-edison%E299%80s-east-river-repowering-project-uses-ovation-simulation-to-dramatically-reduce-plant-startup-time-en-us-23408.pdf>

[24] <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/digital-twin-market-225269522.html>

طراحی بویلر صنعتی Elevated Drum

نویسنده: آمنه مومیوند



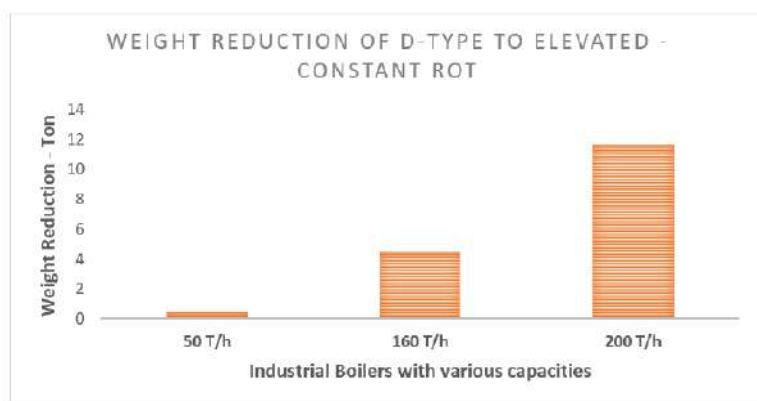
شکل ۱- نمایی از Elevated Drum ساخت شرکت Cleaver Brooks [۲]



شکل ۲- نمونه‌ای از بویلر مدل Elevated در آمریکا و کانادا

تبدیل D-Type Water Tube Boiler به Elevated drum

از بین پروژه‌های پکیج بویلر مپنا بویلر، چندین بویلر با فشار و توناز مختلف برای تبدیل مدل D-Type به Elevated مورد بررسی قرار گرفتند. نکته حائز اهمیت این است که در تمامی این بویلرها در تبدیل به بویلر Elevated، کاهش وزن مشاهده می‌شود (شکل ۳). در ادامه در این مقاله طراحی بویلری با ظرفیت تولید بخار ۲۰۰ T/H که هم ظرفیت تولید بخار بالاتر و از سوی دیگر کاهش وزن بیشتری نسبت به دیگر پروژه‌ها دارد، جهت تبدیل به Elevated Drum مورد بررسی قرار می‌گیرد.



شکل ۳- کاهش وزن در تبدیل به Elevated در بویلرهای صنعتی مپنا بویلر با ظرفیت بخار تولیدی متفاوت و با ثابت نگه داشتن زمان ماند نسبت به مدل D-Type

طرح اولیه بویلر Elevated شده بویلر ۲۰۰ T/H در شکل ۴ مشاهده می‌شود. اگرچه در نگاه اول تبدیل بویلر مدل D-Type به Elevated Drum چندان پیچیده به نظر نمی‌رسد، اما ملاحظات طراحی آن با توجه به حذف دانکامرهای داخلی و حساسیت نسبت به دمای دود خروجی از Bank Pass، جانمایی مناسب و انتخاب تعداد دانکامرهای خارجی، جانمایی مناسب و انتخاب تعداد رایزرها، مدلسازی سیرکولیشن این بویلر، بررسی شاخص‌های طراحی بویلر و همچنین رفتار دینامیکی این بویلر، می‌بایست مورد بررسی قرار بگیرد.

چکیده

در Elevated Drum Industrial Boiler، امکان طراحی و دستیابی به بویلرهایی با زمان ماند بالا در صورت درخواست کارفرما وجود دارد. به ویژه این مدل برای بویلرهای صنعتی فشار بالا که فرآیند ساخت درام بخار آنها به دلیل افزایش ضخامت و محدودیت‌های ماشین‌آلات با مشکل مواجه است، مناسب خواهد بود. علاوه بر موارد ذکر شده که بیشترین کاربرد را در بازار ایران دارند، در بویلرهای صنعتی با ظرفیت بخار تولیدی بالا که ملزم به ساخت کامل در کارخانه هستند، Elevated کردن آن جهت رفع موانع حمل و نقل، گزینه منعطفی می‌باشد. بنابراین در مقاله حاضر ضمن معرفی این نوع بویلر صنعتی، یکی از بویلرهای صنعتی طراحی شده در شرکت مپنا بویلر به Elevated Drum تبدیل می‌شود. طراحی اولیه بویلر Elevated Drum بر مبنای افزایش زمان ماند و همچنین بر مبنای کاهش وزن بویلر ارائه می‌شود که در مقاله حاضر با توجه به اولویت امکان دستیابی به زمان ماند بالا در بویلر Elevated drum به طراحی آن پرداخته و در نهایت میزان کاهش وزن و صرفه اقتصادی آن در تهیه مواد خام بخش فشاری بررسی می‌شود.

مقدمه

چنانچه کارفرما درخواست زمان ماند^۱ بالا برای طراحی درام بخار داشته باشد و این امر در بویلرهای D-Type به دلیل اتصال درام بخار به دسته لوله‌ها باعث افزایش ضخامت درام بخار می‌شود، طراحی Elevated Drum Industrial Boiler امکان دستیابی به زمان ماند بالا بر حسب نیاز مشتریان را فراهم می‌کند. به ویژه در بویلرهای صنعتی فشار بالا که فرآیند ساخت درام بخار آنها به دلیل افزایش ضخامت و محدودیت ماشین‌آلات با مشکل مواجه خواهد بود، طرح سه درامه کردن آن گزینه منعطفی است.

در بازارهای جهانی با توجه به بالا بودن هزینه نصب در سایت و محدودیت‌های حمل و نقل زمینی، در طراحی بویلرهای صنعتی با ظرفیت بالا به ویژه در ظرفیت‌های ۱۰۰-۲۰۰ T/h، در صورت ترجیح مشتری بر تحویل بویلر به صورت Shop Assembled از مدل Elevated استفاده می‌شود.

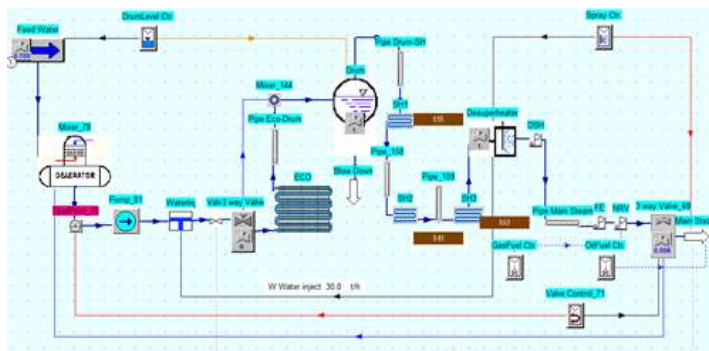
بررسی رفرنس‌های بویلر Elevated drum

شرکت Cleaver Brooks، اولین شرکتی است که Elevated Drum را طراحی و ساخته است (شکل ۱) [۱]. استفاده از Elevated Drum در ظرفیت‌های تولیدی بخار ۱۰۰-۲۰۰ T/h، رفع موانع حمل و نقل، کاهش هزینه و زمان نصب در سایت از جمله مزایا در مورد Elevated Drum می‌باشد [۲].

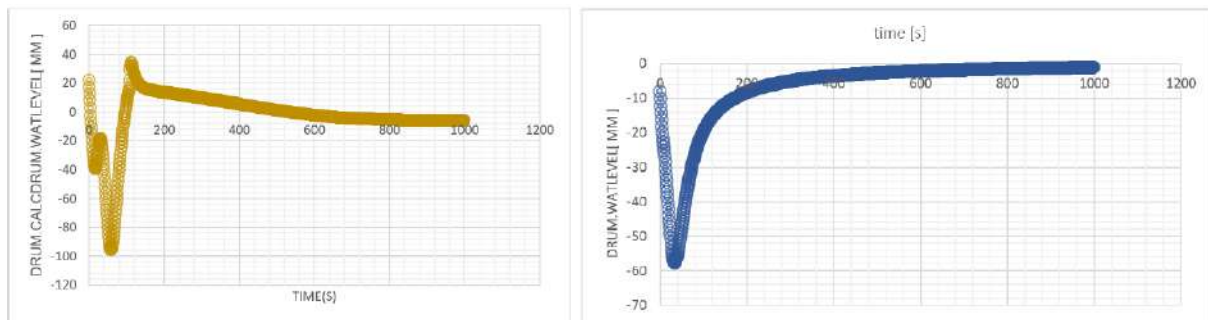
شرکت Babcock & Wilcox دومین شرکت طراح و سازنده Elevated Drum برای زمان ماند ۵ دقیقه و بیشتر است [۳]. نمونه‌هایی از این مدل بویلر در کشور آمریکا و کانادا نصب و راه‌اندازی شده است (شکل ۲).

طراحی مدل دینامیکی بویلر Elevated drum

در این مرحله با طراحی دینامیکی بویلر Elevated drum، به بررسی پدیده Swell در راهاندازی بویلر پرداختیم (شکل ۷). با توجه به ابعاد درام بخار نهایتاً ۱۰ سانتیمتر تغییر سطح آب درام با تغییر دبی محصولات احتراق و تغییر دمای آدیاباتیک شعله ایجاد شد که قابل چشم پوشی می‌باشد (شکل ۸ و ۹).



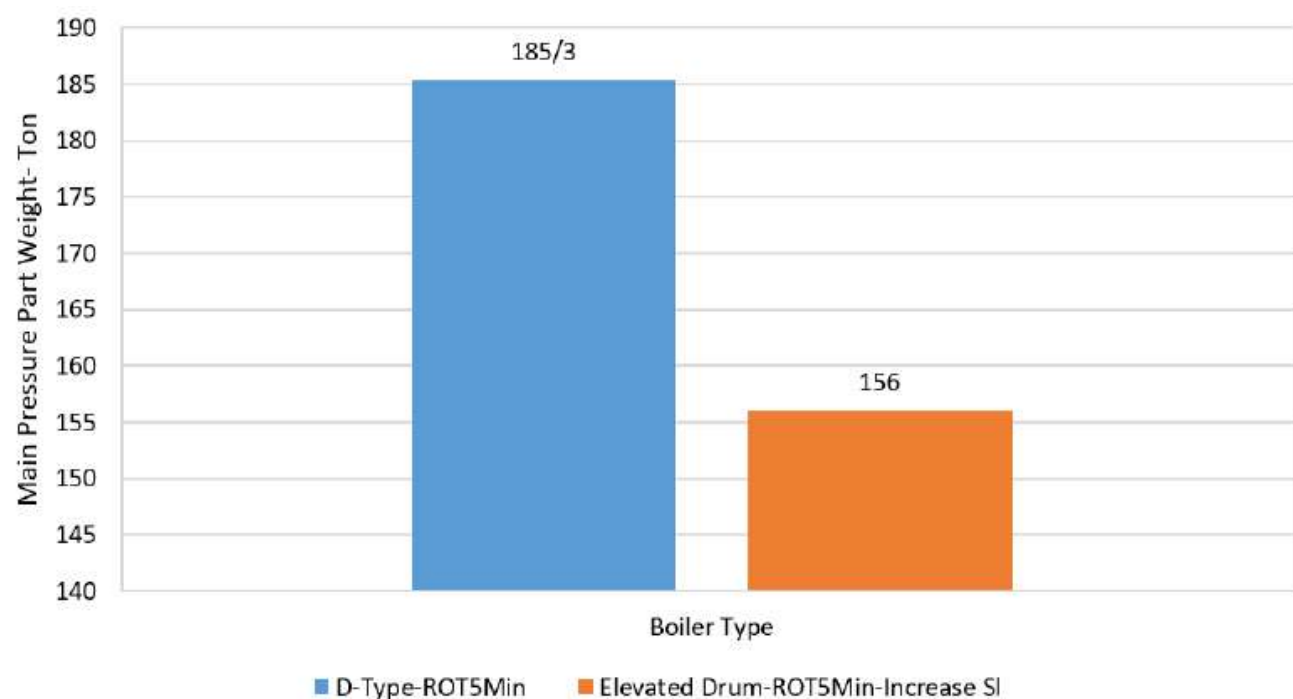
شکل ۷- مدلسازی بخش Water Side



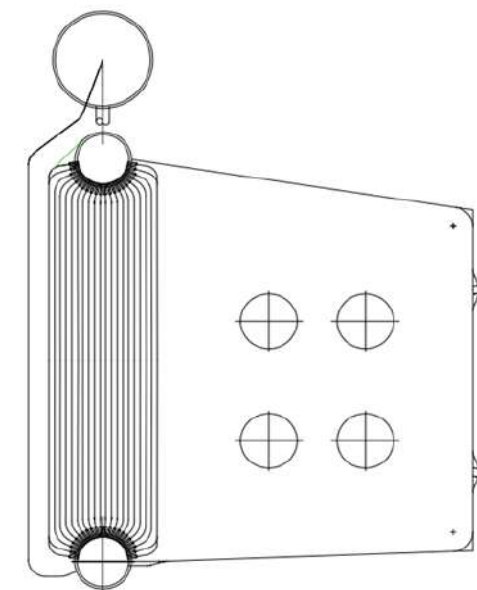
شکل ۸- تغییرات سطح آب درام در راهاندازی بویلر با تغییر دبی محصولات احتراق
شکل ۹- تغییرات سطح آب درام در راهاندازی بویلر با تغییر دمای آدیاباتیک Burner

هزینه تامین مواد خام و وزن بخش فشاری در بویلر Elevated drum

در بویلر طراحی شده با زمان ماند ۵ دقیقه، Down comerهای داخلی را حذف کردیم و چیدمان داخلی ناحیه Bank Pass را تغییر دادیم و با استفاده از مدل‌سازی در نرم‌افزارهای طراحی بویلر صنعتی، وزن بخش فشاری در این بویلر را محاسبه و با مدل D-Type با زمان ماند ۵ دقیقه مقایسه کردیم. مشاهده شد که استفاده از بویلر Elevated drum طراحی شده با زمان ماند ۵ دقیقه نسبت به مدل D-Type با زمان ماند ۵ دقیقه نزدیک به ۲۶ هزار یورو صرفه اقتصادی در هزینه تامین مواد خام دارد. میزان کاهش وزن ناشی از این تبدیل در نمودار شکل ۱۰ آمده است.



شکل ۱۰- نمودار وزن بخش‌های فشاری متاثر مدل‌های مختلف بویلر با زمان ماند ۵ دقیقه



شکل ۴- طرح اولیه بویلر Elevated drum بر اساس افزایش زمان ماند

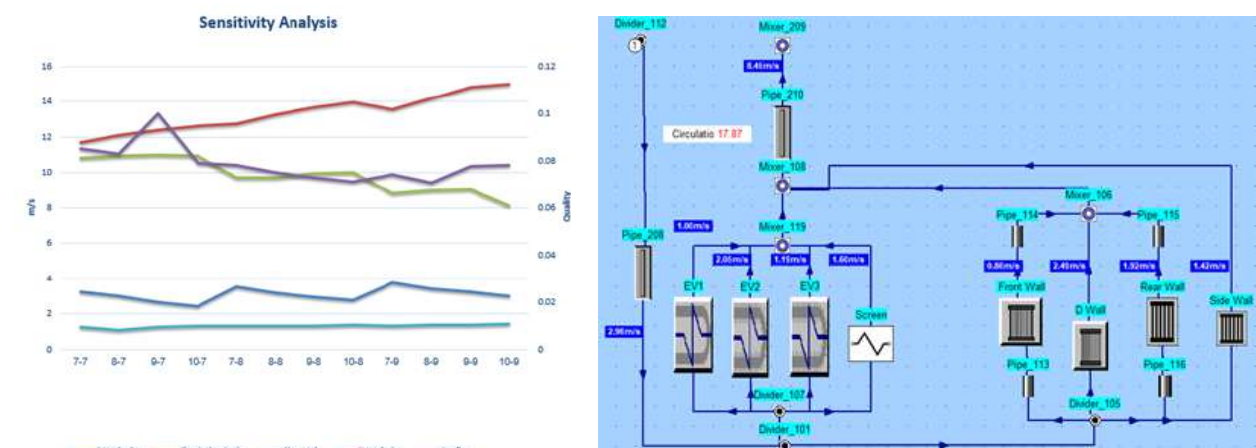
ملاحظات طراحی در بویلرهای Elevated Drum

طراحی درام‌های بویلر Elevated drum

زمان ماند، اجزای داخلی درام بخار جهت جدایش آب و بخار و فرآیندهایی مانند Swell و Shrink از جمله معیارهای طراحی درام بخار بویلر هستند. اصلی‌ترین پارامتر در تعیین سایز درام، زمان ماند است. در بویلرهای Elevated Drum برخلاف بویلرهای D-Type، تنها از External Down comer استفاده می‌شود و اواپراتورها به درام میانی متصل می‌شود و به همین جهت با توجه به افزایش بازده لیگامنت، ضخامت درام بخار تا حد زیادی نسبت به مدل D-Type که در آن تمامی اتصالات ناحیه Convective به درام بخار متصل است، کاهش می‌یابد. در نهایت با توجه به مشخصات سوراخ‌کاری در درام‌ها، دما و فشار طراحی و سایر ورودی‌ها به محاسبه ضخامت درام بخار، درام آب و درام میانی پرداخته می‌شود.

تهیه مدل سیرکولیشن بویلر Elevated drum

یکی از مسایل مهم در بویلرهای درامدار عدد سیرکولیشن و تحلیل آن می‌باشد به گونه‌ای که خنک‌کاری سطوح حرارتی بویلرهای صنعتی که دارای لوله‌هایی با مشخصات هندسی متفاوت و شرایط کارکرد متفاوتی هستند، به خوبی انجام شود [۴] و [۵]. چنانچه دانکامرهای داخلی در مدل D-Type در تبدیل به Elevated drum حذف نشوند، با توجه به کاهش سرعت سیال در داخل آن‌ها از نظر شاخص طراحی بویلر مورد تایید نمی‌باشد. به همین جهت پس از حذف دانکامرهای داخلی، چیدمان اواپراتورها را با افزایش SL تغییر دادیم و در این مرحله با فیندار کردن تعدادی از ردیف‌های اواپراتور دمای دود قبل از ورود به داکت اکونومایزر را به رنج مورد قبول رساندیم. در ادامه پس از مدل‌سازی سیرکولیشن بویلر Elevated drum که از نوع طبیعی می‌باشد [۶] (شکل ۵)، با استفاده از آنالیز حساسیت به انتخاب تعداد External Down comer، تعداد Straight Riser و همچنین تعداد Feederها و Riserها در خلال محاسبات سیرکولیشن پرداخته (شکل ۶) و در نهایت طراحی بویلر به گونه ای انجام شد تا تمامی شاخصهای طراحی بویلر مانند سرعت، شار حرارتی بحرانی، عدد چرخش و در هر مدار در رنج مورد نظر قرار گرفته باشد.



شکل ۶- آنالیز حساسیت در بویلر Elevated drum طراحی شده

شکل ۵- مدلسازی سیرکولیشن بویلر Elevated Drum

در بازار ایران چنانچه کارفرما درخواست زمان ماند بالا (۵ دقیقه یا بیشتر) برای طراحی درام بخار داشته باشد، استفاده از مدل Elevated Drum با توجه به این‌که قطر داخلی درام بخار و ضخامت درام بخار کوچک‌تر از مدل D-Type است، از نظر هزینه تامین مواد خام گزینه برتری است. به ویژه در بویلرهای صنعتی فشار بالا که فرآیند ساخت درام بخار آن‌ها به دلیل افزایش ضخامت و محدودیت ماشین‌آلات با مشکل مواجه خواهد بود، طرح سه درامه کردن آن گزینه قابل ملاحظه‌ای خواهد بود. در این طراحی، وزن بخش فشاری در مدل Elevated Drum با زمان ماند ۵ دقیقه نسبت به مدل D-Type با زمان ماند ۵ دقیقه، می‌تواند تا ۳۰ تن کمتر شود.

در بازارهای جهانی دوشرکت Babcock و Cleaver Brooks با توجه به بالا بودن هزینه نصب و احداث در برخی کشورها همچون آمریکا و محدودیت‌های حمل و نقل زمینی در صورت تمایل کارفرما بر ارسال و تحویل بویلر به صورت Shop Assembled، در طراحی بویلرهای صنعتی با ظرفیت بالا به ویژه در ظرفیت‌های ۲۰۰-T/h^{۱۰۰}، از مدل Elevated استفاده می‌کنند. اما در ایران با توجه به اینکه بیشتر پروژه‌ها در محل سایت ساخته می‌شوند، محدودیت‌های حمل و نقل زمینی اولویتی برای انتخاب نوع بویلر نخواهد بود.

مراجع

- [1]CleaverBrooks, "cleaverbrooks.com/."
- [2]V. Ganapathy, Steam Generators. 2014. doi: 10.1201/b175196-.
- [3]Babcock & Wilcox, "www.babcock.com/home/products/package-boilers/."
- [4]B. & Wilcox, Steam, 41st ed.
- [5]V. Ganapathy, "Boiler circulation calculations," no. January, 1998.
- [6]M. M. L. Atul M Elgandelwar, R S Jha, "Study of circulation ratio for natural circulation in water-tube boiler at different operating conditions," 2020, doi: 10.1088/012026/1/1473/6596 1742/.

مدلسازی مسیر انتقال پساب فرآیند الکترودیونیزاسیون با روش CFD و ارزیابی پیامدهای رهایش هیدروژن موجود در آن با نرم افزار PHAST

حسین کریمی، یوسف کاظمیان، زهرا منصوری



چکیده

آخرین مرحله‌ی تولید آب دمین در واحدهای تصفیه‌ی آب، فرآیند الکترودیونیزاسیون یا EDI^۱ است. در این فرآیند با اعمال جریان برق به صفحات آند و کاتد که آب از بین آنها عبور می‌کند و به کمک رزین‌های تبادل یونی و ممبران‌های دارای خاصیت انتخاب یون^۲، ذرات باردار موجود در آب حذف و آب خالص^۳ تولید می‌گردد. واکنش‌های کاهشی که بر روی کاتد روی می‌دهند منجر به تشکیل گاز هیدروژن می‌گردد و گاز تولید شده همراه با جریان پساب از این فرآیند خارج و به مخزن ذخیره سازی منتقل می‌گردد. تولید گاز هیدروژن در این فرآیند به علت اشتعال‌پذیری بالا و خطرات احتمالی ناشی از آن چالشی اساسی حساب می‌شود و تحلیل دقیق چگونگی حرکت سیال در مسیر منتهی به مخزن، تجمع گاز هیدروژن در داخل مخزن و انتشار آن در اطراف مخزن برای مدیریت ایمنی و کنترل خطرات ضروری است. در این پژوهش ابتدا مسیر منتهی به مخزن با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی^۴ (CFD) و در نرم افزار ANSYS FLUENT با یک مدل دو فاز به همراه سه سیال آب، هیدروژن و هوا مدلسازی شد و پس از اطمینان از عدم تجمع گاز در داخل مخزن تحلیل دقیق رفتار انتشار گاز در اطراف ونت^۵ با استفاده از نرم افزار PHAST به عنوان یک ابزار پیشرفته برای مدل سازی و ارزیابی مخاطرات فرآیندی انجام شد.

نتایج حاصل از این ارزیابی طرحی دقیق برای چگونگی انتقال پساب فرآیند EDI و رهاسازی گاز هیدروژن موجود در این پساب به محیط ارائه نمود.

واژه‌های کلیدی

الکترودیونیزاسیون، دینامیک سیالات محاسباتی، رهاسازی هیدروژن، PHAST

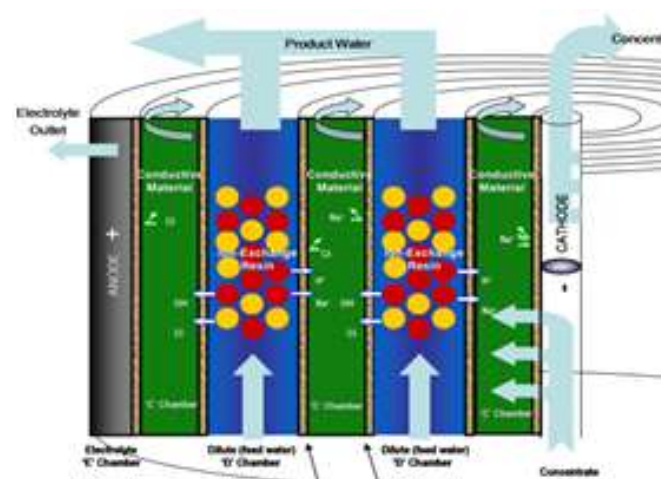
مقدمه

هیدروژن در بین گازها، کمترین چگالی را داراست. از این رو، گاز هیدروژن دارای نیروی شناوری بالایی بوده و تمایل دارد سریعاً در هوا نفوذ کند و با آن مخلوط قابل اشتعال تشکیل دهد. فرایند EDI یک تکنولوژی پیشرفته برای تولید آب خالص است که ترکیبی از تبادل یونی و الکترودیالیز را به کار می‌گیرد و بطور گسترده در صنایع مختلف از جمله تولید انرژی، الکترونیک و داروسازی استفاده می‌شود.

این فرآیند شامل رزین‌های تبادل یونی است که یون‌های محلول در آب را جذب می‌کنند. یون‌های جذب شده تحت یک میدان الکتریکی به سمت الکترودهای با بار مخالف حرکت می‌کنند و در این مسیر غشاهای انتخاب پذیر، یون‌ها را به سمت جریان پساب منتقل می‌کنند. میدان الکتریکی مورد اشاره با تجزیه‌ی آب به یون‌های H⁺ و OH⁻ رزین‌ها را برای جداسازی مجدد ناخالصی از آب احیاء می‌نمایند. شکل ۱ شماتیکی از فرآیند الکترودیونیزاسیون را نمایش می‌دهد.

فرآیند الکترولیز آب که در سطح کاتد اتفاق می‌افتد منجر به تولید مقادیری گاز هیدروژن می‌گردد که همراه با جریان پساب از تجهیز EDI خارج می‌شود.

- ۱ Electro-Deionization
- ۲ Ion-Selective Membrane
- ۳ Demin Water
- ۴ Computational Fluid Dynamics
- ۵ Vent



شکل ۱: شماتیکی از فرآیند الکترو دیونیزاسیون [۱].

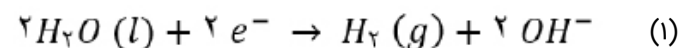
جریان پساب به سمت مخزن ذخیره منتقل می‌شود و در شرایطی که ظرفیت تولید آب خالص بالا باشد، دبی گاز هیدروژن تولیدی نیز قابل توجه خواهد بود و تجمع آن در مخزن ذخیره می‌تواند پیامدهای خطرناکی به دنبال داشته باشد. همچنین رهاسازی آن به جو می‌تواند باعث ایجاد یک ابر قابل اشتعال پیرامون لوله‌ی ونت شود [۲]. هیدروژن دارای محدوده‌ی اشتعال‌پذیری وسیعی است (۴ تا ۷۵٪) و انرژی لازم برای شروع اشتعال در آن در حدود ۰/۰۱۹ MJ می‌باشد [۳]. این مقدار انرژی، از انرژی مورد نیاز برای احتراق متان (۰/۲۹ MJ) و بنزین (۰/۲۴ MJ) کمتر است [۴،۵]. بر همین اساس، هنگامی که هیدروژن به محیط بیرون رها می‌شود، با تشکیل ترکیب قابل اشتعال، هر لحظه ممکن است شعله ور گردد. مقالات و استانداردهای زیادی به تحلیل چگونگی انتشار گاز هیدروژن خروجی از مسیر ونت و الزامات مربوط به آن در سیستم‌های تولید و انتقال این ماده پرداخته‌اند اما تاکنون درخصوص چگونگی انتقال و ذخیره‌سازی پساب فرآیند تولید آب دمین و رهاسازی گاز هیدروژن محلول در آن مطالعه‌ای صورت نگرفته است [۶].

در این مقاله با مطالعه‌ی الکترو لیز آب در فرآیند EDI و ارزیابی هیدرولیکی و دینامیکی مسیر انتقال پساب حاصل از آن، رفتار گاز هیدروژن موجود در این جریان ارزیابی و مسیر به گونه‌ای طراحی خواهد شد که از ورود و تجمع گاز در داخل مخزن جلوگیری شود. سپس روش تصمیم‌گیری برای طراحی ایمن بخش رهاسازی گاز هیدروژن ارائه می‌شود و درخصوص روش‌های مختلف کاهش خطر بحث می‌شود. دلایل اشتعال گاز هیدروژن رهاسازی شده مطرح و نحوه‌ی کاهش احتمال ایجاد جرقه شرح داده می‌شود. در انتها به کمک نرم افزار PHAST پیامدهای احتمالی ناشی از ایجاد ابر هیدروژنی در اطراف خط ونت آن بررسی می‌گردد.

۲. محاسبات و مدل‌سازی

۲/۱. محاسبه‌ی دبی هیدروژن تولیدی

با عبور جریان الکتریکی از محلول موجود بین صفحات آند و کاتد، الکترو لیز اتفاق می‌افتاد و آب به عنوان الکترولیت به اجزای خود تجزیه می‌شود. این فرآیند در سطح کاتد منجر به تولید گاز هیدروژن مطابق با واکنش زیر می‌گردد:



بر اساس قانون فارادی، مقدار ماده‌ی تولید شده در الکترو د مستقیماً با مقدار بار الکتریکی که از محلول عبور می‌کند متناسب است. به عبارت دیگر، میزان هیدروژن تولیدی به مقدار جریان الکتریکی اعمال شده وابسته است و بر اساس معادله‌ی زیر قابل محاسبه است:

$$n = \frac{I \times t}{F \times z} \quad (2)$$

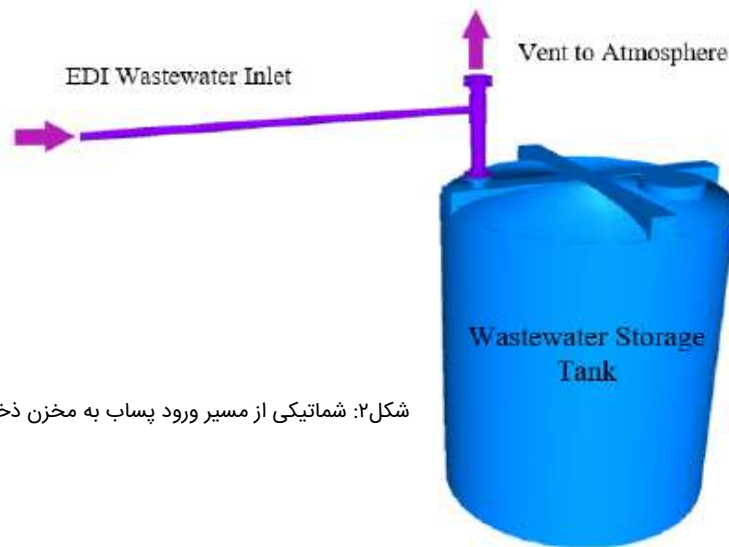
با ترکیب معادله‌ی ۲ با قانون گاز ایده آل، دبی حجمی گاز هیدروژن تولیدی در این فرآیند از معادله‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$\dot{V} = \frac{I}{F \times z} \times \frac{R \times T}{P} \quad (3)$$

ماکزیمم جریان مصرفی در فرآیند EDI برابر با ۱۳ آمپر و دمای محیط مورد مطالعه ۳۶ درجه سانتیگراد است. مقدار فشار در محل ورود جریان به مخزن در بخش ۲/۲ محاسبه خواهد شد.

۲/۲. طراحی خط انتقال جریان پساب

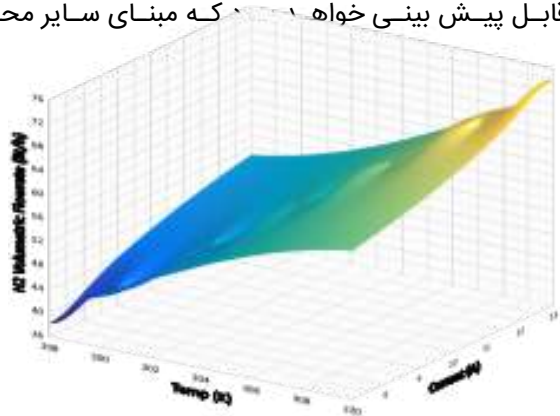
گاز هیدروژن تولید شده در فرآیند همراه با جریان پساب به سمت مخزن ذخیره‌سازی حرکت می‌کند. به‌منظور جلوگیری از ورود و تجمع گاز در درون مخزن، مسیر افقی انتقال جریان به یک لوله در راستای عمودی متصل می‌گردد که امکان رهاسازی گاز هیدروژن موجود در جریان را فراهم می‌نماید. شماتیکی از این مسیر و مخزن ذخیره‌سازی در شکل ۲ ارائه شده است.



شکل ۲: شماتیکی از مسیر ورود پساب به مخزن ذخیره‌ساز.

نتایج حاصل از محاسبات مکانیک سیالات خط لوله‌ی انتقال پساب که با استفاده از نرم افزار Pipe Flow Expert انجام شده است حکایت از افت فشار ناچیز در مسیر انتقال جریان و اتمسفریک بودن خط لوله در نزدیکی محل ورود جریان به مخزن دارد.

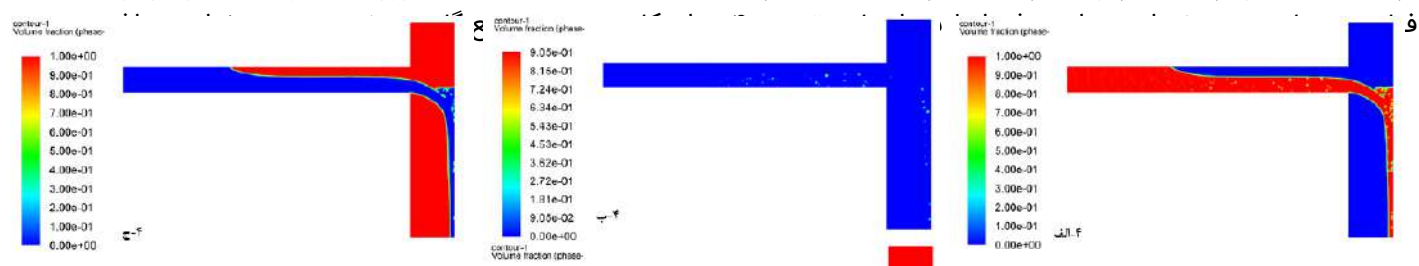
بر این اساس دبی گاز هیدروژن در محل ونت ورودی به مخزن با استفاده از معادله‌ی ۳ و در رنج جریان الکتریکی قابل اعمال و دمای محیط پروژه محاسبه و در شکل ۳ ارائه شده است. بر اساس این تصویر ماکزیمم دبی ۷۵ lit/hr برای گاز هیدروژن تولید شده در این فرآیند قابل پیش‌بینی خواهد که مبنای سایر محاسبات قرار خواهد گرفت.



شکل ۳: دبی حجمی گاز هیدروژن تولیدی در فرآیند EDI

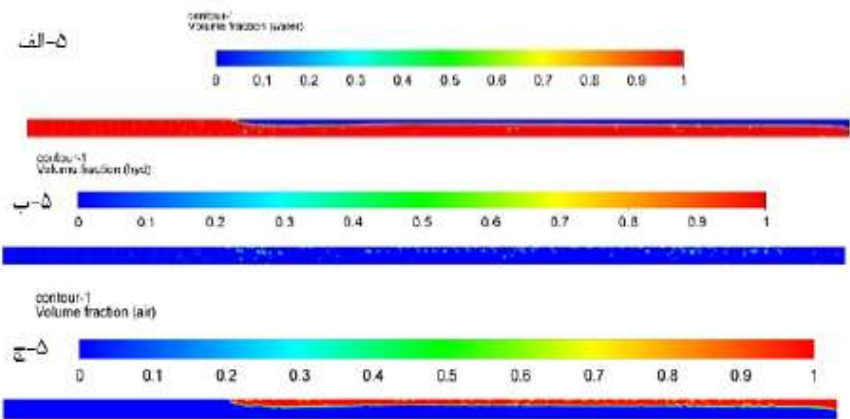
در ادامه با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و به کمک نرم افزار ANSYS Fluent و بکارگیری یک مدل دو فازي شامل سه سیال آب، هیدروژن و هوا رفتار سیال در نزدیکی محل ورود جریان به مخزن مدل‌سازی شد.

بر اساس اطلاعات ارائه شده در شکل ۴، مدل‌سازی ریاضی خط لوله نشان می‌دهد در صورتی که طول مستقیم لوله در نزدیکی محل ریزش کمتر از ۱ متر باشد، فرصت کافی برای تشکیل حباب و انتقال هیدروژن محلول به فاز گاز در بخش دو



شکل ۴: شکل Contour توزیع فاز در شرایطی که طول مستقیم لوله‌ی افقی کمتر از ۱ متر است برای: (الف) مایع آب، (ب) گاز هیدروژن، (ج) گاز هوا

در حالی که بر اساس شکل ۵ با افزایش طول مسیر افقی به ۳ متر، بخش دو فازي جریان به اندازه‌ای در طول لوله گسترش خواهد یافت که فرصت کافی جهت تشکیل حباب هیدروژن در فاز مایع و انتقال این ماده از آب به فاز گاز مهیا می‌گردد. بر اساس شکل ۵-ب در این شرایط اثری از گاز هیدروژن در آب ورودی به مخزن مشاهده نمی‌شود و امکان تجمع



شکل ۵: شکل Contour توزیع فاز در شرایطی که طول مستقیم لوله‌ی افقی برابر با ۳ متر است برای: (الف) مایع آب، (ب) گاز هیدروژن، (ج) گاز هوا

بر اساس نتایج حاصل از این محاسبات و برای انتقال جریان پساب سیستم به مخزن از یک خط لوله‌ی افقی با قطر داخلی ۵۷ میلی‌متر و طول افقی ۳ متر استفاده شد. این مسیر در انتها به یک لوله‌ی عمودی با قطر داخلی ۹۹۴ میلی‌متر متصل می‌شود که امکان ریزش آب عاری از گاز هیدروژن به داخل مخزن و رهاسازی هیدروژن به اتمسفر را فراهم می‌نماید.

با توجه به نکات فوق، روش طراحی خط ونت گاز هیدروژن بر اساس فلوجارت نمایش داده شده در شکل ۶ ارائه می‌شود. برای طراحی سیستم رهاسازی گاز هیدروژن، ابتدا دبی گاز و مدت زمان رهاسازی آن مورد بررسی قرار می‌گیرد. اگر مدت زمان رهاسازی کوتاه و یا دبی آن مقدار کمی باشد، رهاسازی بدون نیاز به تمهید خاصی انجام می‌گیرد. اگر مقدار دبی زیاد باشد و یا زمان رهاسازی طولانی باشد، باید به فکر سوزاندن گاز هیدروژن افتاد [۶،۷]. اگر شعله‌ورسازی هیدروژن در محیطی که رهاسازی گاز انجام می‌گیرد، مجاز نباشد، آنگاه باید گاز هیدروژن خروجی از لوله را با یک گاز بی اثر رقیق ساخت [۸]. اگر رقیق‌سازی گاز هیدروژن امکان‌پذیر نباشد، باید تمهیدی برای جلوگیری از ورود شعله به داخل لوله اندیشید. چنین روندی در مقاله‌ی پیش رو برای رهاسازی گاز هیدروژن در مخزن EDI Reject مورد بررسی قرار می‌گیرد و در نهایت تصمیم نهایی برای طراحی سیستم رهاسازی گاز هیدروژن اتخاذ می‌گردد.

شکل ۶: فلوجارت جهت طراحی سیستم ایمن رهاسازی گاز هیدروژن

۲.۳. رهاسازی مستقیم هیدروژن

همانطور که پیشتر اشاره شد ابتدا باید دبی گاز رهاسازی و مدت زمان رهاسازی گاز مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس اطلاعات ارائه شده در جدول ۱، دبی حجمی گاز هیدروژن که باید به محیط رها شود ۷۵ Lit/hr است. این مقدار دبی باید در تمام مدتی که سیستم تولید آب دمین در حال کار است، به محیط بیرون ونت شود.

جدول ۱: اطلاعات فرآیندی گاز هیدروژن رها شده به محیط

مشخصه	مقدار
فشار سیال	۱ bara
دمای سیال	۳۶ °C
دبی حجمی گاز هیدروژن تولید شده به عنوان محصول جانبی	۷۵ Lit/hr

روش ایده‌آل برای ونت گاز هیدروژن رقیق‌سازی آن با یک گاز بی اثر است. این رقیق‌سازی باید به صورتی انجام گیرد که ترکیب حاصل همواره در همه زمان ها غیر قابل اشتعال باشد. متأسفانه این روش برای رهاسازی طولانی مدت گاز هیدروژن در شدت جریان های بالا عملی نیست. ایجاد یک مخلوط کاملاً بی اثر، یکی از راه هایی است که از تشکیل ترکیب گاز اشتعال‌پذیر در هنگام مخلوط شدن گاز هیدروژن با هوای بیرون جلوگیری می‌کند. دلیل آن این است که نسبت گاز بی اثر(نیتروژن) به هیدروژن در این ترکیب به اندازه کافی بالا می‌باشد. با فراهم کردن مقدار کافی از گاز بی اثر ، هنگامی که هیدروژن رها می‌شود، در هنگام مخلوط شدن با هوا در هر نسبتی، یک ترکیب کاملاً غیر اشتعال پذیر ایجاد خواهد شد. بر اساس رابطه‌ای که بودروتا^۲ در سال ۱۹۸۰ ارائه داد، حداکثر غلظت هیدروژن در مخلوط نیتروژن/هیدروژن می‌تواند از رابطه ۴ تخمین زده شود[۱۱].

$$C_{max} = \frac{C_{Air} \times C_{LFL}}{(C_{Air} - C_{moc})} \quad (۴)$$

C_{max} بیانگر حداکثر غلظت هیدروژن در مخلوط نیتروژن/هیدروژن است که هنگام رقیق شدن با هوا غیرقابل اشتعال خواهد بود. C_{Air} غلظت اکسیژن در هوا، C_{iff} غلظت محدوده‌ی پایین اشتعال‌پذیری هیدروژن و C_{moc} حداقل غلظت اکسیژن برای احتراق جزء قابل اشتعال (هیدروژن) در مخلوط است. از آنجا که غلظت محدوده‌ی پایین اشتعال‌پذیری برای هیدروژن برابر با ۴٪ حجمی و حداقل غلظت اکسیژن برای احتراق ۵٪ است، لذا با جایگذاری این مقادیر در رابطه‌ی فوق، حداکثر غلظت هیدروژن مجاز به دست خواهد آمد.

$$C_{max} = \frac{۲۰,۸ \times ۴}{(۲۰,۸ - ۵)} = ۵,۲۶\%$$

بنابراین برای رسیدن به غلظت مورد نظر، به یک جریان گاز بی اثر (نیتروژن) با دبی حجمی حدود ۲۰ برابر دبی هیدروژن نیاز خواهد بود تا از تشکیل ترکیب اشتعال پذیر جلوگیری به عمل آید[۱۰]. در مخزن EDI Reject ، دبی حجمی هیدروژن رها شده به محیط بیرون ۷۵ lit/hr می‌باشد. اگر ۲۰ برابر این مقدار گاز نیتروژن جهت رقیق‌سازی گاز هیدروژن رها شده به محیط مورد استفاده قرار گیرد، در حدود ۰/۴۲ lit/s نیتروژن گازی در شرایط نرمال مورد نیاز خواهد بود. دانسیته‌ی گاز نیتروژن در دما و فشار محیط برابر با ۱/۱ kg/m^۳ است[۱۲] که با یک محاسبه ی ساده، مقدار جرمی نیتروژن مورد نیاز برای رقیق‌سازی برابر خواهد بود با:

$$m_{N2} = \rho_{N2} \times F_{N2} = ۱,۱ \frac{kg}{m^3} \times ۴,۲ \times ۱۰^{-۴} \frac{m^3}{s} \cong ۴,۶۲ \times ۱۰^{-۴} \frac{g}{s} = ۰,۴۶۲ \frac{g}{s}$$

کپسول‌های معمولی حاوی گاز نیتروژن فشرده عموماً موجود در بازار دارای فشار ۱۵۰ bar و حجم ۵۰ lit هستند. این کپسول در حدود ۸ کیلوگرم نیتروژن گازی را در خود جای می‌دهد. بنابراین یک کپسول حاوی گاز نیتروژن فشرده اگر برای رقیق‌سازی گاز هیدروژن مورد استفاده قرار گیرد، در طول مدت حدود ۵ hr به صورت کامل مصرف خواهد شد:

$$t = \frac{۸۰۰۰ g}{۰,۴۶۲ g} = ۱۷۳۱۶ s \approx ۵ hr$$

این حجم زیاد از نیتروژن مورد نیاز سبب می‌شود که ایده‌ی رقیق‌سازی گاز هیدروژن منتفی شود. رقیق‌سازی با حجم زیادی از هوا نیز قابل انجام است[۱۱]، اما باید به این نکته توجه داشت که این راه حل به عنوان آخرین گزینه برای رقیق‌سازی مطرح است. دلیل این امر به حجم بسیار زیاد هوای مورد نیاز مربوط می‌شود. رقیق‌سازی با هوا باید تا ۲۵٪ محدوده‌ی اشتعال‌پذیری هیدروژن انجام بگیرد[۱۱]. از آنجا که محدوده‌ی اشتعال‌پذیری هیدروژن ۴٪ است، لذا رقیق‌سازی آن باید توسط جریان هوایی با دبی حجمی در حدود ۱۰۰ برابر دبی گاز هیدروژن انجام بگیرد. استفاده از دمنده‌های بزرگ می‌تواند حجم مخلوط قابل اشتعال را به حداقل برساند، اما تشکیل جو قابل اشتعال در طول دوره‌ی رقیق‌سازی غیرقابل اجتناب است و چنین روشی نمی‌تواند به عنوان یک روش ایمن جهت کاهش خطر اشتعال هیدروژن معرفی شود[۱۱]. بنابراین ایده‌ی رقیق‌سازی گاز هیدروژن به نظر کاری غیر منطقی و هزینه بر خواهد بود.

اما از آنجا که هیدروژن بسیار اشتعال‌پذیر است و امکان اشتعال آن همواره وجود دارد، از این رو باید تمهیدات ایمنی خاصی برای آن در نظر گرفت.

۲/۴. طراحی سیستم ونت هیدروژن به محیط

شعله‌ور شدن گاز هیدروژن خروجی از خط ونت گاز معمولاً با فعالیت‌های الکتریکی جو همراه است. به همین دلیل هنگامی که احتمال وقوع رعد و برق وجود دارد، می بایست تمهیداتی اندیشیده شود تا از خطرات ناشی از ایجاد اشتعال جلوگیری شود [۱۱]. به دلیل حساسیت بسیار بالای هیدروژن به جرقه و انرژی بسیار پایین مورد نیاز برای اشتعال آن، رعد و برق دلیل اصلی اشتعال گاز هیدروژن رها شده به محیط نیست و به وسیله‌ی عوامل بسیار ضعیف‌تر از آن نیز امکان اشتعال هیدروژن وجود دارد. معمولاً تخلیه‌ی کرونا^۶ از انتهای لوله‌ی رهاسازی گاز، برای شروع اشتعال هیدروژن کافیست. تخلیه‌ی کرونا هنگامی ایجاد می‌شود که میدان الکتریکی افزایشی در هوا وجود داشته باشد. وقتی که یک الکتروود (در اینجا منظور همان لوله‌ی ونت است) دارای یک اختلاف پتانسیل نسبت به محیط باشد، پدیده تخلیه‌ی کرونا می‌تواند اتفاق بیفتد[۱۳] که این تخلیه با شعاع لوله‌ی ونت رابطه دارد. کراس^۸ در سال ۱۹۸۷، آستانه‌ی میدانی را که باید در یک نقطه با شعاع ۲ وجود داشته باشد تا تخلیه‌ی کرونا اتفاق بیفتد را در رابطه ۵ ارائه داده است[۱۱].

$$E_c = \frac{18}{r^{1/2}} \quad (۵)$$

که E_c آستانه‌ی میدان بر حسب ۱-kV/cm و r شعاع لوله بر حسب cm است. محاسبه‌ی اختلاف پتانسیل مورد نیاز برای تولید آستانه‌ی میدان در بیشتر موارد پیچیده است، اما برای هندسه‌های ساده امکان محاسبه‌ی آن وجود خواهد داشت. در مورد یک خط ونت گاز، نوک لوله می‌تواند به عنوان یک نقطه‌ی منفرد برای تخلیه و لایه‌ی توده‌ی هوای بالای آن می‌تواند به عنوان یک صفحه مسطح فرض شود[۱۴،۱۵]. برای انجام محاسبه‌ی تقریبی، فرض می‌شود که پتانسیلی که باید بین یک نقطه‌ی تخلیه و یک صفحه اعمال شود تا میدان E_c ایجاد شود، مستقل از فاصله‌ی آن با زمین است و از رابطه‌ی ۶ بدست می‌آید:

$$E_c = \frac{V_s}{r} \quad (۶)$$

که E_c میدان الکتریکی‌ای است که تخلیه‌ی بار در آن رخ خواهد داد. V_s پتانسیل الکتروود بر حسب kV و r شعاع انحنای بر حسب cm است. با ترکیب دو رابطه‌ی فوق، ولتاژ مورد نیاز برای تخلیه کرونا به صورت رابطه‌ی ۷ بدست خواهد آمد:

$$V_s = 18\sqrt{r} \quad (۷)$$

گرادیان پتانسیل در شرایط مختلف آب و هوایی در جدول ۲ آورده شده است[۱۴]:

جدول ۲: گرادیان پتانسیل در شرایط مختلف آب و هوایی[۱۴]

شرایط آب و هوایی	گرادیان پتانسیل (ولت بر متر)
هوای صاف و ابری	۱۰۰-۲۰۰
روز ابری	۳۰۰-۵۰۰
روز برفی	۵۰۰-۸۰۰
بارندگی کم	۶۰۰-۱۰۰۰
بارندگی سنگین	۱۰۰۰-۳۰۰۰
طوفان رعد و برق	۵۰۰۰-۱۰،۰۰۰
هوای مه آلود	۲۰۰-۴۰۰
آب و هوای طوفانی و پرباد	۲۰۰-۱۰۰۰

در حالت عادی، در شرایط آب و هوایی صاف و ابری، گرادیان پتانسیل در حدود ۱۰۰ V/m است. یک لوله با ارتفاع ۱۰ m در اثر میدان الکتریکی، اختلاف پتانسیلی طبق رابطه ۸ بدست خواهد آورد:

$$10 \text{ m} \times 100 \text{ v/m} = 1000 \text{ V} = 1 \text{ kV} \quad (۸) \quad \text{اختلاف پتانسیل} = \text{گرادیان پتانسیل} \times \text{ارتفاع}$$

ولتاژ بحرانی برای شروع تخلیه‌ی کرونا از یک خط ونت گاز با شعاع موثر ۱ mm به صورت زیر است[۱۱]:

$$V_s = 5.69 \text{ k} \rightarrow V_s = 18\sqrt{r} = 18\sqrt{0.1}$$

در صورتی که اختلاف پتانسیل ایجاد شده در شرایط آب و هوایی مد نظر از اختلاف پتانسیل بحرانی بیشتر باشد امکان تخلیه کرونا وجود دارد. همان طور که در محاسبات بالا آورده شده است مقدار محاسبه شده برای آب و هوای صاف و ابری کمتر از ولتاژ بحرانی برای شروع کرونا برای قطر لوله با شعاع ۱ mm است لذا تخلیه‌ی کرونا اتفاق نخواهد افتاد. ولتاژ بحرانی برای تخلیه‌ی کرونا در قطرهای مختلف خط ونت گاز هیدروژن در شکل ۷ رسم شده است.

شکل ۷- ولتاژ بحرانی برای ایجاد تخلیه کرونا در قطرهای مختلف ونت هیدروژن

بر اساس شکل ۴، با افزایش قطر لوله از ۱ mm تا ۱ cm، ولتاژ بحرانی برای ایجاد تخلیه‌ی کرونا تا ۳/۲ برابر افزایش می‌یابد. همانطور که محاسبه شد، اختلاف پتانسیل ایجاد شده در یک لوله ی ۱۰ متری در شرایط آب و هوای صاف و ابری برابر با ۱ kV است. بنابراین فاصله‌ی بین اختلاف پتانسیل ایجاد شده در لوله با قطر ۱ cm و اختلاف پتانسیل لازم برای ایجاد کرونا حدود ۱۸ برابر خواهد شد و احتمال ایجاد جرقه به صفر می‌رسد. در شرایط آب و هوای برفی، میدان الکتریکی در خط ونت با قطر ۱ mm و ارتفاع ۱۰ m می‌تواند تا ۸ kV/m افزایش یابد[۱۱].

از این رو، تخلیه‌ی کرونا در آب و هوای برفی اتفاق خواهد افتاد. باید توجه داشت که اختلاف پتانسیل متناسب با ارتفاع ونت گاز است، بنابراین با افزایش ارتفاع لوله‌ی ونت هیدروژن برای بهبود پراکنده‌سازی گاز، مقدار پتانسیل در لوله افزایش یافته و در نتیجه احتمال ایجاد خطر افزایش خواهد یافت[۱۱].

بر اساس آنچه شرح داده شد، برای جلوگیری از ایجاد جرقه باید قطر خط ونت گاز زیاد و ارتفاع آن کم باشد. به طور کلی برای خط ونت در نظر گرفته شده برای این مخزن، با قطر ۱۰۰ mm در شرایط نامطلوب آب و هوای طوفانی و پرباد با گرادیان پتانسیل ۲۰۰۰ V/m (با توجه به جدول ۲) می توان طبق رابطه ۴ به صورت زیر محاسبات را انجام داد.

$$V_s = 18 * r^{0.5}$$

$$18 * 10^{0.5} = 56.92 \text{ kV}$$

حال با توجه به اختلاف پتانسیل بحرانی ایجاد سده و همچنین بردین پانسیل ذکر شده برای شرایط آب و هوایی طوفانی و پرباد با توجه به رابطه ۵ حداقل ارتفاع ونت هیدروژن که در این شرایط ممکن است دچار صاعقه شود به شرح زیر می‌باشد.

$$56.92 * 1000 [V] = 2000 \left[\frac{V}{m} \right] \times H \text{ min } [m]$$

$$H \text{ min} = 28.5 \text{ m}$$

بنابراین در صورتی که ونت هیدروژن با قطر ۱۰۰ mm از ارتفاع ۲۸/۵ متر بیشتر باشد احتمال رخ دادن تخلیه کرونا وجود دارد. بر این اساس و در این پژوهش ارتفاع مسیر ونت هیدروژن کمتر از ۳۰٪ ماکزیمم ارتفاع مجاز و برابر با ۸ متر از سطح زمین در نظر گرفته شد تا از عدم امکان تخلیه کرونا از ونت هیدروژن حتی در شرایط نامطلوب طوفانی و پرباد اطمینان حاصل شود.

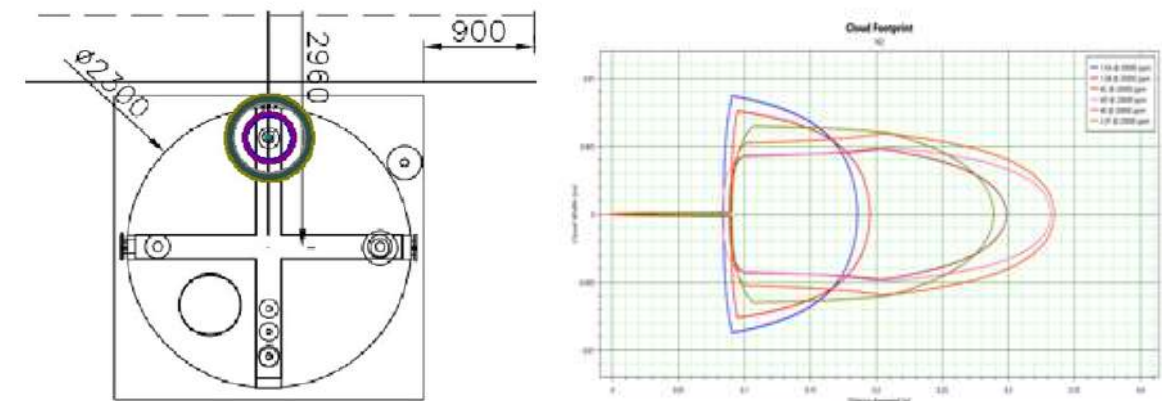
۲/۵. پیامدهای ونت گاز هیدروژن به محیط

نرم‌افزار PHAST به عنوان یک ابزار پیشرفته می‌تواند شرایط مختلف انتشار، از جمله فشار مخزن قطر ونت و شرایط محیطی را شبیه‌سازی کرده و پارامترهای مهمی همچون شعاع انفجار، سرعت و میزان انتشار را محاسبه کند.

به منظور شبیه‌سازی ونت هیدروژن گازی به محیط و همچنین در نظر گرفتن حادثه اشتعال در پی نشت آن نیاز است شرایط آب و هوایی منطقه در نظر گرفته شود لذا فرضیات در نظر گرفته شده برای شبیه‌سازی در نرم‌افزار PHAST در جدول ۳ آورده شده است.

ارتفاع ونت	۸ متر
قطر ونت	۱۰۰ میلی‌متر
دمای سیال	۳۶ درجه سانتی‌گراد
معیار پایداری جوی پاسکویل	۲D, ۲B و ۶D

نتایج شبیه‌سازی ونت هیدروژن که با استناد به شرایط فرآیندی ذکر شده در جدول ۳ حاصل شده است به شرح زیر می‌باشد.



شکل ۸: ابر توسعه یافته هیدروژن در مسیر ونت ان

شکل ۹: منطقه گسترش ابر هیدروژن اطراف ونت مخزن EDI Reject

با توجه به شکل ۸ ابر هیدروژن ایجاد شده با درصد حجمی ۲٪ (برابر با نصف مقدار LFL هیدروژن) تا فاصله حدود ۳۵ سانتیمتر از نقطه ونت گاز وجود دارد پس از آن فاصله غلظت هیدروژن به کمتر از این مقدار خواهد رسید و منطقه امن می‌باشد.

در شکل ۹ شعاع گسترش ابر هیدروژنی نسبت به موقعیت مخزن EDI Reject رسم شده است.

با توجه به شکل ۱۰ در شرایط آب و هوایی در نظر گرفته شده طبق جدول ۳، در صورت بروز شعله در اطراف ونت هیدروژن با در نظر گرفتن نرخ تابش $4/73 \text{ kW/m}^2$ ، در فاصله کمتر از ۱۰ سانتیمتری از شعله در صورتی که فرد بیشتر از ۱۰ تا ۳۰ ثانیه در آن مکان باشد ممکن است دچار سوختگی درجه اول (قرمزی و درد) شود [۱۸]. با توجه به اینکه ونت هیدروژن در ارتفاع ۸ متری از سطح زمین به محیط تخلیه خواهد شد و در مسیر رفت و آمد افراد نمی‌باشد این مساله بدون خطر می‌باشد.



شکل ۱۰: میزان تشعشع ناشی از شعله احتمالی هیدروژن نسبت به فاصله از نقطه نشت.

با استناد به نتایج حاصل از نرم افزار PHAST می‌بایست در شعاع ۴۰ سانتیمتری از محل ونت هیدروژن، تجهیزات الکترونیکی که امکان ایجاد جرقه در آن‌ها وجود دارد نصب نشوند در صورت لزوم می‌بایست تجهیزات الکترونیکی متناظر با ZONE ۰ برای آن منطقه خریداری و نصب گردد.

نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در این پژوهش به بررسی هیدروژن موجود در پساب فرآیند EDI واحد تولید آب دمین و مسیر انتقال آن به مخزن ذخیره‌سازی و همچنین چگونگی رهاسازی ایمن این گاز به محیط پرداخته شد. در ابتدا معادله‌ی فارادی به منظور ارزیابی دبی مولی گاز هیدروژن حاصل از الکترولیز آب مورد استفاده قرار گرفت. سپس افت فشار جریان در مسیر انتقال پساب با کمک نرم افزار Pipeflow Expert محاسبه و پس از ارزیابی فشار سیال در انتهای مسیر، دبی حجمی هیدروژن تولیدی بر مبنای معادله‌ی گاز ایده‌آل برابر با ۷۵ lit/hr محاسبه شد.

در ادامه با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و با کمک نرم افزار ANSYS Fluent رفتار جریان در محل ورود به مخزن ارزیابی شد و با در نظر گرفتن ۳ متر لوله‌ی مستقیم متصل به یک لوله‌ی عمودی، یک جریان دوفازی گسترده فراهم شد که زمان کافی برای خروج هیدروژن موجود در پساب به فاز گازی را مهیا نمود و مانع از ورود گاز و تجمع آن در مخزن گردید. سپس با فرض اینکه احتمال وجود جرقه و شعله‌ور شدن هیدروژن همواره وجود دارد مورد مطالعه قرار گرفت و با ارزیابی خطرات احتمالی نشت هیدروژن به محیط حداکثر ارتفاع مجاز برای جلوگیری از پدیده‌ی تخلیه‌ی کرونا برابر با ۲۸/۵ متر محاسبه شد و با در نظر گرفتن حداقل ارتفاع ایمن برای بهره‌برداری و تعمیرات بر روی مخزن، ارتفاع ۸ متر از سطح زمین برای مسیر ونت در نظر گرفته شد. با استناد به نتایج حاصل از نرم افزار PHAST می‌بایست به منظور افزایش ضریب ایمنی ونت گاز هیدروژن به محیط، از نصب منابع ایجاد جرقه مانند تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی تا شعاع ۴۰ سانتیمتری در اطراف محل ونت جلوگیری شود.

فهرست علائم

میدان الکتریکی، kV/cm

حد پایین اشتعال پذیر $\square$ lower Flammable Limit

E
 LFL

مراجع و منابع

- [1]DuPont™ Electrodeionization - EDI-310 Module Technical Manual
- [2]Tchouvelev, A. V.; Benard, P.; Agranat, V.; Cheng, Z.2005, "Detemination of clearance distance for venting of hydrogen storage".
- [3]Molkov, V. 2007, "Hydrogen safety research: state-of-the-art", proceeding of the 5th international on fire & explosion hazards, 2327-.
- [4]Bennaceur, K.2005, "Hydrogen: A future energy carrier!", Gas 25.
- [5]Astbury, G. R.;Hawksworth, S. J. ,2007,"Spontaneous ignition of hydrogen leaks: A review of postulated mechanisms"; International Journal of Hydrogen Energy, 32, 21782185-.
- [6]Ordin,P. M. 2005,"Safety standard for hydrogen and hydrogen systems";Office of Safety and Mission Assurance, Washington NASA.
- [7]CGA P-28;2014, "OSHA process safety management and EPA risk management plan quidance document of bulk liquid hydrogen supply system"; compressed gas association.INC; fourthe edition.
- [8]Penttila, S. 2004,"Design criteria for the NPDGamma liquid hydrogen target vent stack on Bldg MPF-30, in flight path 12 ER20".
- [9]Molkov, V.2012," Fundamentals of hydrogen safety engineering"; Ventus publishing Aps.
- [10]Beauvais, R; Mayinger .F. M.; Strube, G.1998," Hydrogen combustion-safety hazards in hydrogen systems"; University munchen ,federal republic of Germany.
- [11]Astbury, G. R,2007,"Venting of law pressure hydrogen gas, a critique of the literature"; Health and safety laboratory; trans IchemE part B.
- [12]Aspen Hysys Database, Aspen Software version 7.1.
- [13]Allen N., 2004,"A Clearly Explained and Illustrated Story About Three Types of Corona Discharge and Their Relationship to Radio Interference"; Hubbell power systems, INC.
- [14]Lei.L, Tao,C and others, 2022,"Fair-Weather Near-Surface atmospheric electric field measurments at the zhongshan Chinese station in Antarctica", Applied sciences/Volume 12-Issue 18
- [15]Orch, T.,2006 " Hazardous process-hazardous gas design"; engineering standards manual ISD 3412-.
- [16]CGA G-5.5; 2014,"Hydrogen vent systems"; compressed gas association.INC; third edition; 2014.
- [17]Zhongheng.W, Wei,G and others, 2024,"Understanding the mechanisms of flame quenching and flame $\square$ wall interactions in microchannel", Thermal engineering, Volume 250.

[۱۸] جهانگیری، مهدی، نوروزی، محمد امین، ساریان زاده، کیوان، ۱۳۹۲، «مدیریت و ارزیابی ریسک، ارزیابی کمی ریسک در صنایع فرآیندی» جلد دوم، انتشارات فن‌آوران.

فرآیند اکسپند تیوب در تیوب‌شیت:

روش‌ها، ابزار، تکنیک‌ها و الزامات

سه‌د عقیق

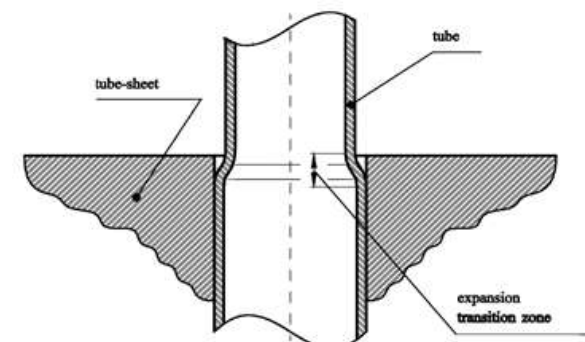


چکیده

فرآیند اکسپند تیوب (Tube Expansion) یک فرآیند بسیار مهم در صنعت ساخت بویلر و مبدل‌های حرارتی است که به عنوان یک روش اتصال و یا روش تکمیلی جهت افزایش استحکام و آب‌بندی تیوب‌ها در تیوب‌شیت (Tubesheet) استفاده می‌گردد. این مقاله به بررسی اصول و روش‌های اساسی فرآیند اکسپند تیوب، از جمله روش‌های مکانیکی مانند روش غلتکی (Roller Expansion) و روش هیدرواکسپند (Hydro-Expansion) می‌پردازد. در این فرآیند، تاکید بر دستیابی به درصد کاهش ضخامت دیوار مطلوب برای ایجاد اتصالات با استحکام و آب‌بندی صحیح است لذا متد محاسبه این کمیت و همچنین پارامترهای تاثیرگذار بر آن معرفی و بررسی شده‌اند. این مقاله همچنین تجهیزات کلیدی مورد استفاده در فرآیند فرآیند اکسپند تیوب از جمله ابزارهای اکسپند، یونیت‌های ایجاد نیرو و ابزارهای کنترلی را معرفی نموده و سعی می‌نماید تا دسته‌بندی و تفکیک انواع این ابزار و تجهیزات را مشخص کند. علاوه بر این، مقاله به چالش‌های رایج مانند نشتی و سایر موارد ناشی از اکسپند نامناسب پرداخته و توصیه‌های مراجع و استانداردها را در این زمینه مرور می‌نماید. با درک و اجرای صحیح این فرآیند و استفاده از تجهیزات مناسب، تولیدکنندگان می‌توانند عمر و همچنین راندمان بویلرها و مبدل‌های حرارتی را افزایش دهند و در نهایت به بهبود عملکرد عملیاتی و کاهش هزینه‌های نگهداری کمک کنند.

مقدمه

اتصالات لوله‌ای از نوع اکسپند (Expanded Tube Joints) از جمله اتصالات مهم و پرکاربرد در ساخت مبدل‌های حرارتی پوسته‌لوله (Shell and Tube Heat Exchanger)، بویلرهای صنعتی، فیدوارتره‌یترها (FWH) و تجهیزات مشابه در صنعتی آب و بخار هستند. برای مثال از این نوع اتصالات برای اتصال تیوب به تیوب‌شیت در مبدل‌ها و یا اتصال برخی تیوب‌ها به درام در بویلرهای صنعتی استفاده می‌شود. استفاده از این فرآیند اما به این صنایع محدود نمی‌شود و در صنایع هسته‌ای، لوکوموتیو و کشتی‌سازی نیز استفاده می‌شود. استفاده از روش اکسپند تیوب‌ها و ابزارهای اکسپند به قرن ۱۹ میلادی برمی‌گردد. در آن زمان از ابزارهای مکانیکی ابتدایی برای اکسپند برخی از اتصالات بویلرهای بخار کشتی‌ها استفاده می‌گردید. به تدریج با رشد صنایع در حوزه‌های انتقال حرارت، نیروگاهی، پتروشیمی و ... استفاده از این نوع اتصالات در تجهیزات رشد و اهمیت بیشتری پیدا نمود. بدین ترتیب در دهه ۵۰ میلادی ابزارهای اکسپند به شکل امروزی طراحی و ساخته شد. همچنین در همین بازه زمانی مطالعات آکادمیک نیز بر روی این فرآیند آغاز گردیده است [۱][۲].



شکل شماره ۱ □ افزایش قطر تیوب در تیوب‌شیت و ایجاد اتصال مکانیکی [۳]

در حین فرآیند تغییرشکل، افزایش قطر تیوب در ناحیه اکسپند از قطر داخلی سوراخ بیشتر خواهد بود. این مسئله موجب خواهد شد تا پس از اتمام فرآیند و برگشت تغییرشکل به اندازه تغییر شکل الاستیک (Springback) تماس بین تیوب و جداره داخلی سوراخ حفظ شود. علاوه بر این، جداره داخلی سوراخ نیز در حین فرآیند دچار تغییرشکل (افزایش قطر داخلی) شده و پس از اتمام فرآیند، برگشت فنری الاستیک آن یک فشار بین سطحی باقیمانده (Residual Interfacial Pressure) بین سطح خارجی تیوب و سطح داخلی سوراخ ایجاد می‌نماید. این تنش بین‌سطحی موجب ایجاد استحکام کششی در اتصال تیوب و دیواره شده و همچنین اتصال را آب‌بند می‌نماید. مراحل توضیح داده شده در شکل شماره ۲ قابل مشاهده هستند.

همانطور که در قسمت ۴ شکل شماره ۲ نشان داده شده است، پس از اتمام فرآیند و برداشتن نیروها، برگشت فنری جدار داخلی سوراخ، تمایل دارد تا قطر داخلی را به اندازه اولیه برگرداند. اما تغییرشکل دائمی ایجاد شده در تیوب، در مقابل این برگشت مقاومت می‌نماید. این دو نیرو در نهایت موجب می‌شوند که قطر داخلی سوراخ در حالت تعادل مقداری بین اندازه اولیه و اندازه آن در مرحله ۳ شکل ۲ داشته باشد. تغییرشکل ایجاد شده در سوراخ نیز برای بوجود آوردن همین نیروی برگشت است بنابراین برخلاف تیوب که کاملاً وارد ناحیه پلاستیک از رفتار تنش-کرنشی خود می‌شود، جداره داخلی سوراخ در ناحیه الاستیک باقی می‌ماند.

با توجه به آنچه تشریح گردید، مقاومت اتصال بین تیوب و سوراخ وابستگی مستقیم به نیروی اکسپند (نیروی که موجب تغییرشکل تیوب می‌شود) دارد. رابطه بین مقاومت اتصال و نیروی اکسپند توسط محققان مختلفی بصورت تجربی و عددی بررسی گردیده است [۴-۷]. مشخصات و رفتار متربال تیوب و تیوب‌شیت و همچنین مشخصات ابعادی آن‌ها پارامترهای تعیین‌کننده میزان نیروی مورد نیاز برای ایجاد یک اتصال اکسپند مناسب هستند. اتصال تیوب و تیوب‌شیت یکی از مهمترین المان‌های مبدل‌های حرارتی است و نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد و قابلیت اطمینان آن دارد. بخشی از تیوب که در تیوب‌شیت نگه داشته شده است، بیشترین تنش را تحمل می‌کند [۸] و امکان تست غیرمخرب برای اطمینان از صحت انجام فرآیند اکسپند نیز وجود ندارد. این مسئله باعث شده است تا این ناحیه محل ایجاد بیشترین خرابی‌ها حین سرویس شود. لذا طراحی و اجرای دقیق این اتصال از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

همانطور که اشاره شد، روش‌های مختلف برای اعمال نیروی اکسپند و تغییرشکل تیوب و سوراخ وجود دارد که مهمترین آن‌ها شامل موارد ذیل می‌شوند:

۱. استفاده از غلتک‌های مکانیکی (ابزار رولراکسپندر) برای اعمال نیرو به جدار داخلی تیوب
۲. ایجاد یک فشار هیدرواستاتیکی مستقیم بر جدار داخلی تیوب (روش هیدرو-اکسپند)
۳. استفاده از نیروی انفجاری در تیوب (روش اکسپند انفجاری)

در ادامه مقاله هر یک از این روش‌ها تشریح می‌گردد و ابزارها و روش‌های کنترلی استفاده شده نیز مورد بررسی قرار می‌گیرد. اما پیش از آن به نحوه محاسبه پارامتر کنترلی فرآیند اکسپند یعنی درصد کاهش ضخامت دیواره پرداخته می‌شود.

پارامتر درصد کاهش ضخامت دیواره

همانطور که اشاره شد، میزان تغییر شکل ایجاد شده در تیوب تعیین‌کننده عملکرد مناسب اتصال است. در حین فرآیند اکسپند علاوه بر تغییر قطر خارجی تیوب و قطر داخلی سوراخ، ضخامت دیواره تیوب نیز دچار تغییر می‌شود. با توجه به اینکه روش‌های مختلفی برای اعمال نیروی اکسپند وجود دارد، کمیت مشترک و قابل اندازه‌گیری برای کنترل میزان اکسپند تیوب از این طریق وجود ندارد. همچنین در نظر گرفتن تغییرات قطر خارجی یا داخلی تیوب به تنهایی نیز گویای میزان تغییر شکل ایجاد شده حین فرآیند نمی‌باشد و باید تغییرات آن‌ها نسبت به یکدیگر در نظر گرفته شود. به عبارت دیگر تغییرات ضخامت دیواره تیوب پارامتر بهتری برای اندازه‌گیری و کنترل فرآیند اکسپند است. از این رو در اکثر منابع و مراجع علمی و مستندات سازندگان، درصد کاهش ضخامت دیواره (WTR: Wall Thickness Reduction) به عنوان پارامتر کنترلی معرفی و میزان اکسپند استاندارد نیز بر اساس همین پارامتر برای کاربردها و متربال‌های مختلف گزارش شده است. برای محاسبه این پارامتر نیاز به اندازه‌برداری قبل و بعد از فرآیند است. در شکل شماره ۳ هندسه تیوب و تیوب‌شیت در ۳ مرحله از فرآیند اکسپند نشان داده

مرحله اول مربوط به قبل از اکسپند و هندسه ابتدایی تیوب و تیوب‌شیت است. با اندازه‌برداری در این حالت پارامترهای ذیل تعریف می‌گردند:

$ID_{initial}^{tube}$
: قطر داخلی اولیه تیوب

$ID_{initial}^{hole}$
: قطر داخلی اولیه سوراخ

$OD_{initial}^{tube}$
: قطر خارجی اولیه تیوب

با اندازه‌گیری ۳ پارامتر فوق‌الذکر، می‌توان به سادگی تغییرات هندسه تیوب و تیوب‌شیت را محاسبه نمود. برای این منظور، با استفاده از فرمول‌های زیر، می‌توان تغییرات هندسه تیوب و تیوب‌شیت را محاسبه نمود:

$$T_{initial}^{tube} = \frac{1}{2} [OD_{initial}^{tube} - ID_{initial}^{tube}]$$

: ضخامت دیواره اولیه تیوب

$$C = \frac{1}{2} [ID_{initial}^{hole} - OD_{initial}^{tube}]$$

: لقی بین تیوب و تیوب‌شیت

پس از آغاز فرآیند اکسپند، قطر داخلی و خارجی تیوب افزایش پیدا می‌کند و در مرحله میانی نشان داده شده در شکل شماره ۳، سطح خارجی تیوب با جدار داخلی سوراخ تماس پیدا می‌کند. با توجه به کوچک بودن میزان لقی نسبت به اندازه قطر خارجی تیوب، میزان کاهش ضخامت دیواره تا این مرحله ناچیز و در محاسبات قابل صرف‌نظر است. لذا شروع کاهش ضخامت دیواره در واقع از این نقطه از فرآیند اکسپند است. در این حالت قطر داخلی تیوب توسط رابطه زیر محاسبه می‌شود: (قطر داخل)

$$ID_{contact}^{tube} = ID_{initial}^{tube} + 2C$$

: قطر داخلی تیوب هنگام تماس با سوراخ

پس از اتمام فرآیند اکسپند مطابق آنچه در بخش قبلی توضیح داده شد، قطر داخلی سوراخ تیوب‌شیت کمی از اندازه اولیه خود بزرگتر خواهد بود اما در محاسبات از این افزایش صرف‌نظر می‌شود و فرض می‌شود که قطر داخلی سوراخ بدون پس از اکسپند بدون تغییر خواهد بود. با این فرض کاهش ضخامت دیواره تیوب با اندازه‌گیری قطر داخلی تیوب پس از اکسپند قابل محاسبه خواهد بود:

$$ID_{final}^{tube}$$

: قطر داخلی تیوب پس از اکسپند

$$\Delta T = \frac{1}{2} [ID_{final}^{hole} - ID_{contact}^{tube}]$$

: کاهش ضخامت دیواره تیوب

در نهایت پارامتر درصد کاهش ضخامت

$$WTR\% = \frac{\Delta T}{T} \times 100$$

همانطور که اشاره شد، این پارامتر به عنوان پارامتر کنترلی فرآیند اکسپند در نظر گرفته می‌شود و منابع و استانداردهای مختلف نیز مقدار این پارامتر را برای کاربردها و متريال‌های مختلف گزارش نموده‌اند. برای مثال در استاندارد TEMA [۱۰] مقادیر پیشنهادی این پارامتر به ازای تیوب‌های با جنس‌های مختلف برای اکسپند تیوب به تیوب‌شیت مبدل‌های حرارتی مطابق جدول ذیل است:

Working Material	WTR %
Carbon steel and low alloy steel	۸ to ۵
Stainless steel	۸ to ۵
Duplex stainless steel	۶ to ۴
Titanium and work hardening non-ferrous	۶ to ۴
Admiralty and non-work hardening non-ferrous	۹ to ۶

اتصالاتی که به اندازه کافی اکسپند نشده‌اند (Under-Expand) ممکن است تحت هیدروتست و یا حین سرویس دچار نشتی و یا از استحکام کششی لازم برخوردار نباشند. در مقابل اکسپند بیش از حد و عبور از درصد کاهش ضخامت دیوار مجاز (Over-Expand) مسئله جدی‌تری است و ممکن است موجب سردکاری بیش از حد دیواره تیوب و احتمال ایجاد خوردگی و ترک در آن شود [۱۱]. در منابع مختلفی به ارتباط بین پدیده SCC (Stress Corrosion Cracking) و اکسپند بیش از حد اشاره شده است [۹]. همچنین در حالت‌های شدیدتر ممکن است موجب تغییر شکل بیش از حد سوراخ‌ها و لیگامنت‌های اطراف آن سوراخ گردد. لذا انتخاب مقدار مناسب برای پارامتر WTR و همچنین کنترل آن حین فرآیند اکسپند از اهمیت بالایی برخوردار است.

اتصالات اکسپند را می‌توان بر حسب مقدار کاهش ضخامت دیواره به دسته کلی تقسیم نمود: ۱. اکسپند سبک (Light Expand) که تا حدود ۳ الی ۴ درصد کاهش ضخامت دیواره در آن ایجاد می‌شود [۱۶]. ۲. اکسپند سنگین (Heavy Expand) که در آن تا حداکثر مجاز WTR (برای مثال جدول بالا) پیشروی می‌شود. عموماً اکسپند سبک برای آب‌بندی اتصال بکار می‌رود و از استحکام کششی بالایی برخوردار نیست. در مقابل اتصال ایجاد شده توسط اکسپند سنگین، نیروهای محوری را تحمل می‌نماید و در بسیاری از موارد به عنوان جایگزین فرآیند جوشکاری استفاده می‌شود.

روش مکانیکی (غلطکی) اکسپند تیوب

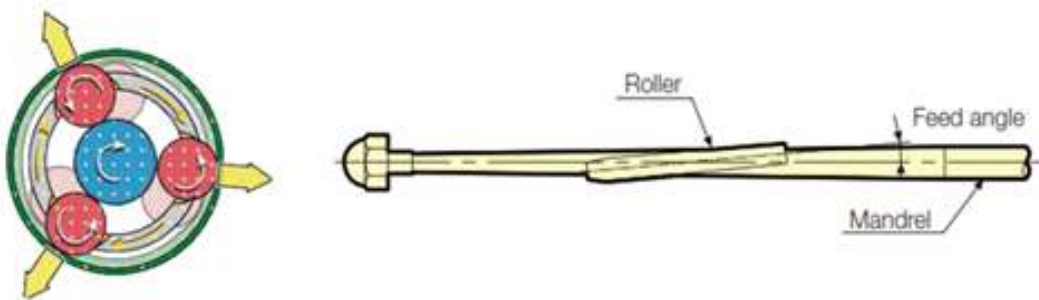
در فرآیند اکسپند به روش غلتکی (Roller Expanding)، نیرو بصورت متناوب توسط رول‌های مکانیکی به دیواره داخلی تیوب اعمال شده و آن را به سطح داخلی سوراخ می‌فشارد. غلتک‌ها یا رول‌ها مطابق آنچه در شکل شماره ۴ نشان داده شده است، بر روی یک فریم مونتاز شده‌اند که از داخل آن یک مندریل عبور می‌کند. تعداد رول‌ها غالباً ۳ عدد و در مواردی ۵ یا ۷ عدد می‌باشند. فریم و مندریل به گونه‌ای طراحی شده‌اند که با اعمال نیرو، رول‌ها به صورت متناوب به سمت بیرون هدایت شوند.



شکل شماره ۴ نمونه یک ابزار اکسپندر غلتکی (Roller Expander) [۱۲]

در حالتی که مندریل عقب کشیده شده است (غلطک‌ها داخل فریم قرار دارند)، مجموعه فریم ابزار بطور کامل درون تیوب قرار می‌گیرد بصورتی که لبه برونی تیوب با Collar ابزار اکسپندر (که وظیفه موقعیت‌دهی محوری را دارد) تماس می‌شود. بعد از قرارگیری اکسپندر در تیوب، مندریل توسط یک منبع نیرویی شروع به دوران می‌کند و متعاقباً غلتک‌ها را نیز می‌چرخاند. مطابق آنچه در شکل شماره ۵ نشان داده شده است، بین محور غلتک‌ها و محور مندریل یک زاویه جلوبری تحت عنوان Feed Angle وجود دارد. وجود این زاویه موجب می‌شود تا با چرخش غلتک‌ها، مندریل توسط مولفه افقی نیروی تماسی به سمت جلو کشیده شود.

با حرکت رو به جلوی مندریل، غلتک‌ها به سمت خارج از فریم حرکت می‌کنند و با سطح داخلی تیوب تماس پیدا می‌کنند. تماس بین غلتک و سطح داخلی تیوب در امتداد یک خط قرار است که این خط با توجه به دوران غلتک‌ها حول مندریل، افزایش تعداد غلتک‌ها تعداد



شکل شماره ۵ قرارگیری غلتک‌ها بر روی مندریل و نحوه انتقال حرکت بین آن‌ها [۱۲][۱۳]

در نتیجه تمرکز تنش موضعی در خطوط تماس کاهش می‌یابد. از ابزارهای با تعداد غلتک بیشتر از ۳ معمولاً در تیوب‌های

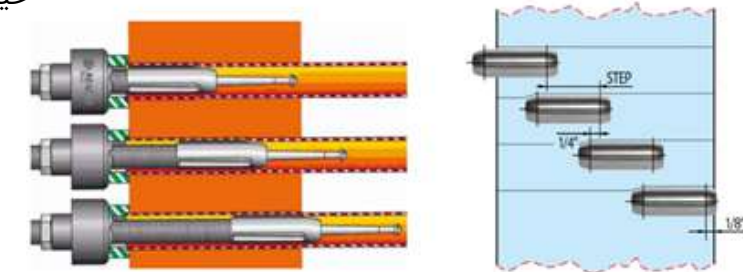
با ضخامت پایین و یا متریال‌هایی که نسبت به پدیده‌های مرتبط با خستگی و بارگذاری متناوب حساس هستند استفاده می‌شود. با این حال در این روش از اکسپند همواره خطر بروز اثرات خستگی در ناحیه اتصال وجود دارد. برای کاهش اصطکاک بین غلتک‌ها و جدار داخلی تیوب استفاده از روانکار مناسب الزامی است. اما این روانکاری نمی‌تواند اصطکاک را کاملا از بین ببرد و مقداری از گشتاور از ابزار به تیوب منتقل می‌گردد. این مسئله موجب پیچش تیوب حول محور می‌شود. این نیروی پیچشی می‌تواند به جوشی که قبل از اکسپند صورت گرفته آسیب وارد نماید. همچنین در مواردی که بیش از یک تیوب‌شیت وجود دارد، اکسپند تیوب‌شیت‌های بعدی ممکن است موجب کاهش فشار بین‌سطحی پسماند در اتصال‌های قبلی و در نتیجه کاهش استحکام اتصال شود. الزامات روانکاری در این روش پیچیدگی‌هایی را نیز به همراه دارد. با توجه به الزامات محصول و همچنین الزامات مورد نیاز برای جوشکاری بعد از اکسپند (در صورت وجود)، سطوح می‌بایست بعد از اتمام فرآیند کاملا تمیز گردند. عدم دقت در تمیزکاری یا عدم دسترسی به حلال مناسب برای روانکار استفاده شده ممکن است موجب بروز عیوب جوش یا تاثیر در عملکرد محصول گردد. در برخی از ابزارها، زاویه جلوبری وجود ندارد و حرکت رو به جلوی مندریل بصورت اتوماتیک نخواهد بود. در این حالت به یک نیروی محوری نیز بر (Parallel Expander) می‌گویند.



شکل شماره ۶ □ شماتیک یک ابزار اکسپندر غلتک موازی [۱۵]

از آنجایی که زاویه جلوبری یک مولفه نیرویی در راستای محور تیوب ایجاد می‌نماید، در حالتی که قبل از فرآیند اکسپند تیوب به تیوب‌شیب جوش شده باشد، نیروی محوری ممکن است موجب آسیب رساندن به جوش شود. این مسئله بخصوص در حالتی که فاصله بین ناحیه اکسپند و ساق جوش کم است اهمیت بالاتری پیدا می‌کند. اما در ابزارهای اکسپند غلتک موازی، هیچ مولفه نیرویی محوری ایجاد نمی‌شود و خطر آسیب به جوش کاهش می‌یابد. از طرفی در اکسپندهای دارای زاویه جلوبری، فرآیند خروج ابزار از تیوب که با چرخش معکوس مندریل صورت می‌گیرد نسبت به ابزارهای غلتک موازی زمان بیشتری می‌برد.

در پشت اکثر ابزارهای اکسپندر یک پیچ تنظیم وجود دارد که فاصله فریم و غلتک‌ها را تا Collar ابزار تنظیم می‌کند. از این قابلیت برای ایجاد فاصله بین ناحیه اکسپند و ابتدای تیوب (و در صورت وجود ساق جوش [۱۶][۱۷]) استفاده می‌شود. همچنین این مکانیزم این قابلیت را ایجاد می‌کند تا مطابق آنچه در شکل شماره ۷ نشان داده شده است، تیوب‌شیت‌های با ضخامت بالاتر را بصورت گام، همپوشانی حدودا ۵ میلی‌متری



شکل شماره ۷ □ اکسپند گام به گام [۱۳]

همانطور که اشاره شد، برای انجام فرآیند اکسپند به روش غلتکی، به یک منبع نیرویی برای چرخاندن مندریل مورد نیاز است. برای این منظور در انتهای مندریل یک سر آچارخور مربعی قفلدار وجود دارد که به آچار (درایو) متصل می‌گردد. این درایو گشتاور لازم را برای مندریل تامین می‌نماید. در فرآیند اکسپند به روش غلتکی کنترل میزان اکسپند از طریق کنترل این گشتاور ایجاد شده توسط درایو صورت می‌گیرد. به دلیل تنوع ابزارها، متریال‌ها و وجود پارامترهای تاثیرگذار متعدد، عموما امکان تعریف یک رابطه عمومی بین گشتاور مندریل و درصد کاهش ضخامت دیواره تیوب وجود ندارد. لذا برای کنترل این پارامتر، قبل از آغاز فرآیند اکسپند، با انجام تست‌های مکاپ بر روی قطعاتی که از نظر ابعادی و متریال با نمونه اصلی مشابه هستند، میزان گشتاور مورد نیاز برای دستیابی به درصد مورد نظر کاهش ضخامت دیواره تیوب بصورت عملی بدست می‌آید.

فرآیند رولر اکسپند بر اساس نوع درایو به چهار دسته کلی تقسیم می‌شود:

- درایوهای الکتریکی
- درایوهای پنوماتیکی
- درایوهای هیدرولیکی

- درایوهای دستی که برای مصارف سبک تاسیساتی هستند

رایج‌ترین نوع از درایوها، درایوهای الکتریکی هستند. این دسته از درایوها نسبت به درایوهای هیدرولیکی قادر به تولید گشتاورهای پایین‌تری هستند. این درایوها عموما همراه یک یونیت کنترلی عرضه می‌گردند که علاوه بر تامین برق مورد نیاز درایو، پارامترهای مختلفی را تنظیم و کنترل می‌کنند. مهمترین قابلیت این یونیت‌های کنترلی، امکان تنظیم گشتاور Shut-off یا Trip (گشتاور حداکثری که درایو به محض رسیدن به آن متوقف گردد) است. با استفاده از این قابلیت، گشتاور بدست آمده از مرحله مکاپ بر روی یونیت تنظیم می‌شود و دستگاه پس از رسیدن به درصد مورد نیاز از کاهش ضخامت دیواره متوقف می‌گردد. در مدل‌های پیشرفته‌تر یونیت‌های کنترلی، پس از

شکل شماره ۸ □ نمونه درایور و کنترلر الکتریکی

اتمام اکسپند و توقف دستگاه، چرخش معکوس مندریل بصورت خودکار انجام می‌شود تا بتوان ابزار اکسپندر را از تیوب خارج نمود. سرعت چرخش مندریل و زمان توقف بین هر گام از جمله پارامترهایی است که در برخی کنترلرهای پیشرفته قابل تنظیم است. البته برخی از درایوهای الکتریکی وجود دارند که یونیت تامین برق آن‌ها کنترلی به کاربر برای تنظیم پارامترها نمی‌دهد که برای مصارف سبک و بدون نیاز به دقت مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل شماره ۹ □ نمونه یک درایو پنوماتیکی

درایوهای پنوماتیکی نسبت به الکتریکی و هیدرولیکی دارای امکانات کمتری هستند. اغلب این درایوها بدون یونیت کنترلی عرضه می‌شوند. در واقع متناسب با کاربرد، مزیت اصلی استفاده از این درایوها عدم نیاز به یونیت مجزا برای عملکرد است و کافی است به یک منبع باد (کمپرسور) متصل گردند. این مسئله موجب می‌شود قابلیت حمل و جابجایی و همچنین Compatibility زیادی در کارگاه‌های مختلف داشته باشند. پیچیدگی‌های کمتر نسبت به مدل‌های الکتریکی و هیدرولیکی همچنین موجب بروز خرابی کمتر می‌شود و هزینه تعمیر و نگهداری را کاهش می‌دهد. بکار نرفتن سیستم برقی، الکترونیکی یا هیدرولیکی باعث می‌شود تا احتمال خرابی یا حادثه در محیط‌های دارای رطوبت، خورنده و ... کمتر شود. این درایوها معمولا یک گشتاور Trip ثابت دارند اما در برخی از مدل‌ها مانند درایوهای موجود در کارخانه مپنا بویلر، گشتاور Trip توسط یک Throttle مکانیکی که روی درایو قرار گرفته قابل تنظیم است اما دقت زیادی ندارد. گردش معکوس (Reverse) نیز غالبا بصورت دستی سوییچ می‌شود هرچند در تعدادی از مدل‌های خاص با استفاده از مکانیزمی، گردش و توقف به میزان ثابت و سپس گردش معکوس اتوماتیک شده است.

درایوهای هیدرولیکی نیروی مورد نیاز خود را از یک یونیت هیدرولیکی که معمولا ۱۰۰ تا ۲۰۰ بار فشار حداکثری تولید می‌نماید تامین می‌کنند. مزیت اصلی این درایوها، توانایی ایجاد گشتاورهای بالا است و در کاربردهای نیمه سنگین و سنگین مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دسته از درایوها در طول فرآیند اکسپند سرعت گردش (RPM) ثابت دارند که موجب اعمال فشار یکنواخت‌تر به رول‌ها و در نتیجه کیفیت اتصال بهتر و عمر بالاتر ابزار می‌شوند. یونیت‌های هیدرولیکی با کنترل فشار هیدرولیکی و کالیبره آن، با گشتاور خروجی ارتباط برقرار کرده و آن را کنترل می‌نمایند. به دلیل نوسان کمتر در نیروی تبدیل شده به گشتاور، دقت محاسبه گشتاور نیز در این یونیت‌ها بالاتر است.

روش اکسپند غلتکی یا رولر اکسپند رایج‌ترین روش برای ایجاد اینگونه اتصال‌ها است و ابزار و درایوهای متنوعی در بازار یافت می‌شود. این روش اما وابستگی زیادی به اپراتور دارد.

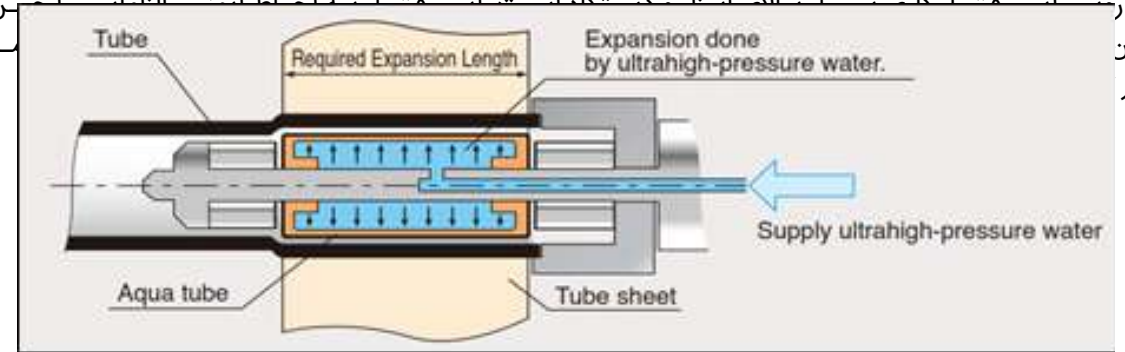
مهارت اپراتور در هندلینگ مندریل تاثیر زیادی بر خروجی دارد. بگونه‌ای که با تغییرات زاویه راستا و یا شدت اعمال نیرو از سمت اپراتور (که می‌تواند ناشی از موقعیت سوراخ، عدم مهارت کافی اپراتور، خستگی اپراتور و ... باشد) الگوی نیروی وارد شده بر تیوب تغییر نموده و کیفیت اکسپند را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تعداد فاکتورهای موثر بر کیفیت اکسپند بوسیله رولر اکسپندرها زیاد است (تعداد غلتک‌ها، فرم غلتک‌ها، سرعت دوران، ابعاد تیوب و سوراخ، روانکاری، کیفیت

سطح داخلی و خارجی تیوب، کیفیت سطح داخل سوراخ، مشخصات ابزار از جمله نوع collar، زایه جلوبری و ..) [۱۸] که در کنار عوامل ذکر شده قبلی در خصوص مهارت اپراتور موجب کاهش تکرارپذیری عملیات و نوسان در درصد کاهش ضخامت دیواره می‌شود.

روش هیدرو-اکسپند تیوب

در روش هیدرواکسپند، از طریق اعمال فشار هیدرواستاتیکی به دیواره داخلی تیوب، فرآیند اکسپند انجام می‌شود. در این روش عموماً از آب دمین به عنوان سیال واسط انتقال فشار استفاده می‌شود. مطالعات و توسعه این روش از ایجاد اتصالات اکسپند از اواخر دهه ۷۰ میلادی آغاز شده و اکنون در صنعت مبدل‌های حرارتی و فیدواترهیترها به عنوان یک روش مرسوم شناخته می‌شود.

مطابق آنچه در شکل شماره ۱۱ نشان داده شده است، آب با فشار بالا وارد ابزار هیدرواکسپند می‌شود و ناحیه اکسپند را تحت فشار قرار می‌دهد. فشار سیال توسط یک یونیت هیدرو اکسپند و یک تقویت‌کننده فشار (Intensifier) تامین می‌گردد. یونیت‌ها برای بالا بردن فشار آب که تا ۶۰۰۰ بار نیز افزایش می‌یابد، از یک سیستم هیدرولیکی استفاده می‌کنند. یکی از معایب این روش فشار بسیار بالا و طولانی بودن زمان فرآیند است. در این روش، فشار آب به ۲۰۰ بار فشار می‌نماید. این روش در سال ۱۹۷۰ میلادی در آمریکا به ثبت رسید.



شکل شماره ۱۱ شماتیک اجزای ابزار هیدرواکسپند و نحوه اعمال فشار هیدرواستاتیکی [۱۲]

یونیت‌های هیدرواکسپند با کنترل فشار، پارامتر درصد کاهش ضخامت دیواره را کنترل می‌نمایند. مشابه گشتاور Trip در رولر اکسپندرها، در این یونیت‌ها با تنظیم پارامتر فشار حداکثر می‌توان میزان اکسپند را مشخص کرد. همانطور که در خصوص یونیت‌های رولر اکسپندینگ هم ذکر شد، امکانات و تنظیمات دستگاه‌های مختلف هیدرواکسپند متفاوت است اما گنج‌های فشار بالا و پایین و تنظیم فشار ماکزیمم از الزامات کار این یونیت‌ها است. در شکل شماره ۱۲، شماتیک سیستم آب‌بندی ابزار هیدرواکسپند نشان داده شده است. آب‌بندهای مخصوصی که در این ابزارها استفاده می‌شوند، با افزایش فشار آب درون ناحیه اکسپند منبسط شده و در واقع از فشار خود آب برای پکینگ آن استفاده می‌کنند.



شکل شماره ۱۲ شماتیک آب‌بندی ابزار هیدرواکسپند [۱۸]

بزرگ‌ترین مزیت استفاده از این روش، اعمال فشار بصورت یکنواخت به دیواره داخلی تیوب در ناحیه اکسپند و همچنین افزایش این فشار با شیبی کنترل شده است. این امر باعث می‌شود تا کیفیت اتصال نسبت به سایر روش‌ها یکنواخت‌تر باشد. عدم وجود نیروهای تماسی با شدت بالا و نیروهای متناوب مشابه آنچه در اکسپند غلتکی وجود دارد موجب می‌شود تا خطر بروز اثرات خستگی کمتر شود و همچنین آسیبی به سطح داخلی لوله نرسد. با توجه به کمتر بودن پارامترهای درگیر نسبت به اکسپند غلتکی، کیفیت خروجی و درصد کاهش ضخامت دیواره بسیار تحت کنترل‌تر بوده و تکرارپذیری و قابلیت اطمینان فرآیند بالاتر است.

در روش هیدرواکسپند، حداکثر درصد کاهش ضخامت دیواره قابل دستیابی ۳ الی ۴ درصد است و در واقع این روش صرفاً برای انجام اکسپند سبک کاربرد دارد. اما با توجه به تغییرشکل کمتر ایجاد شده، کارسختی کمتری در تیوب ایجاد شده و خطر بروز پدید SCC کاهش می‌یابد. همچنین با توجه به راستای فشار هیدرواستاتیکی اعمال شده به تیوب، هیچ گشتاور پیچشی به تیوب وارد نمی‌شود که موجب کاهش ریسک آسیب به اتصالات جوشی و همچنین اتصالات اکسپند شده در تیوب‌شیت ثانویه (در صورت وجود) می‌شود.

یکی از معایب بزرگ روش هیدرواکسپند، علاوه بر هزینه اولیه بالای آن، سفارشی بودن ابزارهای آن به ازای مشخصات ابعادی تیوب و ناحیه اکسپند است. این ابزارها می‌بایست به ازای قطر داخلی تیوب و همچنین طول اکسپند مورد نیاز سفارش داده شوند و با توجه به رواج کمتر آن‌ها، فرآیند شناسایی و تامین آن‌ها نیز با پیچیدگی بیشتری همراه است. در مقایسه ابزارهای رولراکسپند بصورت استاندارد موجود بوده و قابلیت تامین و جایگزینی بالاتری دارند. البته با توجه به عدم محدودیت ابعادی در طراحی این ابزارها، گزینه بسیار مناسبی برای اکسپند تیوب‌شیت‌های با ضخامت بالا هستند. در این حالت صرفاً با یک مرحله انجام فرآیند اکسپند اتصال ایجاد می‌شود و نیازی به اکسپند گام به گام نمی‌باشد. بدین صورت زمان چرخه فرآیند به میزان قابل توجهی کاهش پیدا می‌کند و تنش کمتری به تیوب وارد می‌شود.

روش اکسپند انفجاری

در روش اکسپند انفجاری که به آن Near Contact Explosive Expanding نیز گفته می‌شود، از نیروی انفجار ساشه‌های کوچک انفجاری برای تغییر شکل لوله استفاده می‌شود. مطابق آنچه در شکل شماره ۱۳ نشان داده شده است، مواد انفجاری درون یک محفظه‌ی غالباً پلی اتیلنی قرار می‌گیرند و ساشه انفجاری در تیوب جایگذاری می‌گردد. ابعاد این محفظه بصورتی است که کاملاً داخل تیوب را پر می‌نماید.

این روش نسبت به سایر روش‌های اکسپند کمتر مورد استفاده قرار می‌گیرد و تنها در موارد خاصی توجیه‌پذیر است. ساشه‌ها می‌بایست قبل از قرارگیری در لوله آماده‌سازی شوند که ملاحظات ایمنی زیادی دارد و همچنین فرآیندی زمان‌بر است. همچنین استفاده از این روش در سایت‌های شیمیایی، نفتی، دارویی و غیره از لحاظ ایمنی معمولاً امکان‌پذیر نیست. تکنسین‌های مسئول این فرآیند نیز می‌بایست آموزش دیده و دارای مجوزهای لازم باشند. یکی دیگر

از معایب بزرگ این روش، پسماندهای انفجار است. برخی از این پسماندها بعد از تمیزکاری هم باقی می‌مانند و عموماً با برخی از الزامات مغایرت دارند.

یکی از کاربردهای این روش در سوراخ‌هایی با شکل نامتعرف است (برای مثال برای اکسپند تیوب در سوراخی با سطح مقطع مربعی یا بیضی‌شکل). زیرا در این موارد سایر روش‌ها اساساً امکان‌پذیر نیستند. یکی از قابلیت‌های استفاده از این روش، اعمال فشار زیاد در اطراف شیارها و ایجاد فشار متوسط در سایر قسمت‌ها با قرارگیری استراتژیک ساشه است. همچنین در مواردی که دسترسی کم است و امکان استفاده از درایو و مندریل وجود ندارد نیز از این روش استفاده می‌گردد.

نیروی وارد شده به تیوب و تغییر شکل آن در روش اکسپند انفجاری به صورت یکنواخت است و از این منظر برخی از مشکلات اکسپند غلتکی را ندارد. با کنترل نیروی انفجار تغییرشکل تیوب‌شیت در ناحیه الاستیک باقی می‌ماند و همچنین Extrusion قابل ملاحظه‌ای رخ نمی‌دهد.

سایر ملاحظات کیفی و استاندارد فرآیند اکسپند

در بخش‌های قبلی نکات مختلفی درباره اجرا و الزامات فرآیند اکسپند مرور گردید. به برخی از دیگر ملاحظات نیز در این بخش اشاره می‌شود:

- یکی از موارد مهمی که در اکثر استانداردها و دستورالعمل‌ها به آن اشاره شده است، فاصله ناحیه اکسپند از دو صفحه Tube-Side و Shell-Side است. در اکثر استانداردها تاکید شده است که ناحیه اکسپند (ناحیه‌ای که در آن کاهش ضخامت دیواره اتفاق می‌افتد) باید حداقل ۳ میلی‌متر تا صفحه Shell-Side فاصله داشته باشد [۱۹][۱۷]. در برخی از استانداردها نیز صرفاً گفته شده که ناحیه اکسپند از صفحه Shell-Side تجاوز ننماید [۱۰]. در خصوص فاصله تا صفحه Tube-Side نیز اکثر استانداردها اشاره به این دارند که در اتصالاتی که جوش و اکسپند هم زمان وجود دارد، ناحیه اکسپند تا جوش باید فاصله ۶ الی ۱۰ میلی‌متری داشته باشد [۱۷][۱۶].
- مورد دیگری که در استانداردها مورد تاکید قرار گرفته است، تأثیر صافی سطح سوراخ در کیفیت اتصال اکسپند است. سطوح زبرتر در اکسپند موجب استقامت بالاتر اتصال (افزایش نیروی Pull-Out) می‌شوند که به مدول الاستیسیته، تنش تسلیم و سختی ماده وابسته است و در مقابل سطوح صیقلی‌تر موجب اتصال عایق‌تر شده و بهتر در مقابل نشتنی مقاومت می‌کند [۱۰]. در برخی استانداردها نیز زبری سطح $0.8 \mu m$ برای سوراخ اعلام شده است [۲۰].
- عیوب سطحی سوراخ نیز در آب‌بندی اتصال تأثیر مستقیم دارند. سطوح نباید هیچ اثر یا خط در راستای محوری

تحلیل تنش سوپرهیتر بویلر سینگل درام بصورت CASE STUDY

محمد رضا انوری، فاطمه دهقان، حسین بهادری



چکیده

سوپرهیترهای موجود در بویلر وظیفه اساسی تولید بخار خشک با شرایط دمایی مورد نیاز توربین بخار را بر عهده دارند. این سوپرهیترها در معرض عبور جریان دود ناشی از احتراق در ناحیه Convective کوره جانمایی میشوند و از نظر کد، ضخامت های آنها باید بر اساس فشار داخلی، دمای تجهیز و روابط موجود در ASME section I محاسبه شود. ولی از لحاظ ملاحظات ساپورت گذاری و کنترل تنش بدلیل وجود سایر بارگذاری ها (وزن، زلزله، انبساط حرارتی، جریان دود عبوری و...) باید از سایر کدها/استانداردها/ قواعد/ هندبوک ها استفاده کرد. با وجود این که سوپرهیترها، بر اساس تعاریف در محدوده کاری ASME B31.1 گنجانده نشده اند، ولی با توجه به اینکه برخی از شرکت های صاحب تجربه و دانش در زمینه طراحی و ساخت بویلرها، در برخی شرایط مشابه برای تحلیل تنش و ساپورت گذاری سطوح حرارتی از نرم افزار سزار ۲ و کد ASME B31.1 استفاده مینمایند، به نظر میرسد یکی از روش های ارزیابی وضعیت تنش در این نوع تجهیز ها استفاده از تحلیل تنش با روش ASME B31.1 میتواند باشد و بر همین اساس در این مقاله نیز برای تحلیل تنش از رویکردی مشابه استفاده شده است. سوپرهیتر های مورد مطالعه بویلر سینگل درام براساس نیاز عملکردی پروژه، به دو مجموعه سوپرهیتر اولیه و نهایی دسته بندی شده اند که در ادامه این مقاله تحلیل تنش سوپرهیتر اولیه^۲ مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

واژه های کلیدی

سوپرهیتر، تحلیل تنش، کد ASME B31.1، نرم افزار سزار ۲، ASME section I.

مقدمه

سوپرهیترهای بویلر اجزای حیاتی در سیستم های تولید برق/بخار هستند که برای افزایش دمای بخار فراتر از نقطه اشباع آن طراحی شده اند و در نتیجه کارایی و عملکرد توربین های بخار را افزایش می دهند. در دیگ بخار تک درام، سوپرهیتر نقش حیاتی در تضمین خشک شدن بخار و سوپرهیت کردن بخار قبل از ورود به مصرف کننده را دارد. انواع مختلفی از سوپرهیتر وجود دارد که هر کدام دارای ویژگی های طراحی خاصی هستند:

- سوپرهیترهای تابشی^۱: در ناحیه تابشی بویلر قرار دارند، جایی که حرارت مستقیم را از فرآیند احتراق دریافت می کنند.
- سوپرهیترهای همرفتی^۲: در ناحیه همرفتی قرار دارند، جایی که از طریق همرفت گرما را از گازهای حاصل از احتراق جذب می کنند. آنها معمولاً برای مراحل نهایی سوپرگرم کردن استفاده می شوند.
- سوپرهیترهای ترکیبی: هر دو بخش تابشی و همرفتی را برای بهینه سازی انتقال حرارت و رسیدن به دمای بخار مورد نظر در خود جای داده اند.

سزار ۲ یک نرم افزار پرکاربرد برای انجام آنالیز تنش در سیستم های لوله کشی از جمله سوپرهیترهای بویلر می باشد. این به مهندسان اجازه می دهد تا تجهیز سوپرهیتر را مدل و شرایط بارگذاری مختلف را برای پیش بینی توزیع تنش و تغییر شکل شبیه سازی کنند.

یا بصورت Spiral داشته باشند زیرا ممکن است موجب بروز نشتی شوند [۱۰][۲۰].

- یکی از ملاحظات مهم برای سازندگان چالش ایجاد می نماید، در اتصالاتی است که هم جوش و هم اکسپند انجام می شود. در منابع عموماً به این نوع از اتصالات Welded & Expanded گفته می شود. جوش تیوب به تیوب شیت عموماً از نوع TIG است. در صورتی که فرآیند اکسپند قبل از جوشکاری صورت پذیرد، مسیر عبور گاز محافظ مسدود خواهد شد و عموماً جوش با عیب همراه خواهد بود. به همین خاطر برخی از استانداردها توصیه نموده اند تا ابتدا جوشکاری و سپس اکسپند صورت پذیرد اما تست PT جوش پس از انجام اکسپند انجام شود [۱۹]. در این حالت باید مطابق آنچه پیشتر گفته شد، فاصله ناحیه اکسپند تا جوش رعایت شود تا از آسیب به آن جلوگیری شود. اما بجز ریسک آسیب به جوش، یکی دیگر از معایب اکسپند پس از جوشکاری، عدم هممرکزی تیوب و سوراخ هنگام جوشکاری است. این مسئله باعث شده است تا برخی از استانداردها و مراجع توصیه نمایند تا قبل از جوشکاری اکسپند از نوع Taper (که در آن فقط قطعه هایی از تیوب با سوراخ تماس پیدا می کنند) صورت گیرد [۱۶]. در اکسپند قبل از جوشکاری، به منظور دستیابی به جوش بدون ایراد روانکار نباید استفاده شود [۱۶].

جمع بندی

فرآیند اکسپند تیوب یک فرآیند مهم و پرکاربرد در ساخت مبدل های حرارتی پوسته-لوله، بویلرهای صنعتی، فیدوارترهترها و تجهیزات مشابه در صنعتی آب و بخار است. در این مقاله به نحوه اجرا و کنترل پارامترهای مهم این فرآیند پرداخته شد. همچنین روش های مختلف ایجاد اتصال اکسپند تیوب به تیوب شیت از جمله رولر اکسپند، هیدرواکسپند و اکسپند انفجاری تشریح شده و مزایا و معایب هرکدام مشخص گردید. همچنین با مرور نکات و الزاماتی که در خصوص این فرآیند و قطعات وجود دارد، مشخص گردید که رعایت این الزامات تأثیر بسزایی در قابلیت اطمینان و عملکرد محصول در آزمایشات و حین سرویس دارد.

منابع

- [1] Culver, L. E., & Ford, H. (1959). Experimental Study of Some Variables of the Tube-Expanding Process. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers.
- [2] Fisher, F. F., & Brown, G. J. (1954). Tube expanding and related subjects. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 76(4), 563574-.
- [3] Cizelj, L., & Roussel, G. (2011). Reliability of Degraded Steam Generator Tubes. Steam Generator Systems: Operational Reliability and Efficiency, 424.
- [4] Yokell, S. (1992). Expanded, and welded-and-expanded tube-to-tubesheet joints.
- [5] Goodier, J. N., & Schoessow, G. J. (1943). The holding power and hydraulic tightness of expanded tube joints: analysis of the stress and deformation. Transactions of the American Society of Mechanical Engineers, 65(5), 489496-.
- [6] Allam, M., & Bazergui, A. (2002). Axial strength of tube-to-tubesheet joints: Finite element and experimental evaluations. J. Pressure Vessel Technol., 124(1), 2231-.
- [7] Wang, H., Sang, Z. (2007). Connection strength and tightness of hydraulically expanded tube-to-tubesheet joints. Journal of Materials Processing Technology.
- [8] Yokell, S. (1982). Heat-exchanger tube-to-tubesheet connections.
- [9] Thulukkanam, K. (2000). Heat exchanger design handbook. CRC press.
- [10] TEMA, Standards of Tubular Exchanger Manufacturers Association, 10th ed., Tubular Exchanger Manufacturers Association, Inc., Tarrytown, NY, 2019.
- [11] E. A. D. Saunders (1998). Heat Exchangers: Selection, Design & Construction.
- [12] Sugino Corp. *Tube expanders*. <https://www.suginocorp.com/>
- [13] Maus Italia. (n.d.). *Tube expanders*. <https://www.mausitalia.it/>
- [14] Kraiss. (n.d.). *Expanding tubes*. <https://kraiss.com/applications/expanding-tubes/>
- [15] Elliott Tool Technologies. *Tube installation*. <https://www.elliott-tool.com/>
- [16] British Standards Institution. PD 5500: Specification for unfired pressure vessels.
- [17] American Petroleum Institute. (2017). API 660: Heat exchangers for general refinery service.
- [18] Yokel, S., Catapano, M. C., & Svensson, E. (2015). Closed feedwater heaters for power generation: A working guide. McGraw-Hill Education.
- [19] Heat Exchange Institute. (2015). Standards for shell and tube heat exchangers (HEI-2623) (5th ed.). Heat

تجزیه و تحلیل مطابق با استانداردهای صنعتی مانند ASME B31.1 و ASME section I انجام می‌شود. این کدها دستورالعمل‌هایی را برای طراحی، متریال، ساخت و آزمایش اجزای بویلرها برای اطمینان از ایمنی و قابلیت اطمینان ارائه می‌دهند.

تحلیل تنش سوپرهیترهای بویلر برای اطمینان از یکپارچگی ساختاری و عملکرد ایمن آن‌ها در شرایط فشار بالا و دمای بالا ضروری است. این تحلیل معمولاً شامل ارزیابی تنش‌های ناشی از فشار داخلی، انبساط حرارتی و بارهای خارجی است. هدف اصلی شناسایی نقاط شکست بالقوه و اطمینان از اینکه سوپرهیتر می‌تواند در طول عمر مورد نظر خود در برابر تنش‌های عملیاتی مقاومت کند، است.

در تحلیل تنش سوپرهیتر موارد مختلفی وجود دارد که منجر به چالشی شدن تحلیل می‌گردد، موارد زیر از جمله مهم‌ترین آن‌هاست:

۱. شرایط بارگذاری پیچیده

سوپرهیترها تحت شرایط بارگذاری مختلفی از جمله فشار داخلی، انبساط حرارتی و نیروهای خارجی قرار دارند. مدل‌سازی دقیق این شرایط و تعاملات آنها می‌تواند پیچیده باشد که به کمک نرم‌افزار سزار II می‌توان به آن‌ها پرداخت.

۲. تنش‌های حرارتی^۵

دمای بالا در سوپرهیترها باعث انبساط حرارتی قابل توجهی می‌شود که منجر به تنش‌های حرارتی می‌شود. این تنش‌ها می‌توانند به‌طور گسترده در بخش‌های مختلف سوپرهیتر متفاوت باشند و مدیریت مؤثر آن‌ها با ساپورت گذاری‌هایی که از ایجاد این تنش‌ها جلوگیری کرده و درعین حال، پایداری سیستم را در برابر بارهای خارجی، حفظ نماید را دشوار می‌سازد.

۳. خواص متریال

متریال مورد استفاده در سوپرهیترها باید دما و فشار بالا را تحمل کنند. درک خواص مواد، و انتخاب مناسب متریال بر اساس شرایط عملکردی، برای تحلیل تنش دقیق بسیار مهم است.

۴. تطابق با کد

اطمینان از انطباق با استانداردهای صنعتی مانند ASME B31.1 و ASME section I ضروری است. این کدها الزامات خاصی برای طراحی، مواد و آزمایش دارند که باید به دقت رعایت شوند. دنبال نمودن این الزامات می‌تواند چالش برانگیز باشد، به خصوص در هنگام برخورد با هندسه‌ها و شرایط بارگذاری پیچیده.

۵. پیچیدگی هندسی

سوپرهیترها اغلب دارای هندسه‌های پیچیده با خمیدگی، اتصالات و مقاطع مختلف هستند. مدل‌سازی دقیق این هندسه‌ها در نرم‌افزار تحلیل تنش می‌تواند چالش‌برانگیز و زمان‌بر باشد.

۶. شرایط مرزی

تعیین شرایط مرزی دقیق برای تحلیل تنش قابل اعتماد بسیار مهم است. فرضیات نادرست در مورد تکیه‌گاه‌ها، محدودیت‌ها و اتصالات می‌تواند منجر به خطاهای قابل توجهی در نتایج تحلیل شود.

۷. اثرات دینامیکی

در برخی موارد، سوپرهیترها ممکن است تحت بارهای دینامیکی مانند ارتعاشات یا شرایط حرارتی گذرا قرار گیرند. تجزیه و تحلیل این اثرات لایه دیگری از پیچیدگی را به تحلیل استرس اضافه می‌کند.

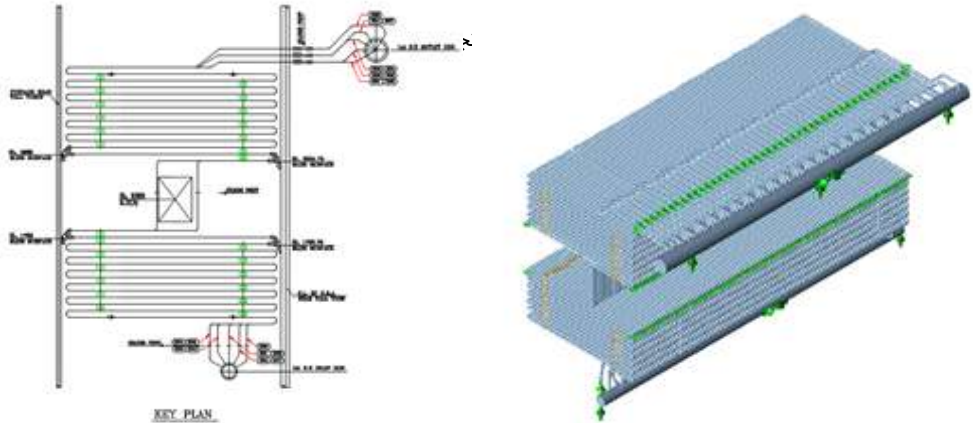
طراحی سوپرهیتر اولیه بویلر تک درام

طراحی تجهیزاتی مثل سوپرهیتر، شامل طراحی حرارتی و طراحی مکانیکال است. در این مقاله، به طراحی حرارتی این تجهیزات پرداخته نمی‌شود و تمرکز اصلی بر روی طراحی مکانیکال این تجهیزات است. نکات زیر، در طراحی سوپرهیتر تاثیرگذار هستند و باید مورد توجه قرار گیرند:

- **دما و فشار مورد نیاز:** طراح باید حداکثر دمای کاری و فشار بخار را در نظر بگیرد که منجر به انتخاب متریال مناسب و طراحی ضخامت تیوب‌ها می‌گردد.
- **راندمان انتقال حرارت:** طراح باید انتقال حرارت بین گاز حاصل از احتراق و بخار را به حداکثر برساند. این را می‌توان با بهینه‌سازی سطح تیوب‌های سوپرهیتر و اطمینان از جریان کارآمد گاز حاصل از احتراق در اطراف تیوب‌ها به دست آورد.
- **انبساط حرارتی:** سوپرهیترها به دلیل دماهای بالا انبساط حرارتی قابل توجهی را تجربه می‌کنند. طراح باید این انبساط را برای جلوگیری از تنش‌های بیش از حد و شکست احتمالی در نظر بگیرد که شامل ایجاد انعطاف‌پذیری کافی در سیستم و استفاده از اتصالات با قابلیت آزادسازی انبساط‌های تجهیز در صورت لزوم می‌باشد.
- **مقاومت در برابر خوردگی و فرسایش:** لوله‌های سوپرهیتر در معرض گازهای دودکش با دمای بالا قرار دارند که در صورتی که شرایط خوردگی و فرسایش حاکم باشد، طراحی باید شامل پوشش‌های محافظ باشد یا از متریالی

استفاده شود که در برابر این اثرات مقاوم باشند.

- **توزیع جریان:** اطمینان از جریان یکنواخت بخار از طریق لوله‌های سوپرهیتر برای گرمایش مداوم ضروری است. طراحی باید عدم تعادل جریان را که می‌تواند منجر به گرمایش ناهموار و تنش‌های حرارتی شود، به حداقل برساند.
- متریال مورد استفاده در ساخت سوپرهیتر باید دما و فشار بالا را تحمل کنند. متریال‌های متداول عبارتند از:
 - فولاد کربنی: برای کاربردهای دماهای پایین تر در قسمت هدر استفاده می‌شود.
 - فولاد آلیاژی: مقاومت مناسبی در برابر دما و فشار بالا ایجاد می‌کند.
 - فولاد ضد زنگ: مقاومت عالی در برابر اکسیداسیون و خوردگی و مقاومت بالا در دماهای بالاتر از حدود ۶۵۰ درجه سانتی گراد ارائه می‌دهد.



انتخاب متریال برای اطمینان از طول عمر و قابلیت اطمینان سوپرهیتر در شرایط عملیاتی بسیار مهم است. انتخاب متریال و سایز اجزای سوپرهیتر نیز باید با استفاده از الزامات مذکور در ASME section I و تجربیات سازندگان معتبر انتخاب گردند. براساس توضیحات فوق متریال و سایز مورد استفاده در سوپرهیتر اولیه در جدول زیر عنوان شده است:

تیوب	SA-213-T11	3.6 mm
هدر ورودی سوپرهیتر اولیه	SA-106-GrB	23.01mm
هدر خروجی سوپرهیتر اولیه	SA-335-P11	34.92 mm

اقدامات لازم برای طراحی مکانیکال تجهیز سوپرهیتر، شامل مراحل زیر است:

مرحله اول: محاسبه ضخامت اجزای فشاری بر اساس کد ASME SECTION I

مرحله دوم: تحلیل تنش اجزای فشاری و نهایی سازی ساپورت‌گذاری

مرحله سوم: محاسبه دمای ساپورت‌ها و تحلیل تنش آن‌ها

مرحله چهارم: تحلیل ارتعاشی و فرکانسی تجهیز

در انجام هریک از مراحل سوم و چهارم ممکن است نیاز به تغییر ساپورت‌گذاری وجود داشته باشد. بنابراین مراحل طراحی با سعی و خطا همراه خواهد بود و با تغییرات ساپورت‌گذاری، مراحل دوم و سوم و چهارم باید تکرار شوند تا طراح به نتیجه مطلوب برسد.

در ادامه بصورت مختصر به هریک از این مراحل پرداخته خواهد شد :

در زیر به مرور مختصر هریک از مراحل بالا پرداخته شده است.

محاسبه ضخامت اجزای فشاری بر اساس کد ASME SECTION I

با توجه به اینکه تجهیز سوپرهیتر، در محدوده کد ASME Section I قرار دارد، بعد از طراحی حرارتی سوپرهیتر و مشخص شدن هندسه تجهیز و دمای اجزای تجهیز شامل تیوب‌ها و هدرها و سایز آن‌ها که محاسبه ضخامت اجزای بویلر باید بر اساس ASME Section I انجام شود. باید برای محاسبه ضخامت تیوب‌ها و هدرها به پاراگراف‌های ۲۷-PG و ۳۱۷-A مراجعه کرد. بدلیل اتصال تیوب‌ها به هدرها و با توجه به بازشوهای متعددی که به همین دلیل بر روی هدرها قرار دارد، برای محاسبه ضخامت هدر علاوه بر دو بند مذکور از بندهای مرتبط با بازشوهای متوالی (بندهای ۵۲-PG و ۵۳-PG و یا ۳۸-PG) نیز باید استفاده کرد. لازم به ذکر است در این کد، محاسبه ضخامت فقط بر اساس فشار داخلی و در دمای کاری/طراحی اجزا صورت می‌گیرد و

محاسبه ضخامت اجزا بر اساس بارهای دیگر از جمله بارهای وزنی، بارهای اتفاقی مثل زلزله و باد و ... در محدوده محاسبات این کد قرار ندارد. بنابراین برای ارزیابی تجهیز تحت سایر بارها از روش‌های دیگری از جمله تحلیل تنش باید استفاده کرد.

تحلیل تنش اجزای فشاری و نهایی‌سازی ساپورت‌گذاری

تحلیل تنش یک فرآیند حیاتی برای اطمینان از یکپارچگی ساختاری و عملکرد ایمن سوپرهیترهای بویلر است. که شامل ارزیابی تنش‌های ناشی از شرایط بارگذاری مختلف، مانند فشار داخلی، انبساط حرارتی، و نیروهای خارجی است. هدف اصلی، شناسایی نقاط شکست بالقوه و اطمینان از اینکه سوپرهیتر می‌تواند در طول عمر مورد نظر خود در برابر تنش‌های عملیاتی مقاومت کند.

سزار ۲ نرم افزاری پرکاربرد برای انجام آنالیز تنش در سیستم‌های لوله کشی است. با توجه به مشابهت تجهیز سوپرهیتر با سیستم‌های لوله‌کشی و همچنین تجربیات موجود از برخی طراحان و سازندگان، تحلیل تنش سوپرهیترهای بویلر با این نرم‌افزار می‌تواند یکی از رویکردهای مناسب باشد که در این مقاله به آن پرداخته شده است. این فرآیند با ایجاد یک مدل دقیق از تجهیز سوپرهیتر آغاز می‌شود. این مدل شامل تمام اجزای مربوطه مانند تیوب‌ها، خم‌ها، اتصالات و تکیه‌گاه‌ها می‌باشد. برای مدل‌سازی سوپرهیتر در نرم‌افزار نیاز به داده‌های ورودی فرایندی همچون دما و فشار طراحی و هندسه آن از جمله چیدمان و موقعیت تیوب‌ها می‌باشد که این داده‌ها از مدارک مربوط به بخش بیسیک بدست می‌آید.

در تحلیل تنش باید شرایط بارگذاری مختلفی که سوپرهیتر در حین کار با آن مواجه می‌شود را در نظر گرفت که از جمله این بارگذاری ها به شرح ذیل می‌باشد:

فشار داخلی: فشار بخار داخل تیوب‌های سوپرهیتر باعث ایجاد تنش‌های حلقه‌ای^۶ و طولی^۷ می‌شود.

انبساط حرارتی: دمای بالا باعث انبساط تیوب‌های سوپرهیتر می‌شود. این انبساط حرارتی می‌تواند در نقاطی که تیوب‌ها محدود شده‌اند منجر به تنش‌های قابل توجهی در سیستم شود.

بارهای خارجی: شامل نیروها و گشتاورهایی است که به سوپرهیتر به دلیل وزن، جریان دود عبوری، زلزله و سایر عوامل خارجی وارد می‌شود.

سزار ۲ از داده‌های ورودی و شرایط بارگذاری برای محاسبه تنش‌ها در سوپرهیتر استفاده می‌کند. همچنین در خصوص آیتم‌های زیر بر اساس کد ASME B31.3 فرضیاتی را در نظر می‌گیرد:

انواع تنش: تحلیل انواع تنش‌ها شامل تنش‌های دائمی یا Sustained (ناشی از فشار داخلی و وزن) و تنش‌های انبساطی یا Expansion (به دلیل انبساط حرارتی) و تنش‌های اتفاقی یا Occasional (ناشی از بارهای اتفاقی خارجی مثل زلزله) را در نظر می‌گیرد.

تشدید تنش ناشی از تمرکز تنش: نرم‌افزار عوامل تشدید تنش ناشی از تمرکز تنش (SIF) را در نقاط ناپیوستگی هندسی مانند خم‌ها و اتصالات محاسبه می‌کند. این محاسبات می‌تواند بصورت خودکار توسط نرم‌افزار محاسبه شود و یا بر اساس روابط کد مذکور بصورت دستی محاسبه شده و عدد آن در نرم‌افزار جاگذاری شود. تحلیل تنش باید با کدهای طراحی تجهیز مطابقت داشته باشد تا از ایمنی و قابلیت اطمینان اطمینان حاصل شود. کدهای کلیدی عبارتند از:

ASME B31.1: دستورالعمل‌هایی را برای طراحی، انتخاب متریال، ساخت و آزمایش سیستم‌های لوله کشی ارائه می‌دهد.

ASME section I: الزامات طراحی و ساخت بویلرهای نیروگاهی و اجزای آنها از جمله سوپرهیترها را مشخص می‌کند.

روش تحلیل تنش انتخابی باید تضمین کند که تنش‌های محاسبه شده از حد مجاز مشخص شده توسط این کدها تجاوز نمی‌کند.

تنش‌های حرارتی در طراحی سوپرهیتر به دلیل دماهای عملیاتی بالا یک نگرانی قابل توجه است. بنابراین تحلیل این نوع تنش‌ها شامل موارد ذیل می‌باشد:

محاسبه انبساط حرارتی: تعیین میزان انبساط که در اثر تغییرات دما رخ می‌دهد.

تنش ناشی از محدودیت‌ها: ارزیابی تنش‌هایی که هنگام شدن انبساط حرارتی توسط تکیه‌گاه‌ها یا اجزای دیگر ایجاد می‌شود.

راهبردهای کاهش تنش‌های حرارتی: اجرای ویژگی‌های طراحی مانند اتصالات با وجود GAP‌های مناسب و تکیه‌گاه‌های انعطاف‌پذیر برای تطبیق با انبساط حرارتی و کاهش تنش.

اعتبارسنجی و تأیید نتایج تحلیل تنش برای اطمینان از صحت تحلیل ضروری است. این فرآیند شامل:

مقایسه با داده‌های تجربی: مقایسه نتایج تجزیه و تحلیل با داده‌های تجربی یا اندازه‌گیری‌های میدانی برای اطمینان از صحت.

تحلیل حساسیت: انجام تجزیه و تحلیل حساسیت برای درک تأثیر تغییرات داده‌های ورودی بر نتایج تحلیل تنش و شناخت رفتار تجهیز

بررسی همتا: بررسی آنالیز توسط مهندسان دیگر برای اطمینان از در نظر گرفتن تمام جوانب و قابل اعتماد بودن نتایج.

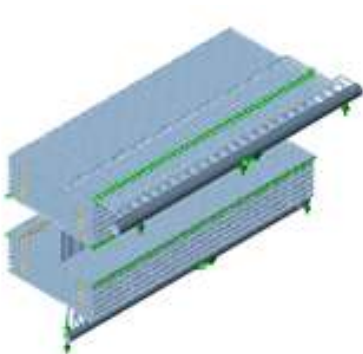
این توضیحات جنبه‌های اساسی روش تحلیل تنش برای سوپرهیترهای بویلر را پوشش می‌دهد.

- ۶ Hoop Stress
- ۷ Longitudinal Stress

تصاویری از هندسه سوپرهیتر اولیه مورد مطالعه در شکل‌های زیر نمایش داده شده است:



تصویر از مدل سه بعدی



هندسه مدل‌سازی شده در سزار ۲

در تحلیل انجام شده، رفتار متریال خطی تعریف شده است و بارگذاری و تحلیل از نوع استاتیکی صورت گرفته است. ولی به دلیل وجود گپ‌ها و اصطکاک در محل ساپورت‌ها، تحلیل از نوع غیرخطی مرزی^۸ است. انواع بارهای وارد بر سیستم به شرح زیر است:

نوع بار	توضیحات
Dead	- وزن تیوب ها - وزن سیال داخل تیوب ها - بار اضافه ضخامت ناشی از تلووانس های مثبت - بار اضافه ضخامت ناشی از خوردگی مجاز: (در این تجهیز خوردگی، مجاز نمی‌باشد. و صفر در نظر گرفته شده است.)
Pressure	- فشار داخلی ناشی از جریان بخار داخل سوپرهیتر - فشار خارجی ناشی از عبور جریان دود از روی سوپرهیتر. (از این بارگذاری بدلیل افت فشار ناچیز در ردیف های مختلف صرفنظر شده است.)
Temperature	دمای متال (دمای گزارش شده در مدارک بیسیک با فرض تغییرات خطی، بر روی تیوب ها اعمال شده است.)
Seismic	ضریب زلزله از روش ASD در راستای افقی برابر با ۳۶٪ و در راستای قائم برابر با ۱۹٪ با فرضیات زیر، محاسبه شده است.

A=0.35 , Soil Type= III, ap=2.5 , Rp=12 , Importance factor=1.4

ترکیبات بارگذاری نیز بر اساس کد انتخابی (ASME B31.1) در نرم‌افزار تعریف شده است. تصویر زیر نمایی از ترکیب بارهای تعریف شده را ارائه می‌دهد.

I. WW: Water Filled Weight

II. HP: Hydro. Pressure

III. T1: Thermal Case #1

IV. P1: Pressure Case #1

V. U1: Unif Load Case #1 (Horizontal Siesmic Load (Fx))

VI. U1: Unif Load Case #2 (Vertical Siesmic Load (Fy))

VII. U1: Unif Load Case #3 (Transversal Siesmic Load (Fz))

VIII. D1: Displacement Case #1

بر اساس طرح‌های موجود یا نیازهای هر پروژه بسته به موقعیت فیکس پوینت بویلر و الزامات عملکردی و تحلیل تنش، شرایط مرزی مربوط به هر هدر و تیوب ها تعیین می‌شود.

۸ Boundary nonlinear

تعیین شرایط مرزی و ساپورت‌های میانی بر اساس ارزیابی رفتار سیستم تحت بارهای مختلف و چگونگی کاهش تنش توسط تقیدات ایجاد شده توسط هر ساپورت با توجه به نوع بار وارد بر سیستم انجام می‌شود و این فرآیند ممکن است با تعدادی سعی و خطا همراه باشد.

نکته مهم این است که با ساپورت گذاری مناسب، تعادل بین سطح تنش‌های ناشی از بارگذاری حرارتی و تنش‌های ناشی از بارهای مکانیکال از جمله زلزله برقرار کرد. زیرا برای جلوگیری از افزایش تنش حرارتی در سیستم تقیدات باید به گونه‌ای باشند که ضمن برقراری تعادل کلی و جزئی سیستم، در برابر انبساط حرارتی برای اجزای سیستم تقیدی ایجاد نشده باشد. و از طرفی برای جلوگیری از افزایش تنش ناشی از بارهای مکانیکال مخصوص زلزله، تقیدات باید به اندازه لازم و کافی وجود داشته باشد.

این امر مستلزم ایجاد برخی از گپ‌ها به میزان مناسب در ساپورت‌ها است که ضمن حفظ آزادی در انبساط حرارتی اجزای سیستم، در شرایط بارگذاری مکانیکال از جمله زلزله نیز، ساپورت وارد عمل شود و در کاهش میزان تنش مکانیکال بصورت موثر عمل کند.

نکته مهم دیگر در تعریف شرایط مرزی این است که با توجه به اینکه این تجهیز بر روی دیواره‌های ناحیه همرفتی کوره نصب می‌شود، اثرات ناشی از اکسپنشن کوره یا تقیدات ناشی از دیواره‌های کوره، در شرایط مرزی تجهیز سوپرهیتر در نظر گرفته شود. پس از مدلسازی و اعمال شرایط مرزی و بارگذاری‌ها، تحلیل تنش توسط نرم‌افزار بر اساس کد انتخابی (ASME B31.1) انجام می‌شود. در نمونه مورد مطالعه این مقاله، در چند حالت مهم بارگذاری نتایج تحلیل تنش به شرح زیر گزارش شده است:

*** CODE COMPLIANCE EVALUATION PASSED ***			
Highest Stresses: (N./sq.mm.)			
Ratio (%):	88.7	@Node 7339	LOADCASE: 11 (SUS) W+P1
Code Stress:	91.9	Allowable Stress:	103.6
Axial Stress:	50.7	@Node 6380	LOADCASE: 11 (SUS) W+P1
Bending Stress:	62.9	@Node 7310	LOADCASE: 11 (SUS) W+P1
Torsion Stress:	1.5	@Node 4985	LOADCASE: 11 (SUS) W+P1
Hoop Stress:	92.9	@Node 38	LOADCASE: 11 (SUS) W+P1
Max Stress Intensity:	118.7	@Node 6395	LOADCASE: 11 (SUS) W+P1

Sustain case: W+P1

CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 16 (OCC) L16=L7-L2			
Highest Stresses: (N./sq.mm.)			
Ratio (%):	45.7	@Node 6875	
Code Stress:	49.9	Allowable Stress:	109.1
Axial Stress:	2.1	@Node 7365	
Bending Stress:	51.3	@Node 955	
Torsion Stress:	14.9	@Node 6820	
Hoop Stress:	0.0	@Node 15	
Max Stress Intensity:	52.7	@Node 955	

Worst seismic case: U2+U3

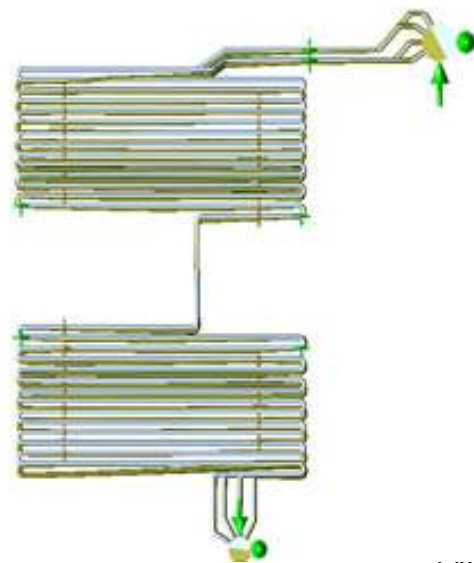
CODE STRESS CHECK PASSED : LOADCASE 28 (EXP) L28=L2-L11			
Highest Stresses: (N./sq.mm.)			
Ratio (%):	48.0	@Node 524	
Code Stress:	105.3	Allowable Stress:	219.4
Axial Stress:	35.6	@Node 6425	
Bending Stress:	82.9	@Node 524	
Torsion Stress:	7.8	@Node 1930	
Hoop Stress:	0.0	@Node 15	
Max Stress Intensity:	105.3	@Node 524	

Expansion case: T1

همانطور که مشخص است (Code stress check passed) در کیس‌های بالا تحلیل مدل با موفقیت انجام شده و تنش‌ها در محدوده مجاز قرار دارند.

تصویر مدل از تغییر شکل ناشی از چند نمونه بار

- تغییر مکان تجهیز براثر ترکیب بار وزن و فشار داخلی (۱۰=Deflection factor):



ماکزیمم جابه جایی در راستای X: ۳ mm

ماکزیمم جابه جایی در راستای Y: ۱۱ mm

ماکزیمم جابه جایی در راستای Z: ۶ mm

- تغییر مکان تجهیز براثر بار (۱۰=Deflection factor):



ماکزیمم جابه جایی در راستای X: ۲۰ mm

ماکزیمم جابه جایی در راستای Y: ۹ mm

ماکزیمم جابه جایی در راستای Z: ۲۲ mm

محاسبه دمای ساپورت‌ها و تحلیل تنش آن‌ها

در تجهیزاتی مثل سوپرهیتر مورد مطالعه، دو دسته ساپورت مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی ساپورت‌های میانی که بین اجزای فشاری قرار می‌گیرند و دیگری ساپورت‌های کلی تجهیز که وظیفه انتقال بار از کل تجهیز به سایر تجهیزات یا دیواره‌های کوره یا سایر المان‌های خارجی را بر عهده دارند.

این ساپورت‌ها قطعات غیر فشاری هستند که برای حفظ پایداری سیستم سازه‌ای تجهیز سوپرهیتر در برابر بارهای خارجی و داخلی و ارتعاش به کار می‌روند. اصولاً متریال این ساپورت‌ها، بر اساس دمای کاری و نوع سوخت کوره‌ها انتخاب می‌شود. در دمای کاری مذکور، تنش‌های ایجاد شده در ساپورت‌ها باید از تنش مجاز متریال کمتر باشد.

با توجه به استانداردها و تکنیکال نوت‌های موجود از شرکت‌های صاحب دانش و همچنین بر مبنای استاندارد های API و ASME ، متریال‌های این قطعات بر اساس دما و شرایط کاری و محیطی انتخاب می‌شوند. دمای کاری این قطعات بر اساس تکنیکال نوت‌های موجود از شرکت‌های صاحب دانش، محاسبه می‌شود در این روابط، پارامترهای زیر موثر هستند.

پارامتر	تعریف
tt (°C)	ماکزیم دمای قطعه که انتخاب مترپال بر اساس آن انجام می‌شود.
Tg (°C)	ماکزیم دمای مورد انتظار گاز که بصورت موضعی در تماس با ساپورت قرار می‌گیرد.
tod (°C)	ماکزیم دمای سطح خارجی تیوب (متناظر با دمای طراحی مثال تیوب)
k (W/m °C)	ضریب رسانایی گرمایی ساپورت در دمای متوسط قطعه (متوسط دمای مینیمم ساپورت و دمای ماکزیمم ساپورت)
(W/m °C) Ug	مجموع ضرایب انتقال حرارتی تابشی و همرفتی از سمت گاز به تیوب هایی که ساپورت به آن‌ها متصل شده است. متوسط ضرایب برای ناحیه tube bank در نظر گرفته می‌شود و از تشعشعات cavity صرف‌نظر می‌شود. این ضرایب توسط بخش basic تعیین و اعلام می‌شود.
H(mm)	کوتاه‌ترین فاصله بین نوک انتهای ساپورت و تیوبی که ساپورت به آن جوش شده است. (کوتاه‌ترین فاصله بین دورترین نقطه ساپورت از تیوب و محل اتصال ساپورت به تیوب)
AH(mm2)	کل سطحی از ساپورت که در معرض جریان گاز داغ قرار دارد.

کوچکترین مقدارهای زیر:

سطح مقطع کل جوش‌هایی که ساپورت را به لوله متصل می‌کنند.

سطح مقطع ساپورت در محل اتصال با جوش.

در این خصوص فرض اتصال با جوش نفوذی است. بر اساس مطالعات انجام شده، در صورتی که بجای جوش نفوذی از جوش فیلت استفاده می‌شود، برای اینکه برای محاسبه خنک‌کاری از سمت تیوب در حاشیه ایمنی قرار بگیریم، بعد جوش فیلت را در عدد ۷۰ ضرب می‌کنیم و در رابطه محاسبه AB قرار می‌دهیم.

نکته مهم این است که بر اساس روابط مذکور، دمای قطعه وابستگی زیادی به مترپال و هندسه ساپورت دارد. بنابراین برای محاسبه دما، ابتدا فرض اولیه‌ای برای مترپال و دمای قطعه و هندسه در نظر گرفته می‌شود و با سعی و خطا، دمای قطعه محاسبه می‌شود. به صورتی که دمای متوسط بدست آمده بر دمای متوسط فرض شده منطبق شود.

همچنین در صورتی که دمای ماکزیمم قطعه از ماکزیمم دمای مجاز قابل تحمل توسط مترپال ساپورت فراتر رود و یا به هر دلیل دیگری مجبور به تغییر هندسه یا مترپال قطعه شویم، فرآیند سعی و خطای مذکور مجدداً از ابتدا آغاز خواهد شد. در واقع محاسبه دما و تحلیل تنش ساپورت‌ها فرآیند سعی و خطای متعددی دارد و علاوه بر آن فرآیند رفت و برگشت بین محاسبات دما و تحلیل تنش باید انجام و تکرار شود تا به پاسخ نهایی و مطلوب و بهینه برسیم.

تحلیل فرکانسی و کنترل معیارهای ارتعاشات در سوپرهیتر اولیه

با توجه به ضرورت رعایت ملاحظات ارتعاشی تیوب‌های سوپرهیتر اولیه در برابر ارتعاشات ناشی از جریان گاز داغ عبوری از روی آن‌ها، سه موضوع ریزش گردابه‌ای، آکوستیک (نویز) و ناپایداری الاستیک جریان در گزارش حاضر مورد مطالعه قرار گرفته است. این تحلیل‌ها و روابط آن‌ها، به هندسه تجهیز، سایز تیوب‌ها، شرایط تکیه‌گاهی، دمای دود، ترکیبات شیمیایی دود، فرکانس جریان دود، چگالی دود، وزن سیال داخل تیوب‌ها و تیوب‌ها، و... وابسته است.

از آنجا که ارتعاشات تجهیز، ناخوشایند است و در بلند مدت منجر به تخریب و تغییر شکل در تجهیز خواهد شد و عملکرد آن را دچار اختلال خواهد کرد، هدف از انجام این بررسی‌ها، این است که در طراحی تجهیز مطمئن باشیم که تجهیز تحت هیچ یک از پدیده‌های ذکر شده در بالا، تحت ارتعاش قرار نمی‌گیرد و نویزی در رنج غیر استاندارد تولید نمی‌کند. به‌منظور ارزیابی وضعیت ارتعاشی تیوب‌های سوپرهیتر اولیه، مطالعه‌ای بر اساس مشخصات جریان عبوری و با استناد به مقادیر فرکانس‌های طبیعی تیوب‌ها صورت پذیرفته است.

بنابر نتایج بدست آمده، می‌توان دریافت که تمامی معیارهای ارتعاشی شامل Acoustic، Vortex Shedding و Fluid Elastic Instability پاس شده و تیوب‌های سوپرهیتر اولیه ۱ در وضعیت ایمن قرار دارند.

شمایی از نتایج ارزیابی مدهای مختلف ارتعاشی تجهیز برای سوخت ۱۰۰ درصد gas.

ANTI-VIBRATION (NAT. FREQ.)	Unit	Quantity
Young's Modulus	Pa	1.80E+11
Mass Inertia	m^4	4.86705E-08
C1 Coeff. (freq. mode 1)	-	9.87
C2 Coeff. (freq. mode 2)	-	39.48
NO# AntiVib. Baffles	-	0
Distance bw AntiVib. Baffles	m	2.75
Natural Frequency (mode 1)	c/s	12.38840792
Vibration Status (mode 1)	-	OK
Natural Frequency (mode 2)	c/s	49.55363166
Vibration Status (mode 2)	-	OK

NOISE (ACOUSTIC FREQ.)	Unit	Quantity
Gas Sonic Velocity	m/s	657.6169
Wave Length	m	15.18
NO# Acous. Baffles	-	0
Acoustic Frequency (mode 1)	c/s	43.3213
Noise Status (mode 1)	-	OK

FLUID ELASTIC EXCITEMENT (INSTABILITY)	Unit	Quantity
Do you consider any internal support?	-	YES
Damping Factor (ζn)	-	0.010
Approach for Critical Vel. Coeff. "C"	-	IN-LINE TUBES
Based on ASME Sec. III, Div. 1, App., N1331	-	3.4
Mass (Reduced) Damping Factor (Cn)	-	253.9851
Critical NonDim. (Reduced) Vel.	-	54.1855
Critical Gas Vel.	m/s	25.5755
FEE	-	2.7519
[FEE<C] Oscillation Status	-	OK
Cn > 64	-	OK

VORTEX SHEDDING	Unit	Quantity
XT	-	2.1654
XL	-	2.3622
Strouhal Number	-	Strh. Calc.
	-	0.2326
Vortex Shedding Frequency	-	126.3840

جمع‌بندی

در مطالعه حاضر به ارائه رویه تحلیل تنش سوپرهیتر اولیه بویلر تک درام پرداخته شد. همچنان که از دقت در نتایج حاصل ملاحظه گردید، چپش تیوب‌ها، ابعاد و بارهای اعمالی به تجهیز متناسب با یکدیگر بوده و از این رو تحلیل تنش و ارتعاشات انجام شده، مورد تایید می‌باشد. همچنین در این مقاله به نکات مهم و تاثیرگذار در ارزیابی وضعیت پایداری و تنش تجهیز سوپرهیتر اشاره شده است.

مراجع و منابع

- Moghari, M., Technical Manual Vibration & Noise Calculation Dec 4, 2019.
- CMI Technical Notes
- Superheater Supports and Spacers,IPS
- ASME, 2022. ASME Code for Pressure Piping, B31.1: Power Piping
- ASME, 2023. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section I: Rules for Construction Of Power Boilers.
- ASME, 2023. ASME Boiler and Pressure Vessel Code, Section II, Part D. American Society of Mechanical Engineers, New York.
- Fired Heaters for General Refinery Service, API 560

عکس از سامان صاحب جلال

گاهنامه تخصصی

آبچرخ

شماره ۱۱ - پاییز ۱۴۰۳

بررسی ارتباط میان نوآوری باز، چابکی استراتژیک

و موفقیت در بازاریابی B2B



رضا براتی، کیوان نجاتی

چکیده:

به کارگیری نوآوری باز و چابکی استراتژیک در سازمان ها منجر به موفقیت در بازار و توسعه کسب و کار خواهد شد. با این حال، بازارها اغلب با چالش های منحصر به فردی روبرو هستند که نیازمند رویکردهای متناسب با نوآوری باز مورد نیاز خود میباشند. ایجاد همزمان نوآوری در سازمانی چابک زمینه ساز موفقیت هرچه بیشتر سیاست های توسعه بازار خواهد شد. از آنجایی که موفقیت در بازار مرهون کسب مزیت رقابتی و بهبود سطح رقابت پذیری است سازمان هایی که به دنبال کسب موفقیت های بزرگ در بازار هستند باید به دنبال توسعه عوامل زمینه ساز کسب مزیت رقابتی باشند. در نتیجه، در این مقاله به بررسی عوامل زمینه ساز بهبود سطح رقابت پذیری پرداخته شد. نتایج حاکی از آن بود که چابکی استراتژیک و نوآوری باز از مهم ترین عوامل زمینه ساز کسب مزیت رقابتی و موفقیت در بازار هستند.

کلمات کلیدی: نوآوری باز، چابکی، استراتژی بازاریابی

مقدمه

در سال ۲۰۲۲، ۸۸ درصد از شرکت های بزرگ بازار، ابزارهای فن آوری مانند بازاریابی مبتنی بر تجزیه و تحلیل بازار را پیاده سازی کرده اند. این سرمایه گذاری های انبوه که با در نظر گرفتن تجزیه و تحلیل های بدست آمده از داده های بزرگ با حجم زیاد، سرعت بالا و ناهمگن به عنوان عاملی در فرآیند تصمیم گیری صورت گرفته، بر نیاز به تغییرات عمده و نوآورانه برای بخش بازاریابی تاکید می کند. در واقع بازاریابان باید از تجزیه و تحلیل های نوآورانه استفاده کنند زیرا با فرآیند نوآوری محصول مرتبط هستند و به آنها اجازه می دهند در اسرع وقت با دستیابی به مشتری مناسب، در زمان مناسب به اطلاعات مناسب برای فروش محصول دسترسی داشته باشند. [۱]

در نظر گرفتن پیشرفت قابل توجه فناوری، ارتباطات جهانی و تغییرات سریع در بازار که این دوره را دوره نوآوری تعریف می کند، بیش از همیشه برای پیشرفت منطقه اهمیت دارد. نوآوری به سازمان ها امکان می دهد تا ایده ها، روش ها و اشیاء جدیدی را توسعه دهند که افراد آنها را جدید و ارزشمند می دانند. پیشرفت، در اشکال مختلف خود، می تواند اقتصادها را تغییر دهد، استانداردهای زندگی را بهبود بخشد و مناطق را در جبهه پیشرفت اجتماعی و اقتصادی قرار دهد. نوآوری به عنوان یک مفهوم، به ضرورت انطباق ویژگی های منحصربه فرد هر منطقه با توجه به عدم قطعیت ها و ریسک های ذاتی آن تاکید نموده چراکه ترکیب عوامل نامبرده در روند ایجاد نوآوری تاثیر گذار خواهد شد. تفاوت عملکرد نوآورانه با عملکرد بدون نوآوری در این است که متناسب با شرایط منطقه ای و حوزه کاری یک سازمان می تواند باعث تفاوت هایی در تغییرات اقتصادی آن، تطبیق پذیری در استخدام ها، اختلافات درآمدی و میزان سودآوری گردد که به خصوص در استراتژی نوآوری تطبیق پذیر مشاهده می گردد. [۲]

چالش هایی که کسب و کارها در سرتاسر جهان با آن روبه رو می شوند آنقدر بزرگ هستند که نمی توان به تنهایی با آن مقابله کرد. ایجاد ارزش مشترک جدید از طریق نوآوری ضروری است. ویژگی های همگرای جهانی شده، مانند تحول دیجیتال، تعامل جهانی و پایداری، شتابی را برای رشد تصاعدی در ارزش مشترک به رهبری نوآوری فراهم کرده اند. نزدیک شدن به پارادایم های نوآوری جدید مستلزم همکاری یکپارچه، اشتراک ارزش، میزبانی اکوسیستم ها و پذیرش سریع است. تحقیقات مشترک روند را تسریع کرده و استانداردهای نتایج را افزایش خواهد داد. برخلاف تحولات صنعتی قبلی، نسل جدید تغییرات صنعتی بر همراهی و ادغام موضوعات و تخصص متکی است که این مهم نیازمند توسعه سطح چابکی در نوآوری است. [۳]

مروری بر ادبیات پژوهش

نوآوری باز^۱

نوآوری باز به عنوان «استفاده از جریان های ورودی و خروجی هدفمند دانش برای تسریع نوآوری داخلی و گسترش بازارها برای استفاده خارجی از نوآوری» تعریف می شود. [۴] در واقع نوآوری باز به عنوان یک ابزار کارآمد، با استفاده از دانش خلاقانه در مسیری هدفمند از جریان های ورودی و خروجی تعریف می شود، که به تمام مولفه های مورد نیاز در راستای گسترش بازار و افزایش سود در بازه باند مدت کمک شایانی رساند.

اجرای نوآوری باز در یک شرکت عمدتاً از طریق سه روش مختلف قابل دستیابی است: اول، کسب فناوری از خارج سازمان در فرآیندهای باز اکتشافی (نوآوری درون گرا). دوم، انتقال فن آوری به بیرون در فرآیندهای بهره برداری باز (نوآوری بیرونی) و سوم، نوآوری توامان. [۵]

این اشتراک دانش بین بازیگران مختلف را می توان در هر مرحله از فرآیند نوآوری، در کارکردهای مختلف از تحقیقات بازار، آینده نگری، تحقیق و توسعه تا تولید و بازاریابی و همچنین از تولید ایده تا تجاری سازی، به کار برد. بنابراین، ارزش بالقوه نوآوری باز چند برابر است. برخی از اهداف تأثیرگذار نوآوری باز عبارتند از:

۱. اهرم یک مجموعه بزرگتر و متنوع تر از منابع خارجی به روشی سریع، مقرون به صرفه و انعطاف پذیر.
۲. افزایش سرعت توسعه و نوآوری و بهبود عملکرد تجاری از طریق افزایش استفاده کارآمد و مؤثر از منابع خارجی و داخلی.
۳. کاهش ریسک شکست از طریق تطبیق بهتر محصولات و ترجیح مشتری/مصرف کننده. [۴]

پارادایم نوآوری باز راهبردی را برای یک شرکت پیشنهاد می کند تا منابع نوآوری خود (مانند ایده ها، دانش، فرصت ها) را افزایش دهد و توانایی شرکت برای بهره برداری از منبع نوآوری را بهبود بخشد. نوآوری باز ورودی به معنای فرآیند بیرونی شرکت برای دسترسی به منابع نوآوری، فناوری، دانش و ایده های نوآورانه شرکت از فراتر از مرزهای خود برای تکمیل منابع داخلی است. [۵] برخی از منابع سیاست گذاری نوآوری باز به منظور تبادل دانش به شرح ذیل است:

- تبادل دانش با پرسنل نوآور سازمان
- تبادل دانش با تامین کنندگان
- تبادل دانش با رقبای بازار مشترک
- تبادل دانش با کارفرمایان

چابکی^۲

چابکی سازمانی شرکت توانایی شرکت برای ایجاد تغییرات نوآورانه، فوری و غیرمنتظره است. پیاده سازی چابکی توسط شرکت برای افزایش نوآوری تجاری و همچنین افزایش مزیت رقابتی کسب و کار بسیار مهم است. چابکی سازمانی کلید افزایش مزیت رقابتی شرکت است. نتایج تحقیقات قبلی نشان داد که چابکی سازمانی بر توانایی شرکت در نوآوری تأثیر دارد. چالش های کنونی کسب و کار کاملاً داخلی و خارجی هستند. تغییر ذائقه های مصرف کنندگان، فناوری سریع و جهانی شدن به تلاطم کسب و کار، غیرقابل پیش بینی، خصومت و پیچیدگی کمک کرده است. به دلیل افزایش تجارت رقابتی، شرکت باید نوآورتر و سازگارتر باشد. در دستیابی به عملکرد بالای کسب و کار و کسب مزیت رقابتی، از نقش اجرای نوآوری توسط شرکت جدایی ناپذیر است. [۵]

چابکی استراتژیک در بازار^۳

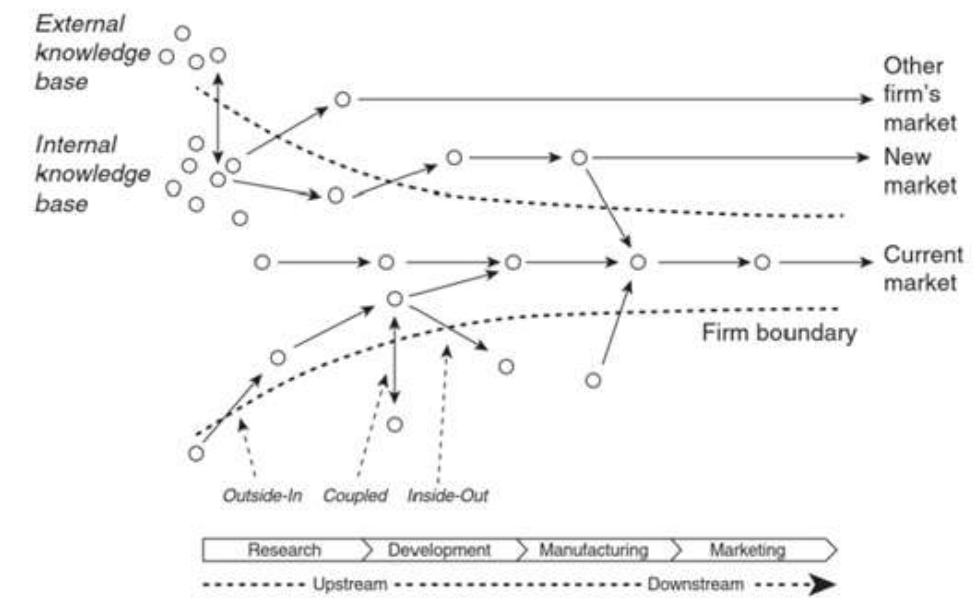
چابکی استراتژیک در ابتدا به عنوان یک مفهوم در سطح ساختار سازمانی ظاهر شد تا توضیح دهد چگونه شرکت ها می توانند در مواجهه با اختلالات بازار تطبیق داده و نوآوری کنند. این جریان از تحقیقات ریشه در این مفهوم دارد که سازمان ها باید بتوانند منابع را به برنامه های بلندمدت اختصاص دهند و در عین حال انعطاف پذیری برای تغییر مسیر یا جهت را در مواجهه با تغییرات غیرمنتظره حفظ کنند. بنابراین، چابکی استراتژیک به عنوان توانایی «بهره برداری یا ایجاد الگوهای در حال تغییر استقرار منابع به شیوه های متفکرانه و هدفمند، اما همچنین سریع و زیرکانه به جای گروگان ماندن در برنامه های از پیش تعیین شده پایدار و مدل های تجاری موجود» تعریف شده است. [۶]

چابکی استراتژیک یک قابلیت سازمانی است که هدف آن ایجاد تعهدات استراتژیک در عین حفظ انعطاف پذیری تغییر جهت استراتژیک در پاسخ به تغییرات محیطی است. اخیراً، نقش چابکی استراتژیک به طور فزاینده ای حول توانایی سازمان برای «انطباق با شرایط خارجی متغیر» و همسویی با «مطالبات محیط خارجی» می چرخد. در واقع، محیط خارجی برای چابکی استراتژیک قابل چشم پوشی نیست، زیرا تغییرات می توانند سریع باشند و نیازمند تبادل فرامرزی دانش و تخصص در داخل و بین سازمان ها هستند. یکی از راه های انجام این کار از طریق نوآوری باز است. «فرایند نوآوری

توزیع‌شده مبتنی بر جریان دانش مدیریت شده هدفمند در سراسر مرزهای سازمانی». بنابراین، نوآوری باز پتانسیل پرورش چابکی استراتژیک را دارد. [۶]

بحث و نتیجه گیری

نهایتاً، سازمان‌هایی که در مناطق مختلف گسترش می‌یابند، باید به پارامترهای منطقه‌ای اقتصادی، سیاسی، توسعه‌ای و تاریخی توجه کنند تا بتوانند محصولات/خدمات خود را به طور موثری با این شرایط سازگار سازند. با مقابله با این مسائل، می‌توانند ظرفیت خود را برای پذیرش و بهره‌برداری از نوآوری بهبود بخشند. استراتژی نوآوری باید با مجموعه‌ای از ذینفعان همکاری کرده و چندین جنبه را در نظر بگیرد تا بتواند به درستی برای نوآوری پایدار برنامه‌ریزی کنند. مدل هلیکس چهارگانه بسیار مهم است زیرا تأکید می‌کند چندین عامل از صنعت، دولت، دانشگاه و جامعه مدنی به طور فعال در فرآیند نوآوری شرکت می‌کنند. نوآوری پایدار که از طریق این رویکرد همکارانه ترویج می‌یابد، پایه‌ی پیشرفت منطقه‌ای می‌شود. این رویکرد سازمان‌ها را قادر می‌سازد تا با شرایط منحصربه‌فرد اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی خود سازگار شوند و همزمان با چالش‌هایی احتمالی مقابله کنند. [۳]



شکل ۱، مدل عوامل نوآوری باز کاستا و همکاران ۲۰۲۰ [۳]

در حالی که شرکت‌ها در تلاش برای درک چگونگی توسعه چابکی استراتژیک هستند، تحقیقات اخیر تعدادی از اقدامات را شناسایی کرده، که برای سازمان‌ها حیاتی هستند. به عنوان مثال، در یک پژوهش سه قابلیت فرا سازمانی را ایجاد کردند:

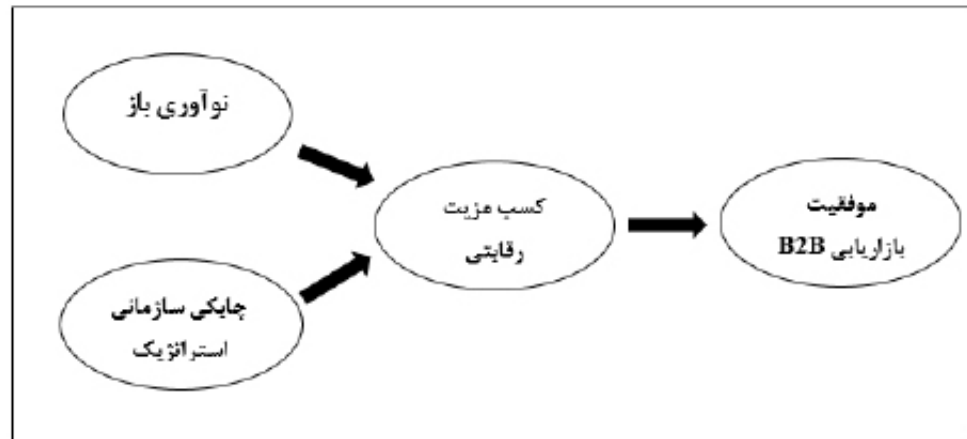
- حساسیت استراتژیک
- تعهد جمعی
- سیال بودن منابع

این فرآیندها برای شرکت‌ها مورد نیاز است تا با احساس فرصت‌های جدید و اجرای اقدامات مناسب، به همسویی با شرایط بازار دست یابند. تحقیقات دیگر بر تأثیر طراحی سازمانی تأکید کرده است، و پیشنهاد می‌کند که شرکت‌ها به سطح بالایی از انعطاف‌پذیری برای تطبیق با تحولات مورد نیاز برای نشان دادن چابکی استراتژیک نیاز دارند. با این حال، دیگران این فرآیندها و عوامل را با هم ترکیب کرده اند، یا بخش‌هایی از آنها را انتخاب کرده اند، به عنوان نقطه شروع تحقیق در مورد انواع پدیده‌های سازمانی، مانند

- کسب فرصت در بازارهای نوظهور و تثبیت شده
- ایجاد سازمان‌های بازارگرا
- سرعت بخشیدن به بین‌المللی سازی بنگاه‌های کوچک و متوسط چند ملیتی [۶]

اجرای نوآوری باز در یک شرکت برای موفقیت شرکت بسیار مهم است چراکه سبب ایجاد خطوط تجاری جدید توسط شرکت به کمک ساختار تشکیل دهنده و خدمات مستقل خود می‌شود. پارادایم نوآوری باز می‌تواند با حذف محدودیت‌های سنتی توسط سازمان، عمق نوآوری را از حالت سنتی به کمک مرزهای سازمانی غنی‌تر کند. ایده‌ها، فناوری‌ها و راه‌حل‌های محیط‌های خارجی ممکن است در داخل ظرف نوآوری گنجانده شوند و نوآوری‌های توسعه‌یافته

توسط شرکت ممکن است حتی در خارج از شرکت مورد بهره‌برداری قرار گیرند. نتایج تحقیقات قبلی نشان داد که نوآوری باز یک عامل بسیار مهم برای بهبود عملکرد تجاری و مزیت رقابتی است. یافته‌های مشابه نشان داد که افزایش رقابت پذیری تأثیری در افزایش عملکرد کسب و کار خواهد داشت. این مطالعه تحقیق نشان داد که نوآوری باز عامل واسطه‌ای تأثیر چابکی سازمانی بر عملکرد سازمان است. [۵]



شکل ۲، مدل مفهومی ارتباط مولفه‌های سازمانی [۵]

جمع بندی

چابکی سازمانی و نوآوری باز اثر مثبت و قابل توجهی بر رقابت‌پذیری کسب و کارهای کوچک و متوسط دارد. از آنجایی که کسب مزیت رقابتی و توانایی رقابت پذیری یکی از مهم‌ترین عوامل موفقیت بازاریابی و فروش در سطح بازار است بنابراین می‌توان به نقش شفاف و روشن چابکی سازمانی و نوآوری باز در موفقیت و توسعه سازمان اشاره کرد. نتایج حاکی از آن است که مهم‌ترین عامل موفقیت در بازاریابی و فروش کسب مزیت رقابتی و افزایش سطح رقابت پذیری است که تحقق هردوی آن‌ها در گرو توسعه چابکی استراتژیک و به واسطه‌ی آن نوآوری باز است.

فهرست منابع

- [1] L. Ravat, A. H. Goujot and S. H. Haudebert, «Data-driven innovation capability of marketing: an exploratory study of its components and underlying processes,» HAL Open Science, pp. 12023, 24-.
- [2] Y. Andriyani, S. W. Apdhi Yo and R. S. Kartika, «Adaptive innovation model design: Integrating agile and open innovation in regional areas innovation,» Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity, vol. 10, no. 100197, pp. 12024, 11-.
- [3] J. Costa and J. Matias, «Open Innovation 4.0 as an Enhancer of Sustainable Innovation Ecosystems,» Sustainability, vol. 12, no. 8112, 2020.
- [4] C. Burchardta and B. Maischb, «Digitalization needs a cultural change – examples of applying Agility and Open Innovation to drive the digital transformation,» Procedia CIRP, vol. 84, pp. 1122019, 118-.
- [5] H. Mulyono and A. R. Syamsuri, «Organizational Agility, Open Innovation, and Business Competitive Advantage: Evidence from Culinary SMEs in Indonesia,» International Journal of Social Science and Business, vol. 7, pp. 268, 276-2023.
- [6] S. Hutton, R. Demir and S. Eldridg, «A microfoundational view of the interplay between open innovation and a firm's strategic agility,» Long Range Planning, vol. 57, p. 20, 2024.

فلسفه وجودی:

دانش نوین ما، صنعت را به خدمت محیط زیست در می‌آورد.



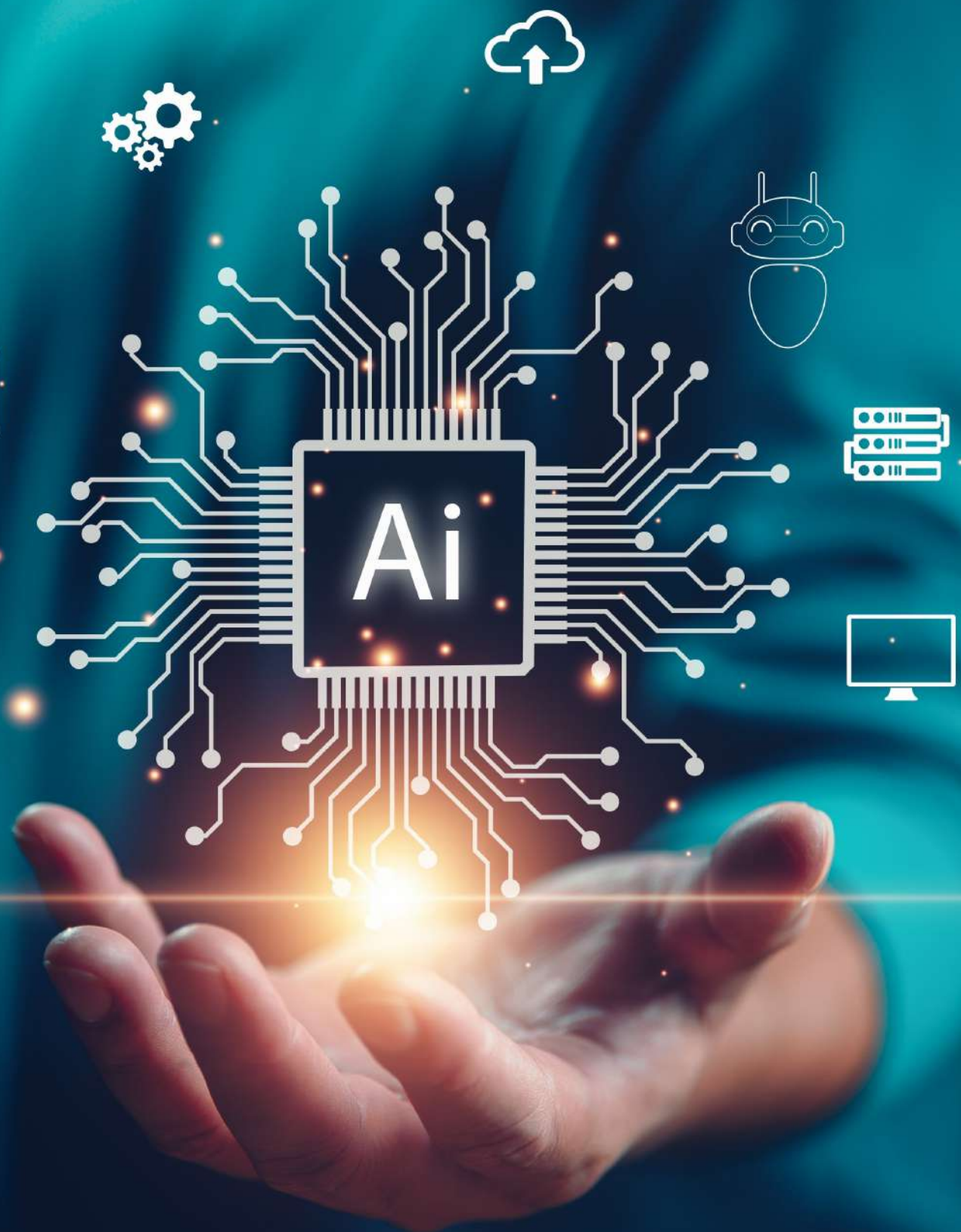
گاهنامه تخصصی
آبجی
شماره ۱۱ - پاییز ۱۴۰۳

نظریه بازی برای مدیران در آستانه تولد هوش مصنوعی

فرشید پرستار



به نظر می‌رسد که من و هم سن و سال‌هایم آنقدر خوش شانس بوده ایم که رادیو لامپی‌های قدیمی را بر طاقچه مادر بزرگ‌هایمان دیده‌ایم و صدای بم و دلنشین آنرا در خاطر داریم. همچنین بازی کودکان امروزی با اشباح پنهان در پشت چشم بندهای VR را نظاره‌گیریم. شاهد پیری زودرس انقلاب صنعتی و رشد و از قدرت افتادن انقلاب خدمات و شکفتن جوانه‌های انقلاب تجربه هستیم. اگر انقلاب کشاورزی پس از هزاران سال بوقوع پیوست و پس از هزار و اندی سر و کله انقلاب صنعتی پیدا شد، انقلاب خدمات پس از تنها چند قرن پیر شد و به نفس افتاد



حال چه کسی می‌داند انقلاب تجربه، بدون حل شدن سوالات اصلی از کجا آمده‌ام؟ آمدنم بهر چه بود؟ چه وقت با انقلاب نمی‌دانم دیگری مواجه شود؟ و یا شده‌ایم؟ انقلاب تجربه با ظهور هوش مصنوعی به کجا می‌رود؟ ارزش آفرینی‌های متاورس و فروش زمین‌های بهشت موعود توسط راهبان این دنیای جدید ما را به کجا می‌برد؟ شاید در ابتدا به نظر برسد این مقدمه و تطویل کلام ارتباطی آشکار با نظریه بازی و مدیران نداشته باشد. اما زمانی‌که بدانیم جان نش^۱ با نظریه بازی‌ها در تصمیمات اقتصادی، مدیریتی و استراتژیک و تورینگ^۲ با ماشین محاسبش که هم عصر و نسل بوده‌اند در آغاز انقلاب اخیر با همدستی‌های پنهان، ما را به اینجا که هستیم رسانده‌اند، به ارتباطات در هم تنیده‌ای که در سامانه‌های پیچیده هوش مصنوعی وجود دارد بیشتر آشنا می‌شویم

۱ John Forbes Nash Jr. (۱۳ ژوئن ۱۹۲۸ - ۲۳ مه ۲۰۱۵) ریاضی دان آمریکایی بود. او مشارکت برجسته ای در زمینه نظریه بازی، هندسه دیفرانسیل و معادله دیفرانسیل با مشتقات جزئی داشت. او برنده جایزه نوبل اقتصاد شد

۲ Alan Mathison Turing (۲۳ ژوئن ۱۹۱۲ - ۷ ژوئن ۱۹۵۴) ریاضی دان، دانشمند رایانه، منطق‌دان، فیلسوف، زیست-ریاضی دان و رمزنگار انگلیسی بود. تورینگ را پدر علوم کامپیوتر و هوش مصنوعی می‌دانند و مهمترین جایزه ی علمی رایانه به افتخارش، جایزه تورینگ نام گرفته است

مقاله حاضر هشداری است به آستانه‌ای که در آن قرار داریم و اینکه غفلت از آن نه تنها سازمان ما که سازمان‌هایی غافل از این آستانه را تهدید می‌کند. در اینجا خوب است قدری تدقیق کنیم و به تفکیک جلو برویم و ببینیم کجا هستیم:

- نظریه بازی‌ها یک ابزار قدرتمند برای تصمیم‌گیری استراتژیک و یک شاخه از ریاضیات است که به تحلیل تعاملات بین تصمیم‌گیرندگان می‌پردازد. در دنیای مدیریت، این نظریه به ما کمک می‌کند تا تصمیمات بهتری بگیریم، به ویژه در شرایطی که تصمیمات ما تحت تأثیر تصمیمات دیگران قرار دارد.

-

نظریه بازی‌ها کمک می‌کند به:

- درک رقابت: در بازارهای رقابتی، شرکت‌ها باید تصمیمات خود را با توجه به اقدامات رقبای خود بگیرند. نظریه بازی‌ها به ما کمک می‌کند تا رفتار رقبایمان را پیش‌بینی کرده و استراتژی‌های مناسب را اتخاذ کنیم.
- مذاکره: در مذاکرات تجاری، نظریه بازی‌ها می‌تواند به ما کمک کند تا بهترین توافق را برای خودمان بدست آوریم.
- همکاری: در برخی موارد، همکاری بین شرکت‌ها می‌تواند به نفع همه باشد. نظریه بازی‌ها به ما کمک می‌کند تا شرایطی را ایجاد کنیم که همکاری بین شرکت‌ها امکان‌پذیر باشد.
- استراتژی‌های قیمت‌گذاری: تعیین قیمت بهینه برای محصولات و خدمات با توجه به رقابت بازار.
- انتخاب کانال‌های توزیع: انتخاب بهترین کانال برای توزیع محصولات با توجه به رفتار رقا و مشتریان.
- مذاکرات تجاری: دستیابی به توافقات برد-برد در مذاکرات با شرکا و مشتریان.
- مدیریت زنجیره تأمین: بهینه‌سازی جریان کالا و اطلاعات در زنجیره تأمین با در نظر گرفتن رفتار سایر شرکت‌ها (ماتریس کرالجیک و استفاده از ابزار آنتروپی شانون در تعیین وزن و تشخیص خریده‌ای استراتژیک، اهرمی، گلوگاهی و عادی).
- طراحی حراج‌ها: طراحی مکانیزم‌های حراج به گونه‌ای که منجر به حداکثر درآمد شود.
- مدیریت منابع: در سازمان‌ها، منابع محدودی وجود دارد و باید به بهترین نحو از آن‌ها استفاده شود. نظریه بازی‌ها می‌تواند به ما کمک کند تا در تخصیص منابع تصمیمات بهتری بگیریم.

مفاهیم کلیدی در نظریه بازی‌ها

- بازیکن: هر فرد یا سازمان که در یک بازی تصمیم‌گیری می‌کند.
- استراتژی: مجموعه اقداماتی که یک بازیکن می‌تواند انجام دهد.
- پرداخت: نتیجه‌ای که هر بازیکن به ازای انتخاب یک استراتژی خاص بدست می‌آورد.
- تعادل نش: حالتی که در آن هیچ بازیکنی انگیزه‌ای برای تغییر استراتژی خود ندارد.

مثال‌های کاربردی:

- دیلمای زندانی:** دو سارق دستگیر شده‌اند و هر کدام باید تصمیم بگیرند که اعتراف کنند یا نکنند (اگر یکی خیانت کند آزاد می‌شود، و دیگری حکم سنگین می‌گیرد و اگر هر دو اعتراف نکنند به جرم سبکتری محکوم می‌شوند که در اینجا به خیال کسب آزادی هر دو خیانت می‌کنند و به محکومیت سنگین‌تر می‌رسند). این مثال نشان می‌دهد که چگونه گاهی اوقات تعقیب منافع فردی می‌تواند به نتیجه‌ای منجر شود که به نفع هیچ‌کدام از طرفین نباشد.
- بازی مرغ:** دو راننده با سرعت به سمت هم می‌آیند و هر کدام باید تصمیم بگیرند که از مسیر خود منحرف شوند یا نه. این مثال نشان می‌دهد که چگونه گاهی اوقات رقابت شدید می‌تواند به نتایج فاجعه‌آمیز منجر شود.

در کل، نظریه بازی‌ها یک ابزار قدرتمند برای تحلیل تصمیم‌گیری در شرایط پیچیده است. با استفاده از این نظریه، مدیران می‌توانند تصمیمات بهتری گرفته و نتایج بهتری برای سازمان خود کسب کنند.

هوش مصنوعی (AI) و نظریه بازی‌ها دو حوزه علمی هستند که به شدت با هم در ارتباطند و در بسیاری از زمینه‌ها، از جمله اقتصاد، سیاست و علوم کامپیوتر، کاربرد دارند. این دو حوزه وقتی با هم ترکیب می‌شوند، ابزاری قدرتمند برای تحلیل و پیش‌بینی رفتارهای پیچیده سیستم‌ها و افراد فراهم می‌کنند.

هوش مصنوعی چه نقشی دارد؟

هوش مصنوعی به سیستم‌ها اجازه می‌دهد تا یاد بگیرند، استدلال کنند و تصمیم بگیرند. با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، سیستم‌های هوش مصنوعی می‌توانند داده‌های بزرگ را تحلیل کرده و الگوهای پیچیده‌ای را شناسایی کنند. این قابلیت‌ها، به هوش مصنوعی اجازه می‌دهد تا در بازی‌های پیچیده، استراتژی‌های بهینه را پیدا کند.

حفظ تعادل در این ترکیب

حفظ تعادل در سیستم‌های پیچیده‌ای که با استفاده از هوش مصنوعی و نظریه بازی‌ها مدل‌سازی می‌شوند، بسیار مهم است. این تعادل به معنای یافتن نقطه‌ای است که در آن هیچ بازیکنی انگیزه‌ای برای تغییر استراتژی خود ندارد. این نقطه، به عنوان تعادل نش شناخته می‌شود. (این تعادل لزوماً به معنای نقطه بهینه تصمیم‌گیری نیست (مثال دو سارق و تصمیم به خیانت).

مثالی از کاربرد:

فرض کنید می‌خواهیم یک سیستم حمل‌ونقل هوشمند طراحی کنیم. در این سیستم، خودروهای خودران باید با هم هماهنگ شوند تا ترافیک روان باشد. با استفاده از نظریه بازی‌ها، می‌توانیم مدل کنیم که هر خودرو چه تصمیماتی می‌تواند بگیرد (مثلاً تغییر مسیر، سرعت گرفتن، یا توقف) و با استفاده از هوش مصنوعی، بهترین استراتژی برای هر خودرو را پیدا کنیم تا سیستم در حالت تعادل باشد و ترافیک روان باشد.

چالش‌ها و آینده

با وجود تمام مزایای این ترکیب، چالش‌هایی نیز وجود دارد. برخی از این چالش‌ها عبارتند از:

- پیچیدگی محاسبات: مدل‌های نظریه بازی‌ها به ویژه برای بازی‌های با تعداد بازیکنان زیاد، بسیار پیچیده می‌شوند.
- عدم قطعیت: در دنیای واقعی، اطلاعات همیشه کامل نیست و عوامل تصادفی وجود دارند که پیش‌بینی آن‌ها دشوار است.
- اخلاق: استفاده از هوش مصنوعی برای تصمیم‌گیری در برخی موارد، مسائل اخلاقی را مطرح می‌کند.

با پیشرفت تکنولوژی و توسعه الگوریتم‌های جدید، انتظار می‌رود که کاربردهای هوش مصنوعی و نظریه بازی‌ها در آینده بیشتر شود و در حل چالش‌های پیچیده بشر نقش مهمی ایفا کند. در کل، ترکیب هوش مصنوعی و نظریه بازی‌ها یک ابزار قدرتمند برای تحلیل و پیش‌بینی رفتارهای پیچیده سیستم‌ها و افراد است. با استفاده از این ابزار، می‌توانیم تصمیمات بهتری گرفته و آینده‌ای بهتر برای خود و جامعه بسازیم. ترکیب هوش مصنوعی و نظریه بازی‌ها، مرزهای جدیدی را در علوم کامپیوتر، اقتصاد، و سایر حوزه‌ها می‌گشاید. این همگرایی، به سیستم‌های هوش مصنوعی اجازه می‌دهد تا در محیط‌های پیچیده و پویا، تصمیمات استراتژیک و هوشمندانه‌ای اتخاذ کنند.

چرا این ترکیب مهم است؟

- درک بهتر رفتارهای پیچیده: با استفاده از نظریه بازی‌ها، می‌توانیم مدل‌های دقیق‌تری از تعاملات بین عوامل مختلف ایجاد کنیم. هوش مصنوعی نیز می‌تواند به ما کمک کند تا این مدل‌ها را پیچیده‌تر و واقع‌گرایانه‌تر کنیم. وقتی تعداد المان‌ها در نظریه بازی‌ها زیاد شده و عدم قطعیت نیز دخیل گردد دیگر مدل‌های قدیمی کارایی خود را به دلیل پیچیدگی از دست می‌دهند و سطح معادلات ریاضی در محدوده عملکرد هوش مصنوعی قرار می‌گیرد و نیاز است بشمار داده، داده آمایی گردد و محدوده مسئله از دایره هوش آدمی خارج شده و به نوعی شهود ماشینی احتیاج است.
- طراحی سیستم‌های هوشمندتر: با ترکیب این دو حوزه، می‌توانیم سیستم‌های هوشمندی طراحی کنیم که بتوانند در تعامل با انسان‌ها و سایر سیستم‌ها، عملکرد بهتری داشته باشند.

کاربردهای آینده این ترکیب

اقتصاد دیجیتال:

- بازاریابی شخصی‌سازی شده: با استفاده از نظریه بازی‌ها و هوش مصنوعی، می‌توانیم مدل‌های دقیق‌تری از رفتار مصرف‌کننده ایجاد کنیم و به این ترتیب، پیشنهادهای شخصی‌سازی شده‌تری به مشتریان ارائه دهیم (کاری که هم اکنون آمازون را قادر ساخته کالاهای مرتبط با زنان باردار را پیش از آنکه خودشان بدانند باردار هستند از تحلیل تصمیم‌گیری خرید مرتبط با ویارانه‌های بارداری به آنها پیشنهاد دهد)!

- طراحی مکانیزم‌های حراج: می‌توانیم مکانیزم‌های حراج هوشمندتری طراحی کنیم که منجر به حداکثر بازدهی برای فروشندگان و خریداران شود.

- سیستم‌های حمل و نقل هوشمند:

- بهینه‌سازی ترافیک: با استفاده از نظریه بازی‌ها، می‌توانیم مدل کنیم که هر وسیله نقلیه چه تصمیماتی می‌تواند بگیرد (مثلاً تغییر مسیر، سرعت گرفتن یا توقف) و با استفاده از هوش مصنوعی، بهترین استراتژی برای هر وسیله نقلیه را پیدا کنیم تا ترافیک روان باشد.

سلامت:

- طراحی داروهای جدید: با استفاده از نظریه بازی‌ها، می‌توانیم مدل‌های دقیق‌تری از تعاملات بین مولکول‌های دارو و سلول‌های بدن ایجاد کنیم و به این ترتیب، داروهای موثرتر و ایمن‌تری طراحی کنیم (زیست فناوری یا بیوتکنولوژی (Biotechnology)“).

امنیت سایبری:

پیش‌بینی حملات سایبری: با استفاده از نظریه بازی‌ها، می‌توانیم مدل کنیم که مهاجمان سایبری چه استراتژی‌هایی را برای حمله به سیستم‌ها اتخاذ می‌کنند و به این ترتیب، سیستم‌های دفاعی بهتری طراحی کنیم.

چالش‌ها و آینده

با وجود تمام پتانسیل‌های این ترکیب، چالش‌هایی نیز وجود دارد:

- پیچیدگی محاسبات: مدل‌های نظریه بازی‌ها به ویژه برای سیستم‌های بزرگ و پیچیده، بسیار پیچیده می‌شوند.
- عدم قطعیت: در دنیای واقعی، اطلاعات همیشه کامل نیست و عوامل تصادفی وجود دارند که پیش‌بینی آن‌ها دشوار است (ریزش بازارهای سهام به واسطه ربات‌های تنظیم شده که با هم ناگهان بر اساس الگوریتمی خاص اقدام به خرید یا فروش می‌کنند).
- اخلاق: استفاده از هوش مصنوعی برای تصمیم‌گیری در برخی موارد، مسائل اخلاقی را مطرح می‌کند.

با این حال، با پیشرفت تکنولوژی و توسعه الگوریتم‌های جدید، انتظار می‌رود که کاربردهای هوش مصنوعی و نظریه بازی‌ها در آینده بیشتر شود و در حل چالش‌های پیچیده بشر نقش مهمی ایفا کند.

در کل، ترکیب هوش مصنوعی و نظریه بازی‌ها یک مرز جدید در علم و فناوری است که می‌تواند به ما کمک کند تا دنیای پیچیده‌تری را درک کرده و تصمیمات بهتری بگیریم. این همه نویدبخش عصری جدید با نوزادی زود شکوفا شونده به نام هوش مصنوعی است که گاهی مسحور کننده است چنانکه یووال نوح هراری^۴ در انسان خردمند می‌گوید و گاهی ترسناک می نماید چنانکه آیزاک آسیموف^۵ در رمان‌هایش تصویر می‌کرد.

در نظریه بازی‌ها که در نهایت منجر به تصمیم‌سازی می‌گردد، آیا بازی‌های پنهانی (۲) که موشه هافمن^۶ و اِرِز یولی^۷ بیان می‌کنند لحاظ شده است؟ و اینکه همه نیک سرشتی افراد را در قالبی دگرگشتی و ماکیاولی بنا می‌شود و اخلاقیات مرسوم را به چالش می‌کشد! در سازمان‌های امروزی اخلاق کجا قرار دارد؟ مسئولیت‌های اجتماعی کجاست؟

۳ ترکیبی از علم زیست‌شناسی (بیولوژی) و فن (تکنولوژی) است. در این علم از موجودات زنده (ارگانیسم‌ها) و یا فرآیندهای زیستی برای تولید، تغییر و یا اصلاح فرآورده‌ها، بهبود نژاد گیاهان و جانوران و همین‌طور تولید میکروارگانیسم‌های خاص استفاده می‌شود. کمی علمی‌تر بخواهیم صحبت کنیم باید بگوییم، کارل کی در سال ۱۹۱۹ زیست فناوری را این‌طور تعریف کرد: «به‌کارگیری دانش‌های پزشکی و زیستی و اثر متقابل آن در فناوری‌های ساخت بشر». در واقع زیست فناوری با استفاده از علم بیولوژی به ما کمک می‌کند تا مشکلات زیستی را حل کنیم و محصولات گیاهی و جانوری بهبودیافته و مفید تولید کنیم.

۴ یووال نوح هراری (زاده ۲۴ فوریه ۱۹۷۶) پروفسور، روشن فکر، تاریخ دان، نظریه پرداز و پدید آور اسرائیلی و نیز استاد تاریخ دانشگاه عبری اورشلیم است که سه گانه پر فروش انسان خردمند: تاریخ مختصر بشر، انسان خداگونه: تاریخ مختصر آینده و ۲۱ درس برای قرن ۲۱ را نوشته است.

۵ آیزاک آسیموف، زاده ۲ ژانویه ۱۹۲۰ نویسنده آمریکایی روسی تبار گونه های علم به زبان ساده و علمی □ تخیلی، و استاد بیوشیمی در دانشگاه بوستون بود. او بیش از ۵۰۰ کتاب نوشته است.

۶ Moshe Hoffmanپژوهشگر، نویسنده و دانشمند علوم اجتماعی است که عمدتاً در زمینه های مرتبط با رفتار انسان، روان شناسی تکاملی، اقتصاد رفتاری و نظریه بازی ها فعالیت می کند. او در دانشگاه های معتبری مانند MIT (موسسه فناوری ماساچوست) و سایر مراکز علمی معتبر فعالیت کرده است. در سال ۲۰۲۲ با همکاری اِرِز یولی کتابی تامل برانگیز با عنوان « بازی های پنهان: قدرت شگفت آور نظریه بازی ها در توضیح رفتارهای غیر عقلانی بشر » به چاپ رسانده اند.

۷ Erez Yoeli دانشمند و محقق علوم رفتاری و اقتصادی است که عمدتاً بر موضوعات رفتارهای نوع دوستانه، همکاری، و اخلاقیات اجتماعی تمرکز دارد. او عضو آزمایشگاه همکاری (Collaboration Lab) در مدرسه کسب و کار MIT Sloan است. در سال ۲۰۲۲ با همکاری موشه هافمن کتابی تامل برانگیز با عنوان « بازی های پنهان: قدرت شگفت آور نظریه بازی ها در توضیح رفتارهای غیر عقلانی بشر » به چاپ رسانده اند.

مسائل روانشناسی و فلسفی که از ابتدای اسطوره سازی های بشری با انسان همراه بوده و از پارمنیدس^۸ سُلب انگار تا اخلافش که اتم های کروی تجزیه ناپذیر را برساننده جهان (آرخه) می دانستند، تا هراکلیتوس^۹ که می گفت در یک رودخانه دو بار نمی توان شنا کرد و همه چیز را در تغییر می دانست تا اخلافش در نظریه های کوانتومی و ریسمانی،که ریسمان های آفرینش را با جهان بالا به صورت سنتی آن منقطع کرده اند. همه، در سرگشتگی نسل Z دخیلند و آنها را چون کشتی بی لنگر، کژ می شد و مژ می شد در آورده اند.

خواب بشر خود شیفته قرن بیستم را آشفته ساخته و اَبر مرد نیچه‌ای، با تغییرات اقلیمیی مواجه شده که یا سرآغاز انقراض ششم است یا دگردیسی جدیدی که تاریخ شناخته شده تاکنون شاهدش نبوده. آیا اخلاق اسپیرال تعالی محور، که سازمان‌های امروزی در چند دهه اخیر بر مبنای فلسفه هگلی بنا کرده‌اند می‌تواند چالش‌ها و تناقض‌های رو به تزاید را در خود رفع کند و بشر را سر بلند از چرخه تکاملی پیش رو در پله دیگری از تجربه پدیدار شناسی روح قرار دهد؟ یا همچون گونه‌های قبلی منقرض شده‌ای به مانند دایناسورها، از صفحه روزگار به نفع گونه‌ای ماشینی از هوش رباتیک و یا زیست فناوری حذف کرده و در قالب دانشی خودآگاه و بر ساخته از فرهنگ جمعی منبعث از تمدن بشری، جهان مسیر دگر گشتی‌اش را ادامه می‌دهد؟ اگر در این دقیقه‌ی تاریخی، سر از گریبان گوشی‌های هوشمند چون خواب زدگان بیرون نیاوریم و خود را فراتر از آنچه ساخته‌ایم نسازیم، برای روح خودآگاه هستی و یا هر نام دیگری برآن می‌نهم چندان مهم نخواهد بود که بشر خودآگاه با این شمایل شناخته شده مسیر دگر گشتی را طی نماید و یا نوع دیگری از روح جمعی خودآگاه، که هیچ شباهتی با سلفش ندارد، در این بازی و رقص شیوا(۳)، مسیر را ادامه دهد. این نوشتار فقط برای طرح موضوع و شروعی تازه نوشته شد، شما نمی‌دانید چه بخشی از آن کار من است و چه بخشی کار GEMINI، این مختصر در واقع گشایش باب گفتگویی در مورد بازی جدیدی که در دل آن هستیم می‌باشد، جایگاه و نقش مینا بویلر و سازه‌های استراتژیک آن در دنیای شدیداً متحول شونده امروز، با نظر به دیگر بازیگران بازار پر چالش اقتصادی، فرهنگی و چگونگی نقش آفرینی برای بیشترین برد با استفاده از ابزار نوظهور هوش مصنوعی نیاز به آمادگی زود هنگامی دارد که شاید اکنون نیز برای آن دیر باشد. بر بزرگان این مجموعه معظم است که طرحی عاجل در تمام سطوح سازمان جهت بهره‌برداری از این فرصت که به زودی به تهدید مبدل خواهد شد در اندازند.

تعادل در بازی فردای نزدیک بسیار شکننده و بر لبه تیغ واقع شده و بازی بر لبه تیغ دشوارتر از آن است که بدون کمک هوش مصنوعی امکان‌پذیر باشد و بدون یاری گرفتن از آن محکوم به سقوط و یا چند پارگی بر مسیر تیز چالش‌های زیر ساختی هستیم. در دقیقه‌ای که خنجر آتش خشم اسکندر دروازه‌های زهدان امن تخت جمشید را می‌شکافت سنگتراشان مشغول تراشیدن سر ستون‌های زیبای نوزادی که هرگز به شکوفایی کامل نرسیده بود را می تراشیدند. مباد که بزرگان دانایی توانمندمان و هنرمندان صنعتگرمان در بستر امن مینا از شعله‌های درهم کوبنده و بی‌رحم فردای نزدیک غافل شوند.

منابع و پی نوشت :

۱- هوش مصنوعی در دوران باستان

اگر واقعا بخواهیم تاریخچه تلاش‌های هوش مصنوعی را دنبال کنیم باید به دوران باستان برگردیم. شاید عجیب به نظر برسد اما هزاران سال پیش اسطوره‌های باستانی در فرهنگ‌های مختلف، نسبت به انسان‌های مکانیکی و ربات‌های هوشمند آگاهی داشتند. در واقع در اندیشه‌ها و باورهای آن‌ها ردی از موجودی مصنوعی که به دست انسان خلق می‌شود و همانند انسان عمل می‌کند دیده می‌شود. در اساطیر یونانی، هفائستوس، خدای آهنگران، موجوداتی خودکار می‌سازد که به او و دیگران خدمت می‌کنند. به عنوان مثال کنیزانی از جنس طلا که زنده هستند و دارای فهم هستند به خوبی در آثار هومر وجود دارد. در واقع به نظر می‌رسد بشر از ابتدا به این موضوع که خودش یک موجودی خلق کند، بوده است. احتمالاً همان اندیشه‌ها منجر به این شده است که ما امروز هوش مصنوعی داریم.

۲-کتاب Hidden Games بازی های مخفی اثر موشه هافمن و ارز یولی

دو اقتصاددان دانشگاه MIT، نشان می‌دهند که چگونه نظریه بازی □ نظریه نهایی عقلانیت □ رفتار غیرمنطقی را توضیح می‌دهد. ما دوست داریم خودمان را منطقی بدانیم. این ایده پایه و اساس تحلیل اقتصادی کلاسیک رفتار انسان، از جمله دستاوردهای شگفت انگیز نظریه بازی است. اما همانطور که اقتصاد رفتاری نشان می‌دهد، بیشتر رفتارها به هیچ وجه منطقی به نظر نمی‌رسند □ که متأسفانه، اعتبار نظریه بازی‌ها را در دنیای واقعی مورد تردید قرار می‌دهد. در بازی‌های مخفی، موشه هافمن و ارز یولی، حد وسطی شگفت‌انگیز میان عقلانی بودن اقتصاد کلاسیک و بیش‌عقلانی بودن اقتصاد

۸ پارمنیدس شاعر و فیلسوف پیشاسقراطی بود که در الئا واقع در جنوب ایتالایای امروز، بین سال‌های ۵۱۵□۵۴۰ ق. م به‌دنیا آمد و حدود سال‌های ۴۴۴□۴۷۰ ق. م درگذشت. غالباً گفته می‌شود که پارمنیدس علم منطق را ابداع کرده‌است ولی آنچه او واقعا ابداع کرده‌است، علم مابعدالطبیعه مبتنی بر منطق بود

۹ هراکلیتوس، هراکلیت یا هرقلیطوس (۴۷۵–۵۳۵ ق. م) از فیلسوفان یونانی دوره ی پیشا سقراطی است، که بنا بر گفته ی کاترین آربورن نویسنده و فیلسوف انگلیسی می‌توان او را تأثیرگذارترین فیلسوفِ این دوره نامید.

رفتاری پیدا می‌کنند که به آن می‌گویند بازی‌های پنهان. هافمن و یولی با احیای نظریه بازی، از آن برای توضیح گیج‌کننده‌ترین رفتارمان استفاده می‌کنند، از مکانیسم سندرم استکهلم و زن‌ستیزی درونی گرفته تا اینکه چرا به غریبه‌ها کمک می‌کنیم و حس انصاف داریم. بازی‌های پنهان سرگرم‌کننده و قدرتمند، استدلالی چشم‌گشا برای استفاده از نظریه بازی برای توضیح همه چیزهای غیرمنطقی است که فکر می‌کنیم، احساس می‌کنیم و انجام می‌دهیم.

۳- شیوا Shiva

شیوا در دوره‌ی ودایی ایزد باروری، طبابت، آذرخش و ویرانی است. در اسطوره‌های کهن، شیوا الهه‌ی مقتدر و مهیب است که در خلوت کوهستان‌ها قرار داشته و نیروی شفافبخش گیاهان را عطاء می‌کند. نه تنها توان جادویی شیوا در ادوار متأخر اندیشه‌ی هندو همچنان باقی است بلکه قدرت و توانایی والاتر یافته و اغلب ترجمانی از قدرت و آگاهی کیهانی است. عموماً شیوا را پدر و مبدأ «دانش یوگا» تلقی می‌کنند. شیوا که در آگاهی ناب قرار داشته و رنگ آبی پوست او نمادی از آن است، اول بار «دانش یوگا» را به همسر خود «پارواتی» می‌آموزد. عموماً تندیس‌های شیوا دارای چهار دست و سه چشم می‌باشد که سه مار نیز دور دست‌ها و سینه‌ی او قرار گرفته‌اند. چشم سوم شیوا که به چشم شیوا نیز معروف است، نمادی از آگاهی ناب و قدرت ویرانگر اوست. در دست‌های شیوا نیزه‌ای سه شاخ موسوم به «پیناکا» است که نماد آذرخش هست و شیوا را به عنوان ایزد توفان معرفی می‌کند. همچنین کمانی موسوم به آجاگاوا و گریزی که مجموعه‌ای بر سر آن است و «کاتوانگا» نامیده می‌شود. در دست دیگر شیوا عموماً یا تسبیحی از جمجمه و یا ماری که چون تسبیح به دست گرفته است و گاهی نیز شمشیری قرار دارد سه ماری که در بدن شیوا قرار دارند نشانی از هویت متعالی شیواست که در ورای حیطه‌ی خواب، بیداری و رویا قرار دارد یعنی آگاهی ناب.

یکی از نام‌های شیوا، ناتاراجا (Nataraja) است که به معنای خسرو و سرور رقاصان می‌باشد. در این نام شیوا گاه به تنهایی و گاه با همسرش «پارواتی» به رقص‌های شکوهمندی می‌پردازد که هر کدام از این رقص‌ها حاوی بخشی از رموز آفرینش است که در بیانی انتزاعی و نمادین به تصویر کشیده می‌شود. تعداد رقص‌های شیوا بسیار است اما در عموم این رقص‌ها، ما با مشترکاتی روبرو هستیم. این مضامین مشترک می‌تواند درکی مناسب از رقص شیوا را ارائه کند. کومارا سوامی این مضامین مشترک را این‌گونه شرح می‌دهد: «... اهمیت ذاتی رقص شیوا در سه چیز است: اول صورت رقص موزون و هماهنگ او رمز و تمثیل منبع و منشأ تمام حرکات در جهان است و به وسیله‌ی کمان شیوا نشان داده شده است. دوم آن‌که غرض و غایت رقص او رستگار کردن و آزاد کردن ارواح مردم از بند و دام وهم و خیال (مایا) (۴) است و سه دیگر آن که محل رقص او چیدم برم (Chidam Baram) یا مرکز عالم در درون قلب انسان است». همان‌طور که «کوماراسوامی» اشاره کرده است یکی از مفاهیم بسیار دقیق و مهم در درک رقص شیوا مفهوم «مایا» می‌باشد. شیوا با رقص خود حجاب «مایا» را می‌برد و انسان را به رستگاری می‌رساند و به این دلیل لازم است به تحلیل «مایا» بپردازیم.

۴- مایا Maya

درباره‌ی ریشه‌ی واژه‌ی «مایا» بعضی را عقیده بر آن است که «مایا» از دو جزء «ما» و «یا» به معنای «نه» و «آن» ترکیب شده است و در برداشت مکتب ودانتا عبارتست از آن‌چه در تاریکی جهل است و در روشنی نور دانش راستین است (عقیده‌ی تری پاتی) ولی رادها کریشنن ۳ اشاره می‌کند که «مایا» از ریشه‌ی «ما» به معنای شکل دادن و ساختن مشتق شده است و می‌تواند نمایشی از ترکیبات و تظاهرات مادی دنیا به حساب آید.

رویکرد برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه‌های تحولی و استراتژیک

سازمان چه باشد؟ سنتی یا چابک؟

امید ارجمندنژادیان - کامیار کاشی



مقدمه

در شرکت مپنا بویلر با توجه به تعریف افق‌های استراتژیک، و تعریف پروژه‌های تحولی و استراتژیک، صرف نظر از موضوع آن، استفاده از تکنیک‌های مدیریت پروژه برای برنامه‌ریزی و پیشبرد آن پروژه‌ها حیاتی است. اما سوالی که مطرح است، آن است که از تکنیک‌های برنامه‌ریزی و مدیریت پروژه چرخه عمر پروژه‌های آبشاری (پیش بینی شونده) استفاده شود یا از تکنیک‌های چرخه عمر پروژه‌های چابک؟

کلیدواژه‌ها

هیبرید، مدیریت پروژه، پروژه استراتژیک، بودجه‌ریزی مبتنی بر عملکرد

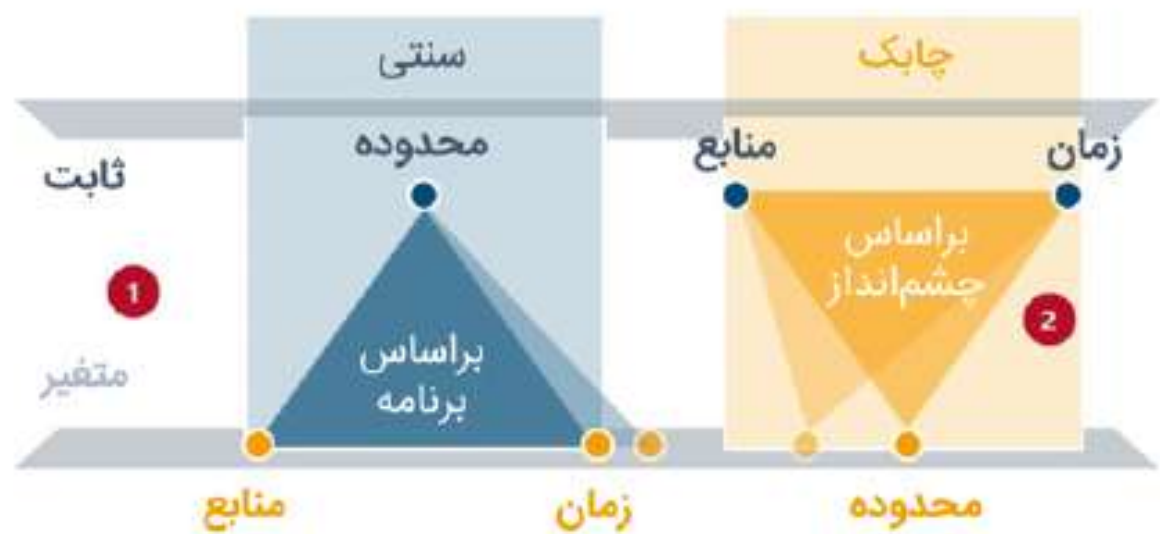
از نگاه^۱ PMBOK چرخه عمر پروژه ها^۲ به ۴ دسته اصلی تقسیم می شوند:

جدول ۱- ویژگی‌های چهار نوع چرخه‌عمر پروژه

ویژگی‌ها				
رویکرد	الزامات	فعالیت‌ها	تحویل‌شدنی	هدف
پیش‌بینی کننده ^۳	ثابت	یک‌بار برای کل پروژه انجام می‌شود	تک تحویلی	مدیریت هزینه
تکراری ^۴	متغیر	تا زمانی که به‌درستی اجرا شود، تکرار می‌شود	تک تحویلی	حل مسئله
تدریجی (افزایشی) ^۵	متغیر	برای هر افزایش معین انجام می‌شود	تحویل‌های مکرر کوچک	سرعت
چابک ^۶	متغیر	تا زمانی که به‌درستی اجرا شوند، تکرار می‌شوند	تحویل‌های مکرر کوچک	ارزش مشتری از طریق تحویل مکرر و بازخورد

هر کدام از رویکردهای جدول فوق به ابزارها و تکنیک‌های خاص خود نیازمند است. حال سوال اینجاست که برای پروژه‌های تحولی و استراتژیک، از کدام رویکرد پیروی کنیم؟

۱ Project Management Body of Knowledge
۲ Project Life Cycle
۳ Predictive Life Cycle
۴ Iterative Life Cycle
۵ Incremental Life Cycle
۶ Agile Life Cycle



شکل ۱- تفاوت دو رویکرد سنتی و چابک

از این شکل متوجه می‌شویم که سه بُعد زمان، منابع و محدوده در این دو رویکرد از حیث ثابت یا متغیر بودن کاملاً متفاوت هستند.

در رویکرد سنتی، این مثال را در نظر بگیرید که پروژه ساخت بویلر یک نیروگاه به سازمان ابلاغ شده است. ویژگی‌ها، شرایط فنی، ظرفیت بویلر، دما، فشار و سایر شاخص‌های پروژه که محدوده پروژه را شامل می‌شوند، ثابت هستند، اما در طول پروژه با شرایطی که بوجود می‌آید، زمان انجام کار و میزان منابع صرف شده برای پروژه دست‌خوش تغییر می‌گردد؛ اما در نهایت پس از اتمام پروژه، بویلر نیروگاه به کارفرما تحویل داده می‌شود.

در رویکرد چابک، فرض کنید سازمان بخواهد، یک محصول جدید را طی ۵ ماه طراحی کرده و توسعه دهد. با توجه به نبود سابقه و تجربه مربوط به این موضوع در سازمان، واحد پژوهش و فناوری شروع به تحقیق، توسعه و طراحی در این زمینه می‌کند و طی اسپرینت^۸های برگزار شده، به محصولی می‌رسند که ممکن است با دید ابتدایی محصول متفاوت باشد. در این صورت، سازمان با استفاده از منابع موجود و زمان ۵ ماهه، به یک محصول با محدوده تغییر کرده، دست‌یافته است. این دو طیف رویکرد شامل تفاوت‌های دیگری از جنبه‌های مدیریت، فرآیند، ارتباطات و برنامه‌ریزی نیز می‌شوند.

در واحد برنامه‌ریزی استراتژیک شرکت مهندسی و ساخت بویلر و تجهیزات مینا، پروژه‌های استراتژیک و تحولی تعریف می‌شوند که با انتخاب رویکرد مناسب در قبال آن‌ها، می‌توان موفقیت‌شان را محتمل نمود. این پروژه‌ها را از سه بعد زمان، منابع و محدوده مورد بررسی قرار می‌دهیم.

بُعد زمان

قاعدتاً اگر رویکرد سنتی را برای پروژه‌های تحولی و استراتژیک را در پیش بگیریم، پاسخ این سوال که «پروژه چه زمانی به اتمام می‌رسد؟» را نمی‌توانیم بدهیم. چون عملاً نمی‌توان زمانی برای اتمام کاری که قبلاً انجام نشده است، تعیین کرد. البته با توجه به منشور پروژه^۹ که به صورت سنتی با تاریخ شروع و پایان تنظیم می‌شود، یک تاریخ را به صورت پیش فرض تعیین می‌کنیم ولی در واقعیت تعیین تاریخ پایان پروژه، شدنی نیست.

از طرفی نیاز به اجرای یک پروژه استراتژیک تا مدت زمان محدودی توجیه‌پذیر است و در صورتی که مدت زمان دستیابی به هدف پروژه را طولانی در نظر بگیریم، ممکن است با تغییر شرایط کشوری و جهانی، پیشرفت تکنولوژی، وضعیت رقبا و دیگر عوامل تاثیرگذار، پروژه توجیه‌پذیری خود را از دست بدهد.

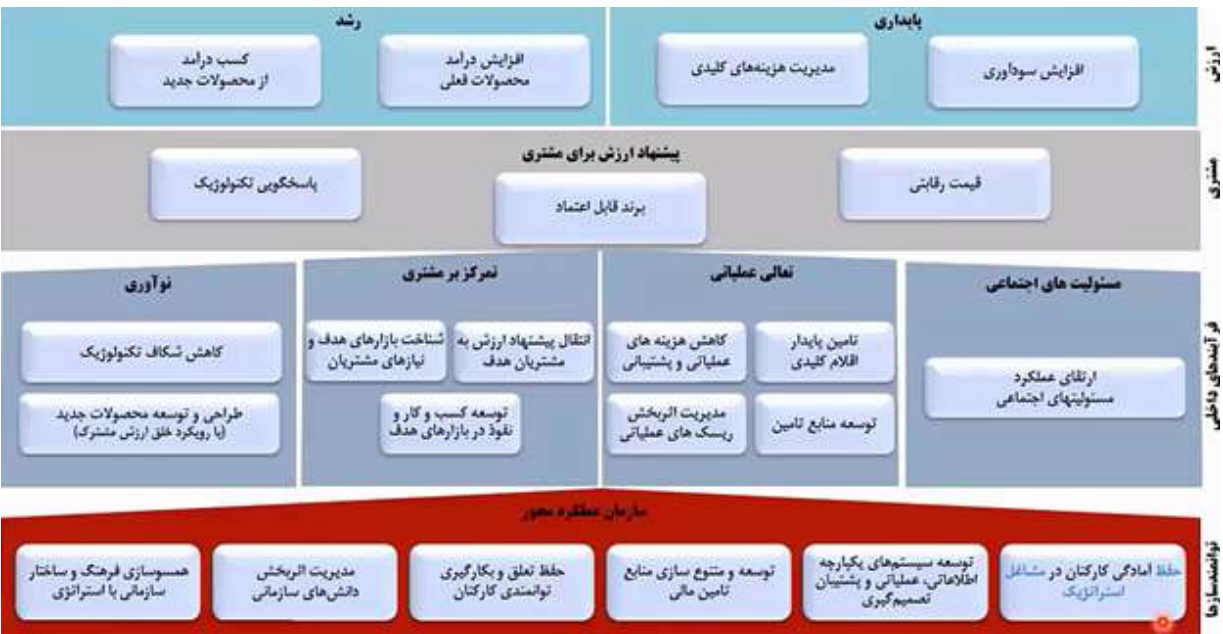
پس نمی‌توان در خصوص بُعد زمان، یک رویکرد اکید اتخاذ کرد و استفاده ترکیبی^{۱۰} از هر دو رویکرد مقتضی است.

بُعد منابع

پیش‌بینی خرید نرم افزار، استخدام نیروی کار، خرید کتاب، آموزش و ...، شاید دید اولیه و نسبتاً صحیح از هزینه‌ها و منابع پیش رو پروژه تحولی یا استراتژیک باشد. اما مطابق بند قبل در صورتی که بُعد زمان پروژه ماهیت ترکیبی به خود بگیرد، هزینه آن نیز تبعاً دچار تغییر خواهد شد. چرا که با تطویل زمان پروژه متعاقباً هزینه‌ها و منابع مورد نیاز آن نیز افزایش خواهد یافت.

بُعد محدوده

اگر به درس آموخته‌های سازمان در خصوص پروژه‌های تحولی و استراتژیک رجوع کنیم، پروژه تحولی «بودجه‌ریزی جامع» ذیل هدف استراتژیک «همسوسازی فرهنگ و ساختار سازمانی با استراتژی» در منظر فرآیندهای داخلی موجود در کارت امتیازی متوازن مربوط به نقشه استراتژی افق ۱۳۹۷-۱۳۹۹ سازمان و با مسئولیت واحد مالی تعریف گردید که در افق ۱۳۹۹-۱۴۰۱ با بازتعریف این پروژه ذیل هدف «کاهش هزینه‌های عملیاتی و پشتیبانی» با مسئولیت واحد برنامه‌ریزی و سیستم‌ها مواجه شد. در اینجا با استفاده از تکنیک داستان‌سرایی^{۱۱} به بررسی موضوع می‌پردازیم.



شکل ۲- کارت امتیازی متوازن استراتژی افق ۱۳۹۹-۱۴۰۱ شرکت مینا بویلر

سازمان در آن زمان می‌دانست که باید از طریق پروژه «بودجه‌ریزی جامع» به سمت کاهش هزینه‌ها برود، ولی نمی‌دانست که به چه نحوی باید این مسیر را پییماید و از چه الگویی استفاده نماید. یعنی غبارآلود بودن مسیر، ماهیتی به این تحول می‌بخشید که مستلزم استفاده از رویکرد چابک بود.

سازمان، باید طی زمان محدود (افق ۱۳۹۹ و پس از آن افق ۱۴۰۱) (زمان ثابت) و نیروی انسانی موجود (منابع ثابت)، به هدف خود (محدوده متغیر) می‌رسید، ولی در ابتدای امر، روش رسیدن به این هدف برایش قطعی نشده بود. پس از بررسی مدل‌های مختلف و به‌روز جهانی، مدل‌های موجود در ایران و آموزش دیدن در این حوزه، مدل ABB^{۱۲} یا بودجه‌ریزی مبتنی بر عملکرد به عنوان ابزار رسیدن به هدف مشخص شد. تا به اینجا کار، سازمان از رویکرد چابک برای پیشبرد پروژه خود استفاده نمود.

استفاده از رویکرد سنتی پس از مشخص شدن مدل (محدوده ثابت) تا استقرار و پیاده‌سازی کامل مدل (زمان و منابع متغیر)، رویکرد مناسبی بود که سازمان را برای رسیدن به هدف کمک می‌کرد. سازمان با برنامه‌ریزی آشناری و تعریف تحویل شدنی‌های خود، مرحله به مرحله به هدف پروژه تحولی سازمان دست یافت.

حال با نگاهی مجدد به این درس آموخته، استفاده ترکیبی از دو رویکرد سنتی و چابک در ابعاد محدوده، زمان و منابع مشهود است.

^۷ آبشاری، پیش‌بینی شونده و سنتی؛ این سه اصطلاح برای واژه Predictive در کتب و مقالات مختلف ذکر شده است و در این مقاله نیز از هر سه واژه استفاده شده است.

^۸ Sprint
^۹ Project Charter
^{۱۰} Hybrid

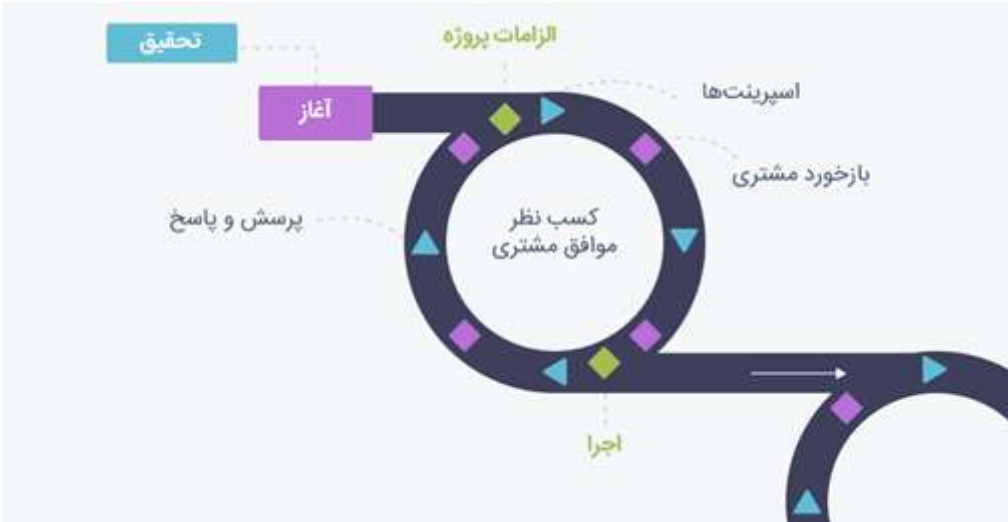
^{۱۱} Storytelling
^{۱۲} Activity Base Budgeting

با مراجعه به راهنمای روش چابک^{۱۳} که ضمیمه PMBOK است، متوجه خواهیم شد که رويكردهاي تركيبي داراي انواعي است كه به همراه مثال‌هاي آن راهنما، در جدول زير دسته‌بندی شده است:

جدول ۲- انواع رويكردهاي تركيبي با ذكر مثال

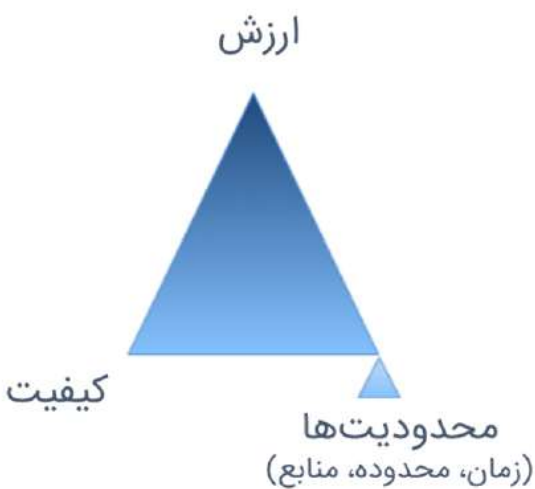
ردیف	نام رويکرد	شكل	مثال
۱	تركيبي	پيش بيني پيش بيني پيش بيني شونده شونده شونده	توسعه يك محصول جديد با فناوري پيشرفته و پس از آن عرضه و آموزش هزاران كاربر
۲	تركيبي همزمان	چابك پيش بيني شونده چابك پيش بيني شونده چابك پيش بيني شونده	تيم پروژه به تدريج به دنبال انتقال چابكي به پروژه‌هاي خود است و بعضي از تكنيك‌ها مثل اسپرنت‌هاي روزانه را اجرا مي‌كند، اما جنبه‌هاي ديگر پروژه تخمين اوليه و پيشرفت كار را از رويكرد پيش‌بيني كننده استفاده مي‌كند.
۳	پيش‌بيني كننده قالب با چابكي جزئي	پيش بيني شونده پيش بيني شونده چابك پيش بيني شونده	پروژه‌هاي تاسيساتي كه يك سازمان قبلاً مشابه آن را انجام داده است، اين پروژه شامل مصالح جديد در پشت‌بام است. پيمانكار ممكن است، ابتدا براي برخي از آزمائش‌هاي نصب در مقياس كوچك روي زمين برنامه‌ريزي كند تا بهترين روش نصب را تعيين كند و مسائل را به‌سرعت كشف كند، درحالي‌كه زمان زيادي براي حل آن‌ها و بهبود تدريجي فرايندها از طريق آزمائش و انطباق وجود دارد.
۴	بسيار چابك با پيش بيني‌كننده جزئي	چابك چابك چابك پيش بيني شونده پيش بيني شونده پيش بيني شونده	اين رويكرد ممكن است زماني استفاده شود كه يك عنصر خاص غيرقابل‌مذاكره باشد يا با استفاده از يك رويكرد صرفاً چابك قابل‌اجرا نباشد. مثال‌ها شامل يكپارچه‌سازي با يك جزء خارجي است كه توسط تأمين‌كننده‌اي متفاوت، توسعه‌يافته است و نمي‌تواند يا نمي‌خواهد به‌صورت مشاركتي با كل پروژه مشاركت نمايد.

به نظر مي‌رسد رويكرد اتخاذ شده براي درس‌آموخته ياد شده براي پروژه تحولي «بودجه‌ريزي مبتني بر عملکرد» مورد اول باشد؛ چرا كه سازمان در ابتدا رويكرد چابك در پيش گرفت و پس از مشخص شدن ابزار رسيدن به هدف، رويكرد پيش‌بيني شونده را جايگزين نمود. مشابه شكل زير:



شكل ۳- چرخه تركيبي سنتي و چابك

با توجه به نگاه ويژه آخرين ويرايش PMBOK به مبحث «ارزش» و اولويتي كه «ارزش» در تعريف هر پروژه دارد، پيشنهاد مي‌گردد كه در مثلث ابعادي پروژه تحولي و استراتژيك، به شكلي نگاه شود كه «ارزش» نيز يك بُعد از ابعاد پروژه تلقی گردد. براي تلفيق اين بُعد با ابعاد ديگر، مي‌توان «ارزش» را به همراه «كيفيت»، به عنوان ابعاد بالادستي، و محدوديتها را به عنوان ابعاد پايين دستي در نظر گرفت.



به نظر مي‌رسد استفاده از رويكردهاي تركيبي و نه صرفاً پيش‌بيني شونده و نه صرفاً چابك، مي‌تواند مناسب‌ترين رويكرد براي برنامه‌ريزي و مديريت پروژه‌هاي تحولي و استراتژيك باشد و اين رويكرد قابليت تسري در كلييه مدارك مرتبط با آن از قبيل منشور پروژه و گزارش كنترل پروژه را دارد. همچنين مي‌توان در برنامه‌ريزي و مديريت برنامه‌هاي استراتژيك ارزش و كيفيت حاصل شده از پروژه را به عنوان دو بعد اصلي پروژه اندازه گيري و كنترل كرد.

فهرست منابع:

۱. آندی جوردن، خداحافظی با رویکردهای استاندارد، ۱ آوریل ۲۰۲۴: <https://www.projectmanagement.com/articles-farewell-to-standard-approaches/۹۵۵۳۲۹>
۲. بدون نویسنده، مدیریت پروژه چابک چیست: <https://www.microtool.de/en/knowledge-base/what-is-agile-project-management>
۳. بدون نویسنده، رویکرد چابک: <https://www.teamgantt.com/waterfall-agile-guide/hybrid-approach>
۴. تیم دیویدسون، مدیریت پروژه هیبرید، ۲۳ مارچ ۲۰۲۲: <https://cleancommit.io/blog/hybrid-project-management>
۵. علی خان، تحول مثلث چابکی، ۳ نوامبر ۲۰۱۳: <https://۳۶۰pmo.com/evolution-agile-triangle/>
۶. موسسه PMI، چرخه‌های عمر ترکیبی: <https://www.pmi.org/disciplined-agile/serial/hybridlifecycles>
۷. موسسه PMI و Agile Alliance، کتاب راهنمای عملی چابک (Agile Practice Guide)

هشت اصل تسهیلگر در مدیریت پروژه

اسماعیل بینایی باش- فهیمه اسمعیلی

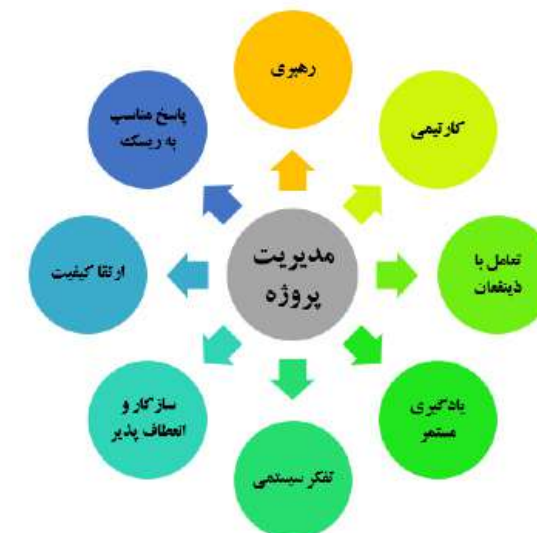


مقدمه

شرکت مینابویلر یک سازمان پروژه محور است که فرآیند مدیریت پروژه در آن بر اساس فرهنگ سازمانی، تجربیات انباشته و استفاده از راهنمای مدیریت پروژه PMBOK تدوین شده و به عنوان یک سند سازمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این فرآیند به کمک روش‌های اجرایی تدوین شده برای مدیریت حوزه‌های مختلف دانشی شامل مدیریت یکپارچگی، برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، مدیریت محدوده پروژه، مدیریت هزینه، مدیریت کنترل کیفیت، مدیریت تغییرات، مدیریت ریسک، مدیریت ارتباطات، مدیریت تامین و تدارکات و مدیریت مشارکت ذینفعان پروژه طراحی و پیاده‌سازی می‌شود. با این حال، مشاهده می‌شود که در حین اجرای پروژه، گاهی اوقات چالش‌ها و مسئله‌هایی بروز و نمود پیدا می‌کنند که صرفاً بر اساس روش‌های اجرایی فوق، امکان یافتن راه حل برای آنها میسر نمی‌باشد و لازم است مدیران پروژه علاوه بر استفاده از حوزه‌های دانشی فوق، با بهره‌گیری از هوش هیجانی و برخی دیگر از ویژگی‌های شخصیتی و استفاده از برخی از اصول تسهیلگر، نسبت به برون رفت و حل مساله‌های حادث شده اقدام نمایند. در این گفتار تلاش شده تا هشت اصل تسهیلگر در مدیریت پروژه معرفی شوند.

مروری بر مفاهیم بنیادی

پیش از این که اصول و مفاهیم مدیریت پروژه را تحت بررسی قرار دهیم، باید با چیرستی مدیریت پروژه آشنا شویم. در یک جمله مدیریت پروژه به مفهوم استفاده موثر از منابع انسانی یک پروژه، تخصیص و پیگیری منابع برای رسیدن به اهداف تعیین شده پروژه در یک دوره زمانی خاص است. مدیریت پروژه قوانینی است برای شروع، برنامه‌ریزی، اجرا، کنترل و خاتمه کار یک تیم برای دستیابی به اهداف خاص و برآورده کردن معیارهای موفقیت مشخص تعریف می‌شود.



پروژه‌ها فعالیت‌های سازمانی پیچیده و غیر روتین، محدود به بودجه، زمان‌بندی و منابع تعیین شده هستند که با هدف دستیابی به مجموعه‌ای از مشخصات فنی و به منظور پاسخگویی به نیازهای مشتری انجام می‌شوند. یک پروژه موقت بوده و دارای آغاز و پایانی مشخص است. بنابراین محدوده و منابع تعریف شده‌ای دارد. یک پروژه منحصر به فرد است و بنابراین یک کار معمولی و روتین نیست، بلکه مجموعه‌ای از عملیات است که برای دستیابی به یک هدف واحد طراحی شده است. بنابراین یک تیم پروژه معمولاً شامل افرادی است که به طور معمول با هم کار نمی‌کنند، بعضی اوقات از سازمان‌ها و حتی چندین جغرافیای مختلف هستند.

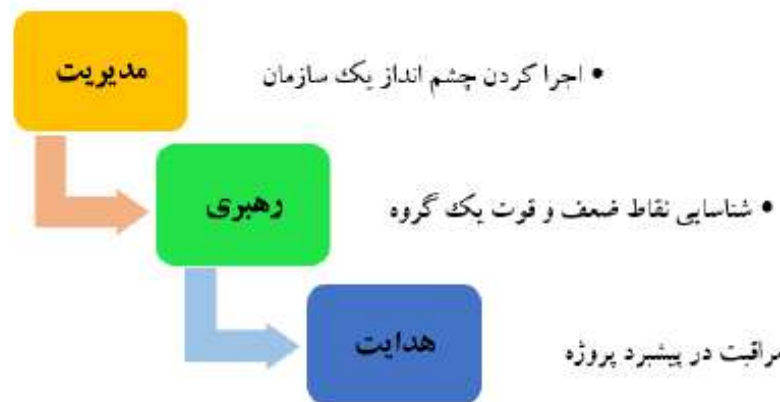
هر پروژه دارای چرخه عمرست. چرخه عمر پروژه به مراحل توسعه پروژه اشاره دارد و شامل شروع، برنامه‌ریزی، اجرا، نظارت و خاتمه می‌باشد. چرخه عمر پروژه به مراحل توسعه پروژه اشاره دارد، زیرا نحوه انجام یک پروژه را نشان می‌دهد. همانطور که اشاره شد، در این چرخه، ۵ مرحله مشخص از پیشرفت پروژه وجود دارد: مرحله شروع در مدیریت پروژه، این مرحله توسعه هدف اولیه و مشخصات فنی پروژه است. محدوده کار ایجاد می‌شود، منابع لازم شناسایی شده و مشارکت کنندگان مهم سازمان یا ذینفعان در این فرآیند مشخص می‌شوند. برنامه‌ریزی در مدیریت پروژه، مرحله‌ای است که در آن کلیه جزئیات، زمان‌بندی‌ها و سایر برنامه‌ها تهیه می‌شود. بسته‌های کاری شکسته می‌شوند، تکالیف فردی ایجاد شده و فرایند مشخص می‌شود. اجرا در مدیریت پروژه، هنگامی است که کار واقعی پروژه انجام می‌شود، سیستم توسعه داده می‌شود، یا محصول ایجاد و ساخته می‌شود و سایر فعالیت‌های مبتنی بر پروژه انجام می‌شود. نظارت و کنترل در مدیریت پروژه، در فرآیند مدیریت پروژه، فاز سوم و چهارم ماهیت متوالی ندارند. مرحله نظارت و کنترل پروژه به طور همزمان با اجرای پروژه اجرا می‌شود تا اطمینان حاصل شود که اهداف و موارد قابل تحویل پروژه برآورده می‌شوند. خاتمه در مدیریت پروژه، زمانی است که پروژه تکمیل شده به مشتری تحویل داده می‌شود، و پروژه به طور رسمی به اتمام می‌رسد.

هر پروژه دارای منشور پروژه است که ماهیت، محدوده کار و انتظارات مدیریت را برای نتایج بیان کند. منشور مدیریت پروژه یک سند مکتوب است که شامل مواردی مانند نام حامیان پروژه، مزایای پروژه برای سازمان، شرح اهداف، چارچوب زمانی، بودجه و منابع و اختیارات مدیر پروژه است. تا کنون تعریف‌های زیادی در مورد مدیریت پروژه در منابع و استانداردهای مختلف عنوان شده است.

هدف از این مقاله جمع‌بندی و ساده‌سازی عناوین و مهارت‌های اصلی مدیریت پروژه می‌باشد که در هشت اصل عنوان شده است.

اصل اول: رهبری خوب و هدایتگری کوشا و مسئولیت پذیر باشید

اگر شما برای سمت مدیر پروژه در سازمان منصوب شده‌اید، قطعاً نیروی بالقوه لازم برای مدیریت یک پروژه را از خود نشان داده‌اید. از آنجایی که مدیران پروژه تشویق می‌شوند که هدایتگران خوبی برای پروژه باشند، مسئولیت زیادی در قبال ارائه محصولات، خدمات و نتایج ارزشمند به آنها سپرده شده است. در این زمینه، هدایتگر بودن به معنای به عهده گرفتن مراقبت از پروژه است. تیم‌سازی خوب می‌تواند به شما کمک کند تا تیم همدل و متحدی را تشکیل بدهید و به عنوان یک واحد در راستای اهداف پروژه کار کنید.



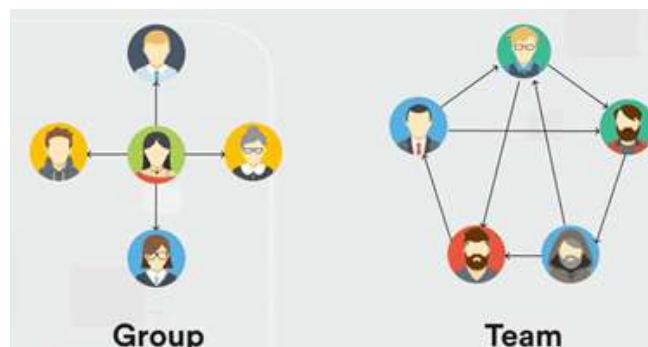
هدایت تیم به سمت هدف مشترک و زنده نگهداشتن اشتیاق اعضاء باعث ایجاد انگیزه رهبری در شما می‌شود. رهبر خوب بودن به این معناست که شما می‌توانید به تیم پروژه انگیزه بدهید، نقاط ضعف و قوت تیم را ارزیابی کنید و درمورد چگونگی استفاده بهینه از آنها تصمیم بگیرید تا در طول پروژه عملکرد خوبی ارائه کنید. زمانی که در پروژه به مسائل و مشکلات پیچیده برخورد می‌کنید، باید مانند یک کاپیتان کوشا باشید و سخنان اعضای تیم

پروژه را با دقت گوش دهید. شما راه حل مشکلات ایجاد شده نیستید اما هدایتگر خوبی در رفع آنها هستید که با تمرکز بر برنامه‌ریزی و مدیریت مسئولانه منابع، می‌توانید راه حل مناسبی برای غلبه بر مشکلات پیشنهاد دهید. مدیر پروژه به عنوان سرگروه و سرپرست تیم پروژه باید در راستای حفظ اخلاق و ارزش‌ها پیش قدم باشد. یکی از مهمترین ویژگی‌های یک مشاور یا سرپرست، مهارت‌های ارتباطی خوب با سایر افراد است و مدیریت موثر پروژه مستلزم برقراری ارتباط درست بین اعضای تیم بایکدیگر می‌باشد.

اصل دوم: فرهنگ کار تیمی و مشارکتی در پروژه را ترویج دهید

توافقات تیمی، ساختار سازمانی و فرایندها از عوامل اولیه‌ای می‌باشند که در ایجاد محیط تیمی و مشارکتی تاثیرگذار هستند. ویژگی‌هایی که شما به عنوان رهبر دارید، می‌توانند در این زمینه چاره‌ساز باشد. این ویژگی‌ها اعضای تیم را قادر می‌سازد تا به طور مشترک فعالیت مفید داشته باشند. همکاری خوب ناشی از قوانین اساسی واضح است. تیم باید در مرحله اولیه با این موضوع موافقت کند. جدای از این، اعضای تیم باید در مورد نقش‌ها و مسئولیت‌ها شفافیت داشته باشند. محدوده‌های مورد توافق که شامل قدرت، پاسخگویی و مسئولیت است، جایگاه اعضای تیم و نحوه مشارکت آنها را مشخص می‌کند.

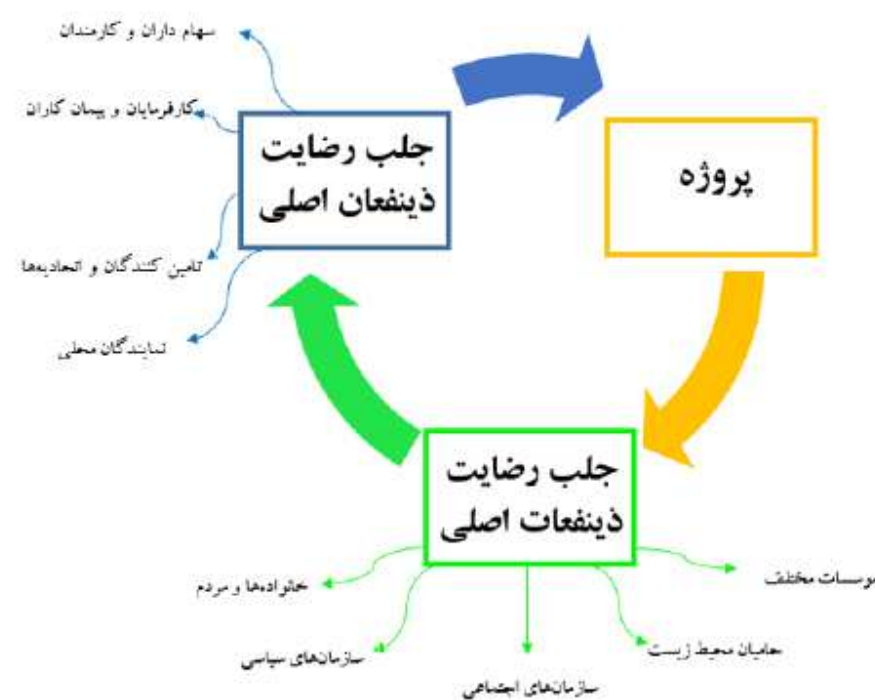
مواردی که یک مدیر پروژه خوب به کمک آن می‌تواند سبب ایجاد روحیه‌ی کار تیمی و مشارکت در اعضا با حفظ جایگاه‌شان شود عبارتند از:



- به اشتراک گذاشتن اطلاعات
- ایجاد چرخه‌ی درونی بازخورد
- ایجاد استقلال در فعالیت و اظهار نظر
- اطمینان حاصل کردن از شفافیت اطلاعات
- تشویق گروه برای هم مسیر کردن اعضا

اصل سوم: با ذینفعان در راستای تمرکز بر ارزشهای سازمانی تعامل موثر داشته باشید

ذینفع کسی است که ممکن است پروژه را تحت تأثیر قرار دهد. به طور کلی، ذینفعان می‌توانند افراد، بخش‌ها یا سازمان‌ها باشند. آنها می‌توانند به وسیله قدرت و اختیاراتشان بر یک پروژه تأثیر مثبت یا منفی بگذارند. تعامل موثر با یک ذینفع مستلزم ارتباط پایدار است. همچنین شامل تعیین روش‌های ارتباطی مانند «چگونه»، «چه موقع» و «چند دفعه» می‌شود. این مشارکت به شناسایی فعال و کاهش خطرات، که ممکن است باعث ایجاد اختلال در تعهدات پروژه گردد، کمک می‌کند. در واقع مدیریت ذینفعان پروژه به مدیران پروژه کمک می‌کند تا این اطمینان را ایجاد کنند که پروژه در راستای انتظارات ذینفعان پیش می‌رود.



وقتی پروژه به این هدف برسد، به این معنی است که پروژه موفق داشته‌ایم. تجزیه و تحلیل ذینفعان برای درک محیط آنها و اولویت‌بندی منابع اهمیت دارد. همچنین ارتباط موثر با ذینفع به ایجاد درک مشترک از پروژه در روند پروژه تأثیر مثبت دارد. مهارت‌هایی مانند، رهبری، ارتباطات، سازماندهی، فناوری، حل مسئله و سازگاری مواردی هستند که باعث مدیریت موفق ذینفعان می‌شوند. مهم است که ارتباطات اثربخش با آنها برقرار شود، حال این سوال مطرح می‌گردد که چگونه با ذینفعان پروژه ارتباط برقرار کنیم؟ موارد زیر از امور بسیار اثربخش این حوزه هستند:

- ارتباط مکرر دو طرفه
- همکاری از طریق تعامل فعال
- جلسات

برقراری ارتباط با ذینفعان و ایجاد اعتماد بین تیم پروژه و آنها یکی از چالش‌های پیش رو هر مدیر پروژه است. هدف یک رهبر در پروژه برقراری ارتباط با ذینفعان، درگیر و متعهد نگهداشتن آنها در پروژه و در عین حال صرفه‌جویی در زمان پروژه است.

اصل چهارم: در ترویج فرهنگ یادگیری، ثبت و استفاده از تجربیات، پیشرو و مشوق باشید

معمولاً در طول حیات پروژه‌ها، فرصت‌های زیادی برای یادگیری ایجاد می‌شود. این فرصت‌ها را هیچ‌گاه به آسانی از دست ندهید. در قامت یک مدیرپروژه، همواره یادگیرنده باشید و اعضای تیم پروژه را به یادگیری مستمر تشویق کنید. فرآیند یادگیری بایستی کاملاً فراگیر و گسترده باشد به گونه‌ای که هم دانش فنی و تخصصی در حوزه‌های مختلف طراحی و مهندسی، ساخت و تولید، تامین و تدارکات، بازرسی و نصب و راه اندازی و بهره برداری را شامل شود و هم الگوهای رهبری، مدیریتی، اخلاقی و رفتاری را پوشش دهد. علاوه بر یادگیری، فرآیند مدیریت دانش و ثبت و استفاده از تجربیات و دروس آموخته هم بسیار ارزشمند است. مدیرپروژه بایستی هم خودش بر روی ثبت و استفاده از تجربیات اهتمام داشته باشد و هم آن را در بین اعضای تیم پروژه ترویج نماید. یکی از تکنیک‌ها و ابزارهای خیلی خوب در فرآیند مدیریت دانش استفاده از همتایاری یا Peer Assist است. این ابزار، وسیله‌ای برای یادگیری، قبل از شروع یک پروژه یا یک فعالیت است. در جلسات همتایاری می‌توانیم از دروس آموخته و تجربیات همکاران در خصوص یک پروژه یا مساله مشابه، مطلع شده و نظرات و پیشنهادات را به اشتراک بگذاریم.

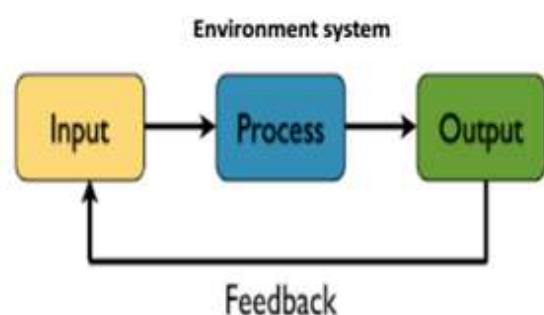


اصل پنجم: با استفاده از اصول تفکر سیستمی، ارزیابی و پاسخ به تعاملات سیستم را بشناسید

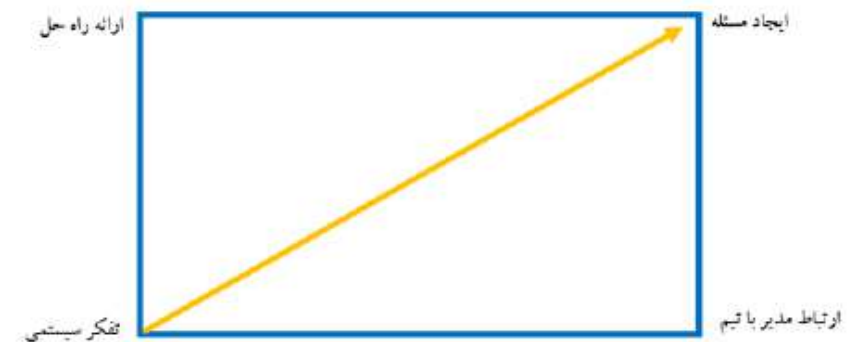
تفکر سیستمی یک بینش، زبان و روش برای شناخت بهتر ساختار و رفتار سیستم‌ها جهت یافتن نقاط موثر عمل با توجه به پیامد تصمیمات تعریف می‌شود. تیم‌های پروژه، باید با یک دیدگاه کل نگر، پروژه را به عنوان یک سیستم درک کنند. در تفکر سیستمی رسیدن به محصول نهایی با کیفیت با احتمال بیشتری رخ می‌دهد و پروژه می‌تواند مسیر پایداری را تا انتها طی کند. یک تغییر واحد در بخش جزئی از پروژه می‌تواند در کل پروژه موثر باشد. پس رفتار هر بخش فرعی به صورت دومینووار بر دیگر بخش‌های فرعی و سیستم بزرگتر اثر دارد. دیدگاه سیستمی پروژه را می‌توان با عوامل زیر افزایش داد:

- همدلی با حوزه‌های تجاری
- تفکر انتقادی با تمرکز بر تصویر بزرگ
- مفروضات چالش برانگیز و مدل‌های ذهنی
- استفاده از روش‌ها و شیوه‌های یکپارچه
- مدیریت یکپارچه‌سازی فعال

هر سیستم از ورودی‌ها، فرایندها و خروجی‌ها تشکیل شده است که در آن تکرار شونده هستند. به دنبال آن مسائل سیستمی در یک مجموعه تشکیل می‌شود که اصولاً مژمن، تکراری و دارای تاریخچه است. با این تفاسیر برای پیشبرد یک پروژه، شناسایی اصول تفکر سیستمی برای حل مسائل بسیار کمک کننده می‌باشد. بخاطر داشته باشید مسائل امروز ممکن است ناشی از راه حل‌های ارائه شده در گذشته باشد.

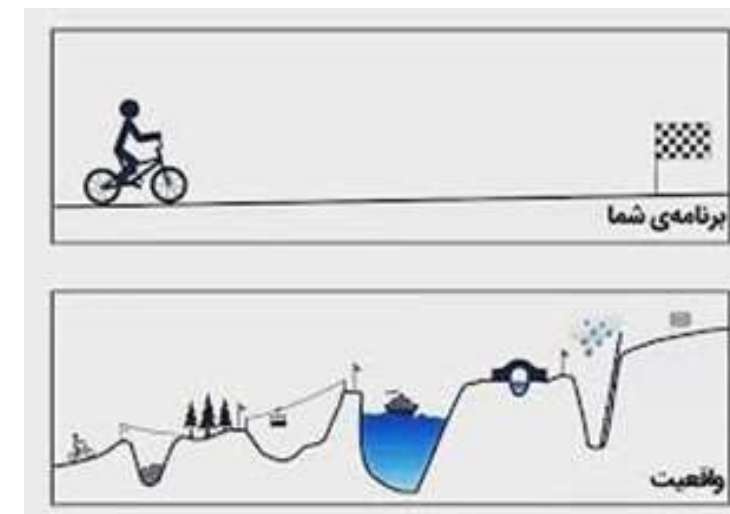


در مورد مفهوم تفکر سیستمی برای مدیران و رهبران سازمان دو دیدگاه وجود دارد. نخست آن مفهومی است که فرد با بهره‌گیری از مهارت‌های شناختی خود در مقابله با پیچیدگی‌های سیستم‌ها از آن استفاده می‌کند و دوم، تفکر در مورد تجزیه و تحلیل و حل مشکلاتی است که سیستم با آن مواجه است. مفهوم تفکر سیستمی بر مبنای فلسفه سیستم‌ها استوار است و بیان می‌کند که هر یک از فعالیت‌های انسان به صورت سیستم‌های باز هستند که تحت تاثیر محیط قرار دارند. تفکر سیستمی به عنوان ابزاری برای یکپارچگی و فراهم کردن زمینه تصمیم‌گیری اثربخش به منظور راه حلی پایدار در جهان پیچیده توسعه داده شده است و نقش مهمی در برنامه ریزی راهبردی و تصمیم‌گیری‌ها دارد.



اصل ششم: در مدیریت تغییرات، سازگار و انعطاف‌پذیر باشید

فرمول موفقیت یک پروژه شامل توانایی سازگاری ابعاد اجرای آن با تغییرات است. یک پروژه باید توانایی انطباق و پاسخگویی به شرایط متغیر را داشته باشد، انعطاف‌پذیر باشد، توانایی هم‌راستایی با هرگونه تأثیر را داشته باشد و پس از هر شکست با برنامه و طرح جدید برای جبران بازگردد. این اصل با توجه به اینکه تقریباً همه پروژه‌ها دقیقاً مطابق برنامه پیش نمی‌روند، واقع‌بینانه است. تغییرات ممکن است به دلیل پیچیدگی و خواسته‌های ذینفعان یا اهداف سازمان باشد. عوامل داخلی و خارجی هر دو می‌توانند بر یک پروژه تأثیر بگذارند. بنابراین، صرف نظر از این، تیم پروژه باید با چنین شرایطی وفق یابد و پروژه را رو به جلو نگه دارد. برگردید به اصل اول که از شما خواسته همیشه تلاشگر و کوشا بمانید!



الگو تفکر کنید و تمام قطعات متحرک داخل آن را مدنظر قرار دهید. مواردی مانند حلقه‌های بازخورد کوتاه، یادگیری و بهبود مستمر، مهارت گسترده با دانش گسترده، تیم‌های پروژه متنوع و برنامه‌ریزی شفاف ویژگی‌های محیطی هستند که از سازگاری و انعطاف‌پذیری پشتیبانی می‌کنند. این موارد را در ابتدای پروژه در الگوی اصلی در نظر بگیرید.

اصل هفتم: در ارتقای کیفیت فرآیندها و حفظ نتایج پایدار، سختگیر باشید

منظور از کیفیت در اینجا، توانایی یک سازمان برای برآوردن نیازهای ضمنی و آشکار مشتریان است. این کیفیت بایستی در همه فازهای برنامه‌ریزی و اجرای پروژه شامل فعالیت‌های طراحی و مهندسی، تامین و تدارکات، ساخت و تولید، بازرسی و تحویل، سوپروایزری و نصب، مشهود و اثرگذار باشد. راه‌های زیادی برای ارزیابی کیفیت ارائه شده‌اند، اما تطابق داشتن با معیارهای مورد پذیرش و کاربردی بودن، راه‌های اصلی ارزیابی کیفیت هستند. همچنین، شما باید فرآیند مورد استفاده برای تضمین کیفیت را نیز ارزیابی کنید. این بیشتر یک رویکرد پیشگیرانه است تا از عوامل متغیری که روی نتیجه تأثیر می‌گذارد، جلوگیری کنید. توجه داشته باشید که در اینجا هدف اصلی ارتقای رضایت مشتری است و مدیرپروژه بایستی به عنوان نماینده و حافظ منافع مشتری در سازمان عمل نماید. از همین رو، لازم است در تطبیق الزامات قراردادی با محدودیت‌های داخلی سازمان، مدیر پروژه در سمت و طرف مشتری قرار داشته باشد.

اصل هشتم: با توجه به ابعاد و پیچیدگی پروژه، پاسخ‌های برنامه ریسک را بهینه‌سازی کنید

یک پروژه می‌تواند مجموعه‌ای از سیستم‌ها یا اجزایی باشد که در آن بسیاری از قطعات متحرک در تعامل هستند. به عنوان مثال، هر چه تعداد تعاملات بیشتر باشد، میزان پیچیدگی آن بیشتر می‌شود. هر چه پیچیدگی بیشتر باشد، عدم قطعیت نیز بیشتر است. از این رو، پیچیدگی می‌تواند ناشی از تعاملات درون اجزای یک پروژه یا ناشی از تعامل با پروژه‌های مختلف و سیستم‌های خارجی باشد. به دنبال آن ریسک یک رویداد نامشخص در آینده است که می‌تواند پروژه را چه به صورت مثبت یا منفی تحت تأثیر قرار دهد. هر چه پیچیدگی‌های یک پروژه بیشتر باشد با ریسک‌های مثبت و منفی بیشتری رو به رو می‌شوید. در مسیر ارزیابی ریسک با پیچیدگی‌های پروژه آشنا می‌شوید. زیرا ناچارید پیچیدگی‌هایی که باعث ایجاد گره درپروژه می‌شوند را شناسایی، و راه‌حل‌هایی برای جلوگیری از آن و تبدیل شدن به ریسک منفی ارائه دهید. اما درنظر بگیرید پروژه بدون ریسک جز خانه‌ای بدون سقف نیست. واکنش در برابر ریسک باید به نحوی باشد که از اثر منفی آن کاسته و بر اثر مثبت ریسک اضافه کند. با در نظر گرفتن موارد زیر بهترین واکنش و راه حل را در هنگام وقوع ریسک را می‌توانید ارائه دهید.

- مقرون به صرفه بودن یک اقدام
- تصمیم‌گیری واقع بینانه در زمینه پروژه
- به توافق رسیدن با ذینفعان مربوط



با توجه به موضوعات مطرح شده درمورد ریسک، بهتر است تفاوت آن با مسئله شفاف‌سازی شود. ریسک رویدادی است که هنوز اتفاق نیفتاده است، اما یک مساله رویدادی است که قبلاً اتفاق افتاده. تفاوت اصلی مربوط به زمان‌بندی و احتمال است. به دلیل این تفاوت‌ها، زمانی که برای توصیف ریسک‌ها استفاده می‌شود، زمان آینده است: "اگر اتفاق بیفتد، تحت تأثیر قرار می‌گیرد" و در طرف مقابل زمان مورد استفاده برای مسائل و مشکلات، زمان حال است: "ما این مشکل را داریم. چگونه باید با آن کنار بیاییم؟" از آنجا که ریسک با احتمال و تأثیر همراه است، استراتژی کاهش ریسک و تبدیل شدن آن به مسئله شامل کاهش تأثیر یا احتمال و یا هر دو است، در حالی که هیچ احتمالی مرتبط با یک مسئله وجود ندارد. مسائل "تعدیل" نمی‌شوند بلکه "حل" می‌شوند.

تفاوت ریسک و مسئله



نتیجه‌گیری

پروژه و مدیریت پروژه در یک سازمان، بخش اصلی و اسکلت سازمان در راستای حفظ منافع می‌باشد. در واقع اخذ پروژه و مدیریت درست آن برطرف کننده منافع اقتصادی و خدمت رسانی به ذینفعان است. با توجه به مطالعات گسترده در این خصوص همچنان راهی هموار برای اتمام یک پروژه و رسیدن به مقصود نهایی تعریف نشده است. اما تمامی مطالعات به چند رویکرد یکسان در امور پروژه و مدیریت پروژه دست یافتند. امروزه مدیر پروژه در یک سازمان در نقش یک رهبر، راهنما و مربی ظاهر می‌شود و روحیه‌ی کار تیمی و مشارکتی را در اعضا بیدار می‌کند. رهبران پروژه با یادگیری دانش‌های روز در راستای رضایت ذینفعان و منافع سازمان فعالیت می‌کنند. همچنین با نگاه سیستماتیک برای رفع ریسک‌ها و مسائل تلاش کرده و برای حفظ ارزش‌های سازمان، با ارتقاء کیفیت فرایندها، به افزایش کیفیت محصول کمک می‌کنند.

فهرست منابع

Project Management Institute, PMBOK GUIDE (۲۰۲۱) درین صفاری, ویرایش ۷, چاپ پنجم, انتشارات آزاده
کتاب چارچوب اجرای استراتژی؛ نویسندگان: کریس مک‌چرنی، شان کاوی و جیم هیولینگ همراه با بورلی واکر و اسکات تیل؛ مترجمان: رضا رایان‌راد، طاهر شریعت‌پناهی، ویرایش ۲، چاپ اول، انتشارات آریانا قلم
کتاب مدیریت پروژه چابک؛ نویسنده: آیدین غلامی، ویرایش ۱، چاپ اول، نشر فرتاک
مقاله «بررسی اصلی ترین چالش‌ها در مدیریت پروژه پیاده‌سازی سیستم برنامه ریزی منابع سازمان (ERP) از دید سازمان تامین کننده»، همایش بین‌المللی مدیریت و توسعه اقتصادی، دوره ۷، ص ۱-۱۲؛ نویسندگان: کیمیا سلمان نوری، محمدحسین صبحیه
مقاله «مطالعه‌ای مبتنی بر تحلیل واژگانی در ادبیات حوزه مدیریت پروژه در طول زمان»، پژوهش نامه علم‌سنجی، دوره ۷، ص ۱۵۹-۱۸۲؛ نویسندگان: مهناز ایران منش، مجتبی عزیزی، محمد توکلی زاده روایی
مقاله «پیاده سازی کاربردی مدیریت ریسک در یک مناقصه بین المللی پروژه نیروگاهی» نویسنده: امیر حسین خامنه، کنفرانس بین‌المللی مدیریت پروژه، دوره ۵، ص ۱-۱۷

ارائه چارچوبی جهت بررسی نقش سطح بلوغ مدل ۳۴۰۰۰ تعالی منابع انسانی بر بین المللی‌سازی سازمانی

محدثه طاهری



چکیده

بین‌المللی سازی به فرآیندی اطلاق می‌شود که طی آن جریان آزاد اندیشه، انسان، کالا، خدمات، و سرمایه در دنیا میسر و محقق گردد. تمایل به بین‌المللی‌سازی به طور قابل توجهی بر گرایش شرکت‌ها و موسسات برای یافتن بازارهای جدید خارجی تأثیرگذار است. از همین رو بازارهای شرکت‌های تجاری به واسطه بین‌المللی‌سازی، در تلاش برای دستیابی به توسعه بیشتر خصوصاً در شرایط اشباع بازارهای داخلی و شرایط رقابت هستند. از طرفی، مدل ۳۴۰۰۰ تعالی منابع انسانی برای سازمان‌ها این کارکرد را دارد که بتواند علاوه بر آسیب شناسی، عارضه‌یابی و ارزیابی، وضعیت موجود را با استاندارد مقایسه کرده و نقشه راهی برای بهبود ارائه کند. برای مثال در این مدل وضعیت فرایند مدیریت عملکرد کارکنان بررسی می‌شود و شناخت بدست آمده با مدل استاندارد مقایسه می‌گردد. از تحلیل مقایسه‌ای بین وضعیت موجود و وضعیت مطلوب می‌توان به نقشه راه بهبود رسید. این چرخه بهبود به سوی تعالی بطور مرتب تکرار می‌شود. در این مقاله به ارائه چارچوبی جهت بررسی نقش سطح بلوغ مدل ۳۴۰۰۰ تعالی منابع انسانی بر بین‌المللی‌سازی سازمانی در شرکت‌های صنعتی پرداخته شده است. کلمات کلیدی: بلوغ سازمانی، بین المللی سازی، مدل ۳۴۰۰۰، شرکت صنعتی.

مقدمه

بین‌المللی‌سازی پدیده نوظهوری نیست بلکه فرایندی است که همگام با افزایش آگاهی انسان نسبت به خود و محیط طبیعی و اجتماعی، از آغاز تاریخ وجود داشته است. از جنگ جهانی دوم به بعد با رشد تجارت جهانی، افزایش تحرک سرمایه در سطح بین المللی، مهاجرت نیروی کار و کاهش موانع تجاری براساس قراردادهای بین المللی، شکل دیگر و سرعت بیشتر پیدا کرد (اردستانی، ۱۴۰۲). در سال‌های اخیر هم با سرعت فزاینده دانش و فناوری و فروپاشی ابرقدرت شرق و پایان دوران جنگ سرد، شتاب بی‌سابقه‌ای گرفته است. در چنین اقتصادی نظام سرمایه داری برای تضمین فروش مازاد تولید خود به بازاری نیازمند است که پیوسته درحال گسترش باشد و در نهایت گستره ای به وسعت تمام گیتی پیدا کند (نلیوا^۱ و همکارانش، ۲۰۲۲). در این جریان، کشورهای توسعه یافته از برتری فناوری و از نفوذ خود در سازمان‌های مالی بین‌المللی و شرکت‌های عظیم فراملیتی سود جسته و شیوه تولید، مناسبات تولیدی، چگونگی بهره برداری از امکانات و منابع در کشورهای جهان سوم را به سود خود سازمان‌دهی و جریان امور را به بستر منافع و مطامع خود هدایت می‌کنند. از طرفی، هر سازمانی برای تداوم حیات خود و پیشرفت در دنیای رقابتی به بهبود مستمر عملکرد نیاز دارند. منابع انسانی سازمان سرمایه‌های بنیادی شرکت و منشاء هرگونه تحول و نوآوری تلقی می‌شوند که می‌توانند پیشرو بودن سازمان را همچون گذشته حفظ کنند (شهریاری و همکارانش، ۱۴۰۲). بین‌المللی‌سازی به علت پیشرفت فناوری ارتباطات و حمل و نقل رشد کرد. افزایش کنش متقابل جهانی، رشد تجارت، ایده‌ها و فرهنگ بین‌المللی را به همراه دارد. جهانی شدن در درجه اول یک فرایند اقتصادی به صورت کنش متقابل اقتصادی است که با جنبه‌های فرهنگی و اجتماعی همراه است. با این وجود، درگیری و دیپلماسی همواره بخشی از تاریخ جهانی شدن (به ویژه جهانی شدن مدرن) بوده است (شهریاری و همکارانش، ۱۴۰۲). طبق برخی دیدگاه‌های موافق با بین‌المللی‌سازی، این اتفاق در صورت انسجام می‌تواند سبب گسترش پیوندها و ارتباطات متقابل فراتر از حد دولت‌ها شود و اهمیت محلات و قومیت‌گرایی را به حداقل برساند (اجیتیم^۲، ۲۰۲۲). بین‌المللی‌سازی در حقیقت از پیامدهای نوزایی تمدن صنعتی و انقلاب تکنولوژی و گسترش سرمایه‌داری است که در صورت

تحقق دور از فساد و نقص می‌تواند به موجب فرایندهای پیچیده، جوامع مدنی را جایگزین دولت‌شهرهای سنتی کرده و در تعاملی برابر به صورتی متوازن باعث توسعه همگانی گردد (لوایی و همکارانش، ۱۴۰۲).

علی‌رغم تلاش مداوم در طراحی سیستم‌های کارآمدتر و منعطف برای ارزیابی کارکنان، شواهد و مدارک بیان می‌دارد که بطور کلی کارمندان و حتی مدیران از رویکردها و سیستم‌های مورد استفاده برای ارزیابی کارکنان رضایت ندارند. دلیل اصلی آن هم پیچیدگی فرامین و فرایندهای ارزیابی و در نتیجه عدم توانایی در طراحی یک سیستم ارزیابی غنی است (بیلدیز^۳ و همکارانش، ۲۰۲۳). عدم حمایت مدیریت، غیرقابل اجرا بودن سیستم‌های ارزیابی، ضعف و بی تسلطی ارزیابان در ارزیابی صحیح و عادلانه و عدم تناسب و انطباق سیستم‌های ارزیابی با واقعیت‌ها از جمله مشکلات بغرنجی هستند که اثربخشی اکثر سیستم‌های ارزیابی را تخریب می‌کند (دو^۴ و همکارانش، ۲۰۲۳).

از آنجا که تمامی فرایندهای موجود در نظام مدیریت منابع انسانی به هم پیوسته می‌باشند لذا نمی‌توان شیوه‌های موفق جهان در مدیریت عملکرد کارکنان را اجرا کرد (لیم^۵ و همکارانش، ۲۰۲۳). اقدامات استاندارد عملکرد حتی می‌تواند عیناً برخی از زمینه‌های عملکرد ذهنی، مانند عادات کار را اندازه‌گیری کند. به عنوان مثال، شما می‌توانید با تعیین تعداد قابل قبول بارهایی که یک کارمند می‌تواند در یک بازه زمانی خاص متوقف یا غیبت کند، یک اقدام عینی برای حضور در آن تعیین کنید. یکی از مشکلات در سازمان‌ها عدم بکارگیری مدلی کاربردی نظام مدیریت منابع انسانی می‌باشد. مدلی که تبیین کننده انسجام فرایندهای مدیریت منابع انسانی و ارتباطات میان آنها باشد و با بهبود مستمر قابلیت‌های کلیدی، بتواند سازمان را در مقایسه با سازمان‌های همتراز خود به نتایج دلخواه و مطلوب برساند. یکی از مدل‌های تعالی که در ساخت تابع عملکردی قوی و رقابتی به سازمان کمک می‌کند مدل ۳۴۰۰۰ تعالی منابع انسانی است (لوایی و همکارانش، ۱۴۰۲). مدل ۳۴۰۰۰ برای پاسخ‌دهی به این مشکل طراحی گردیده تا بتواند بطور هماهنگ و همسو فرایندهای منابع انسانی را عارضه‌یابی نموده و اثربخشی و کارآمدی آنها را ارزیابی و سازمان‌ها را در جهت بهبودی، حفظ و ارتقا آنها یاری کند (فلوریس^۶ و همکارانش، ۲۰۲۲). لذا با توجه به مطالب پیش گفته در پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به این سوال هستیم که بررسی تاثیر سطح بلوغ مدل ۳۴۰۰۰ تعالی منابع انسانی بر بین‌المللی‌سازی سازمانی چگونه است؟

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

مدل ۳۴۰۰۰ برای پاسخگویی به این مساله ایجاد شده است تا بتواند بطور یکپارچه و منسجم همه فرایندهای منابع انسانی را آسیب‌شناسی و اثربخشی آنها را ارزیابی و سازمان‌ها را در جهت ایجاد و ارتقاء آنها یاری کند. بر اساس مدل ۳۴۰۰۰ می‌توان وضعیت موجود مدیریت منابع انسانی در شرکت را بررسی و پروژهِها و اقدامات بهبود و توسعه آنها را فراهم کرد و یک فرهنگ تعالی و کمال را در سازمان ایجاد نمود. جهت سنجش سطح بلوغ فرآیندهای منابع انسانی از مدل-۳۴۰۰۰ استفاده می‌شود. هدف از آن بررسی نظام‌مند، جامع و یکپارچه سیستم منابع انسانی با رویکرد علمی است (نوروزی، ۱۴۰۲).

با بررسی پیشینه تحقیقات داخلی و خارجی مشاهده گردید که عزتی راد و همکارانش (۱۴۰۲) در پژوهشی به بررسی عوامل موثر بر عملکرد بین‌المللی‌سازی کسب و کارهای روستایی پرداخته‌اند. ولی زاده و همکارانش (۱۴۰۲) در پژوهشی به بررسی تاثیر قابلیت‌های شبکه‌سازی بر عملکرد بین‌المللی شرکت‌های زیر مجموعه شرکت پتروشیمی تبریز پرداخته‌اند. جهاندار و همکارانش (۱۴۰۱) در پژوهشی به ارائه مدل شبکه‌سازی در عملکرد بین‌المللی شرکت‌های کوچک و متوسط پرداخته‌اند. قلی‌پور و همکارانش (۱۴۰۱) در پژوهشی به طراحی چارچوب یکپارچه فرایندهای منابع انسانی مدل ۳۴۰۰۰ بر اساس رویکرد AMO پرداخته‌اند. ابراهیم‌زاده و همکارانش (۱۴۰۱) در پژوهشی به ارائه الگو امکان پذیری استقرار سیستم استاندارد ۳۴۰۰۰ مدیریت منابع انسانی در بانک انصار پرداخته‌اند. رحیمی و همکارانش (۱۴۰۰) در پژوهشی به شناسایی الگویی برای ارزیابی مدیریت منابع انسانی بر اساس استاندارد ۳۴۰۰۰ در کسب و کارهای نوپا پرداخته‌اند. حسینی شکیب و همکارانش (۱۳۹۸) در پژوهشی به بررسی تاثیر شیوه‌های مدیریت منابع انسانی بر عملکرد سازمان از طریق نقش میانجی عملکرد کارکنان و تعدیل‌گری پیاده‌سازی مدل ایرانی منابع انسانی ۳۴۰۰۰ در صنعت روانکاری (مورد مطالعه: شرکت نفت پارس) پرداخته‌اند. شوقی سینی (۱۳۹۸) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود به آسیب‌شناسی اجرای مدل تعالی منابع انسانی در شرکت ملی گاز ایران پرداخته است. همچنین، ماندرینوس^۷ و همکارانش (۲۰۲۳) در پژوهشی به بررسی بین‌المللی‌زدایی سازمانی و ارتباط آن با تعالی سازمانی و نهادگرایی سازمانی پرداخته‌اند. سمانتا^۸ و همکارانش (۲۰۲۳) در پژوهشی به تجزیه و تحلیل عوامل حیاتی موفقیت برای ادغام موفقیت‌آمیز شش سیگما ناب و صنعت ۴/۰ برای تعالی سازمانی و نقش آن بر بین‌المللی‌سازی سازمانی پرداخته‌اند. تکسیرا کوپروس^۹ و همکارانش (۲۰۲۲) در پژوهشی به بررسی تاثیر تعالی سازمانی و الگوی عملکرد سازمانی با بکارگیری نقش میانجی نوآوری و مدیریت کیفیت جامع بر بین‌المللی‌سازی سازمانی پرداخته‌اند. لاسرادو^{۱۰}

۳	Yildiz
۴	Do
۵	Lim
۶	Floris
۷	Mandrinos
۸	Samanta
۹	Texeira-Quiros

(۲۰۲۲) در مقاله‌ای به تأثیرات رهبری تحول‌گرا و فرهنگ بین‌المللی شدن بر تعالی سازمانی پرداخته است. المرزوقی^{۱۱} و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای به مطالعه یک چارچوب تعاملی جهت بررسی نقش مدیریت منابع انسانی پایدار در حفظ نتایج مثبت سازمانی براساس استاندارد ۳۴۰۰۰ با نقش میانجی بین‌المللی‌سازی پرداخته‌اند. همچنین، ال-ابرو^{۱۲} و همکاران (۲۰۲۳) در مقاله‌ای به تأثیر صداقت سازمانی و رفتار رهبری بر تعالی سازمانی براساس استاندارد ۳۴۰۰۰ پرداخته‌اند. در نهایت، زارع^{۱۳} و همکاران (۲۰۲۲) در مقاله‌ای به ارزیابی بلوغ فرآیندهای مدیریت منابع انسانی بر اساس ابزار بررسی فرآیند منابع انسانی در استاندارد ۳۴۰۰۰ پرداخته‌اند.

روش‌شناسی تحقیق

از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، تحقیق کاربردی است چون با استفاده از نتایج تحقیقات بنیادی به منظور بهبود و به کمال رساندن رفتارها، روش‌ها، ابزارها، وسایل، تولیدات، ساختارها و الگوهای مورد استفاده جوامع انسانی انجام می‌شود. ابزار گردآوری اطلاعات در این تحقیق استفاده از اطلاعات و داده‌های موجود از شرکت‌های صنعتی می‌باشد.

فرضیه‌های تحقیق:

۱. بلوغ فرایند طراحی ساختار سازمانی کلان و تفضیلی بر بین‌المللی‌سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۲. بلوغ فرایند تجزیه و تحلیل شغل و گزیدینگ شغلی بر بین‌المللی‌سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۳. بلوغ فرایند برنامه‌ریزی منابع انسانی، جذب و گریدینگ شاغل بر بین‌المللی‌سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۴. بلوغ فرایند روابط کار و سلامت جامع منابع انسانی بر بین‌المللی‌سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۵. بلوغ فرایند حقوق، مزایا و پاداش بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۶. بلوغ فرایند آموزش، یادگیری و مدیریت دانش بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۷. بلوغ فرایند مربیگری و منتورینگ بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۸. بلوغ فرایند تحلیل و توسعه شایستگی ها بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۹. بلوغ فرایند تیم سازی و توانمندسازی بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۱۰. بلوغ فرایند پیشنهادات و نوآوری ها بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنا دار دارد.
۱۱. بلوغ فرایند مدیریت استعداد و جانشین پروری بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنا دار دارد.
۱۲. بلوغ فرایند مدیریت اخلاق، ارزش ها و فرهنگ سازمانی بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنادار دارد.
۱۳. بلوغ فرایند رهبری و استراتژی منابع انسانی بر بین المللی سازی سازمان تاثیر مثبت و معنا دار دارد.

جدول ۱: تحلیل توصیفی داده‌های به دست آمده برای ابعاد مختلف معماری فضاهای آموزشی

متغیرها	تعداد	میانگین	انحراف معیار
فردی (فکری، نگرشی)	۱۰۰	۲/۳۷	۰/۴۱
ساختاری-انسانی	۱۰۰	۳/۱۰	۰/۵۷
اقتصادی	۱۰۰	۳/۳۶	۰/۴۹
فرهنگی-آموزشی	۱۰۰	۳/۴۲	۰/۴۷

در جدول ۱ برای ابعاد مختلف معماری فضاهای آموزشی میانگین و انحراف معیار داده‌های به دست آمده مشخص شده است. میانگین بعد فرهنگی آموزشی برابر با ۲/۴۲، بعد ساختاری- انسانی ۲/۱۷، بعد فردی ۲/۲۰ و بعد اقتصادی ۲/۲۱ به دست آمد.

تحلیل عاملی تأییدی: با توجه به اینکه مدل پژوهش از سازه‌های مختلف تشکیل شده است، برای بررسی اعتبار و روایی و همچنین ارزیابی میزان تناسب مدل با داده‌ها، از تحلیل عاملی تاییدی مرتبه اول استفاده شده است. این مدل با تعداد سی و هفت گویه مرتبط با یازده عامل برآزش شده و براساس نتایج شاخص‌های برازندگی^{۱۴} و نتایج بخش اندازه‌گیری^{۱۵} مدل تحلیل شده است. اعتبار و روایی سازه‌ها نیز براساس شاخص‌های مختلف و همچنین روابط بین سازه‌ها مورد بررسی و قضاوت قرار گرفته است.

۱) شاخص‌های برازندگی: ارزیابی خوبی برآزش در یک مطالعه تحلیل عاملی تاییدی معمولاً شامل یک ساختار عاملی و یک گروه برای ارزیابی روایی سازه است. همچنانکه در جدول ۷ مشخص شده است مقادیر سه شاخص: مربع کا هنجار شده، ریشه دوم برآورد واریانس خطای تقریب و خطای میانگین مربع ریشه استاندارد شده پایینتر از استانه پیشنهادی

۱۱	Almarzooqi,
۱۲	AL-Abrow
۱۳	Zare
۱۴	. Goodness Of Fit Statistics
۱۵	. Measurement Model

و مقادیر دو شاخص پی‌کلوز و برازندگی تطبیقی بزرگتر از آستانه پیشنهادی برای ارزیابی سه سطح از کیفیت مدل است. بنابراین هر پنج شاخص نیکویی برازش مدل را در سطح عالی ارزیابی کرده و از همخوانی بین داده‌های تجربی با مدل نظری حمایت شده است.

جدول ۲: شاخص‌های برازندگی برای مدل تحلیل عاملی تاییدی مرتبه اول

نام شاخص و مقادیر برآوردی	آستانه مقادیر و کیفیت			وضعیت شاخص
	مقادیر مدل	کیفیت غیرقابل قبول	کیفیت قابل قبول	
CMIN/DF	۱/۵۶۲	۵ <	۳ <	۱ < عالی است.
CFI	۰/۹۷۷	۰/۹۰ >	۰/۹۵ >	۰/۹۵ < عالی است.
SRMR	۰/۰۳۱	۰/۱۰ <	۰/۰۸ <	۰/۰۸ > عالی است.
RMSEA	۰/۰۳۵	۰/۰۸ <	۰/۰۶ <	۰/۰۶ > عالی است.
PClose	۱/۰۰۰	۰/۰۱ >	۰/۰۵ >	۰/۰۵ < عالی است.

۲) بخش اندازه‌گیری مدل: این بخش از مدل تحلیل عاملی تاییدی روابط بین متغیرهای پنهان و متغیرهای اندازه‌گیری شده محاسبه و آزمون بررسی می‌کند. برای مدل تحلیل عاملی تاییدی، همه ۳۷ آیتم به طور قابل توجهی و برجسته یعنی بالاتر از ۰/۷۰ بر روی عوامل هدف (تعیین شده) خود بارگذاری شدند. بارهای عاملی استاندارد شده بین ۰/۷۵۸ تا ۰/۹۴۴ است و آماره نسبت بحرانی بین ۱۷/۱۲۶ تا ۳۱/۳۷۸ است.

بزرگتر بودن آماره‌های آزمون از مقدار ۱/۹۶ و ۲/۵۸ نشان دهنده وجود رابطه مثبت و معنادار بین گویه‌ها با سازه‌های مفروض است. ضریب تشخیص به عنوان درصد از واریانس بین ۰/۵۷۷ تا ۰/۸۹۱ است و نشان می‌دهد که گویه‌های هر سازه تا حد بالا توسط مولفه‌های مفروض تبیین می‌شود. بنابراین این بخش از مدل حاکی از وجود روایی عاملی قابل قبول است و کاربرد گویه‌ها در سنجش مولفه‌ها مناسب است.

۳) روابط بین سازه‌ها و اعتبار و روایی: اعتبار و روایی دو مفهوم مرتبط با کیفیت اندازه‌گیری است و نشان دهنده درجه سازگاری و دقت ابزار اندازه‌گیری در سنجش سازه‌ها است. روابط همبستگی بین سازه‌های مدل بین ۰/۳۰۶ تا ۰/۷۰۷ است که نشان وجود رابطه مثبت بین سازه‌های مدل است و سطح معنی‌داری در همه روابط کوچکتر از ۰/۰۵ است که از نظر آزمون معنادار هستند.

جدول ۳: ضرایب اعتبار همسانی درونی و روایی همگرایی و تشخیصی سازه‌های مورد مطالعه در پژوهش

سازه	CR	AVE	MSV	MaxR	K.S	RES	REL	EMP	ASS	I.AC	C.S	I.CU	S.RE	S.FL	S.TI
K.S	۰/۹۶۱	۰/۸۰۳	۰/۴۶۶	۰/۹۶۴	۰/۸۹۶										
RES	۰/۸۸۴	۰/۷۱۷	۰/۴۳۹	۰/۸۸۷	۰/۵۴۳	۰/۸۴۷									
REL	۰/۹۱۷	۰/۷۸۷	۰/۵۰۰	۰/۹۲۴	۰/۵۱۱	۰/۴۹۶	۰/۸۸۷								
EMP	۰/۸۹۹	۰/۷۴۸	۰/۵۰۰	۰/۹۰۴	۰/۵۴۴	۰/۷۰۷	۰/۸۶۵	۰/۴۶۳							
ASS	۰/۸۸۸	۰/۷۲۵	۰/۴۳۹	۰/۸۸۸	۰/۶۰۲	۰/۶۶۳	۰/۴۷۸	۰/۵۶۳	۰/۸۵۱						
I.AC	۰/۸۵۳	۰/۶۵۹	۰/۳۷۸	۰/۸۵۳	۰/۵۱۸	۰/۳۷۸	۰/۳۶۷	۰/۳۴۲	۰/۴۹۰	۰/۸۱۲					
C.S	۰/۹۰۷	۰/۷۱۰	۰/۳۱۵	۰/۹۲۹	۰/۵۶۱	۰/۴۳۹	۰/۴۴۰	۰/۴۵۰	۰/۴۶۹	۰/۴۲۹	۰/۸۴۳				
I.CU	۰/۹۰۳	۰/۷۵۶	۰/۳۷۸	۰/۹۰۵	۰/۵۵۵	۰/۳۹۷	۰/۳۴۶	۰/۳۷۴	۰/۵۱۶	۰/۶۱۵	۰/۳۶۷	۰/۸۶۹			
S.RE	۰/۹۲۱	۰/۷۹۶	۰/۳۴۴	۰/۹۲۹	۰/۵۴۰	۰/۳۰۶	۰/۳۳۸	۰/۴۱۴	۰/۴۱۲	۰/۴۶۵	۰/۴۸۲	۰/۵۸۶	۰/۸۹۲		
S.FL	۰/۸۸۰	۰/۷۱۰	۰/۴۶۶	۰/۸۸۲	۰/۶۸۳	۰/۴۶۹	۰/۴۵۵	۰/۴۸۱	۰/۵۴۰	۰/۳۸۶	۰/۵۵۸	۰/۴۲۴	۰/۴۲۳	۰/۸۴۳	
S.TI	۰/۹۲۳	۰/۸۰۰	۰/۳۴۳	۰/۹۲۴	۰/۵۲۶	۰/۳۳۸	۰/۳۱۷	۰/۳۲۹	۰/۴۸۳	۰/۳۲۳	۰/۴۶۱	۰/۵۰۸	۰/۴۲۸	۰/۵۸۶	۰/۸۹۴

نمودار ۱: ضرایب بارعاملی و همبستگی بین سازه‌های مدل تحلیل عاملی تاییدی مرتبه اول

مدل‌یابی معادلات ساختاری: مدل‌سازی معادلات ساختاری مجموعه‌ای از روش‌های آماری است که برای تخمین تأثیرات علی مفروض در مطالعات کمی بکار می‌رود.

۱) نتایج شاخص‌های برازندگی مدل: شاخص‌های برازش مدل با رویکرد کوواریانس‌محور تنوع قابل توجهی دارند. ارزیابی نیکوی برازش مدل به چند شاخص مهم استناد شده نتایج در جدول شماره ۹ ارایه شده است. شاخص برازندگی تطبیقی مقدار ۰/۹۵۸ و شاخص برازندگی تاکر- لوئیس با مقدار ۰/۹۵۲ بزرگتر مقادیر پیشنهاد شده ۰/۹۰ است. شاخص برازندگی مقدار ۰/۸۴۴ و شاخص نرم‌شده برازندگی با مقدار ۰/۸۹۰ بزرگتر مقدار پیشنهاد شده ۰/۸۰ است. شاخص نرم‌شده برازندگی نسبی مقدار ۰/۸۲۳ و شاخص برازندگی نسبی با مقدار ۰/۷۳۹ بزرگتر مقدار پیشنهاد شده ۰/۵۰ است.

ریشه خطای میانگین مجذورات تقریب با مقدار ۰/۰۶۰ کوچکتر از مقدار پیشنهاد شده ۰/۸۰ و مربع کا هنجار شده مقدار ۲/۶۴۲ کوچکتر از مقدار پیشنهاد شده ۳ است.

این شاخص‌ها نشان دهنده برازش خوب مدل است و از همخوانی و تطابق داده‌های تجربی با مدل نظری پشتیبانی کرده است.

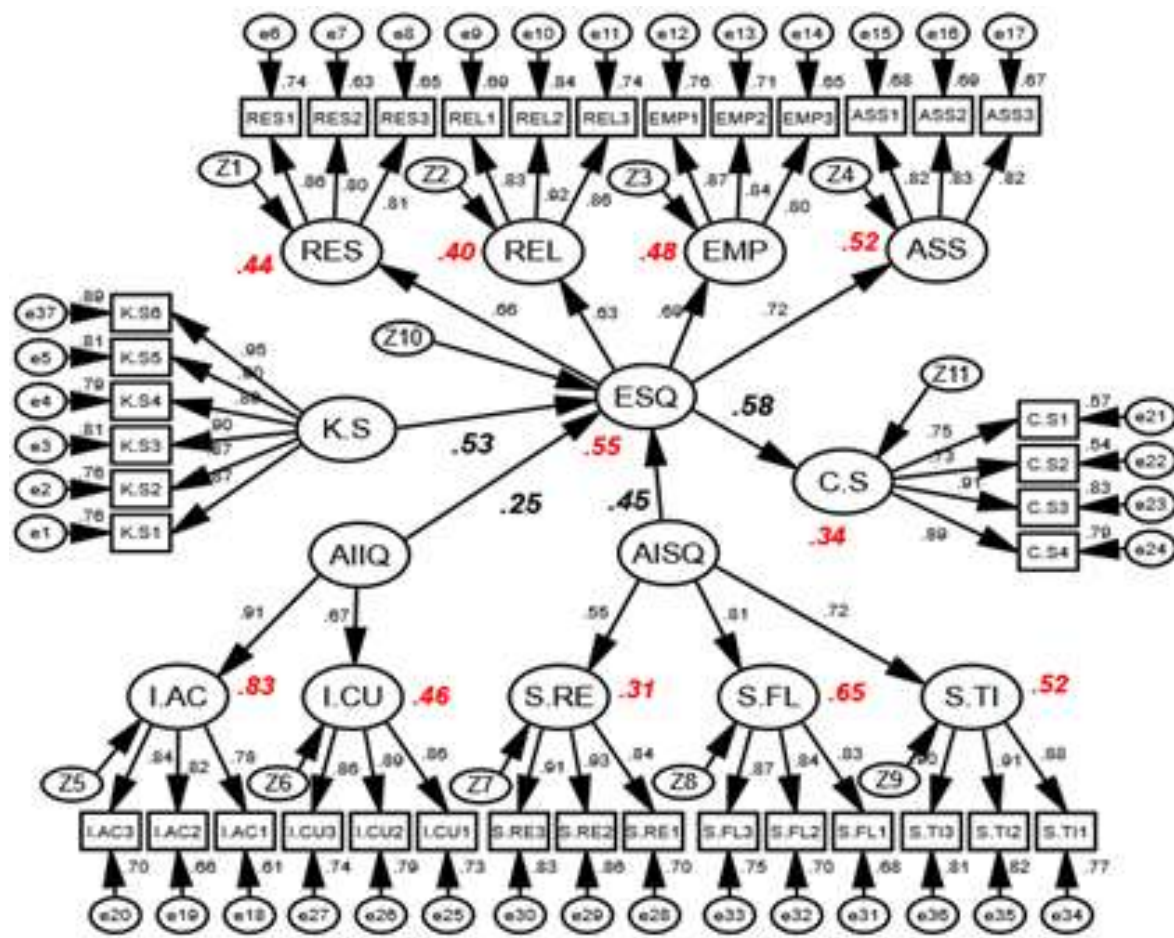
جدول ۴: شاخص‌های برازندگی مدل‌یابی معادلات ساختاری مورد بررسی در پژوهش

شاخص‌های برازندگی	مقدار پیشنهادشده	نام پیشنهادکننده	مقادیر مدل پژوهش
CFI	برازندگی تطبیقی	وست و همکاران (۲۰۱۲)	۰/۹۵۸
GFI	شاخص برازندگی	فروزا و فلیپینی (۱۹۹۸)	۰/۸۴۴
PGFI	شاخص برازندگی نسبی	کاینک (۲۰۰۳)	۰/۷۳۹
TLI	شاخص تاکر-لوئیس	وست و همکاران (۲۰۱۲)	۰/۹۵۲
NFI	شاخص نرم‌شده برازندگی	فروزا و فلیپینی (۱۹۹۸)	۰/۸۹۰
PNFI	شاخص نرم‌شده برازندگی نسبی	کاینک (۲۰۰۳)	۰/۸۲۳
RMSEA	ریشه دوم برآورد واریانس خطای تقریب	جان و همکاران (۲۰۰۶)	۰/۰۶۰
X2/df	مربع کا بر درجه‌آزادی	العدلی و اید (۲۰۱۶)	۲/۶۴۲

۲) بخش اندازه‌گیری مدل: در مدل مورد بررسی سه سازه اصلی براساس تحلیل عاملی تاییدی مرتبه دوم و دو سازه براساس تحلیل عاملی تاییدی مرتبه اول برازش شده است. بنابراین این بخش شامل روابط مرتبه اول و مرتبه دوم است. در این بخش از اندازه‌گیری مدل روابط بین سی و هفت گویه با یازده سازه فرعی مدل بررسی و آزمون شده است که ضرایب در همه موارد بزرگتر از ۰/۷۰ است و آماره بحرانی همه آنها بزرگتر از مقدار ۱/۹۶ و ۲/۵۸ است که از وجود بارعاملی به صورت مثبت و معنادار حمایت شده است. بارهای عاملی استاندارد شده بین ۰/۷۳۳ تا ۰/۹۴۵ و آماره آزمون بین ۱۵/۷۶۵ تا ۳۰/۹۸۴ است که از بارعاملی مثبت و معنادار گویه‌ها در ارتباط با مولفه‌های مفروض پشتیبانی شده است. ضرایب تشخیص گویه‌ها بین ۰/۵۳۸ تا ۰/۸۹۴ واقع شده است. بنابراین روایی عاملی لازم و کافی گویه‌های هر يك از مولفه‌ها تایید شده است.

جدول ۵: ضرایب و آزمون بارهای عاملی ارتباط بین گویه‌ها با مولفه‌ها در مدل معادله‌یابی ساختاری

سازه ها و گویه ها			ضریب تاثیر		آماره های آزمون و ضریب تشخیص		
گویه	جهت	سازه	استاندارد	غیراستاندارد	خطای استاندارد	آماره بحرانی	احتمال خطا
ASS1	---	ASS	.۸۲۲	۱/۰۰۰			.۶۷۶
ASS2	---	ASS	.۸۳۳	۱/۰۱۹	.۰۵۴	۱۸/۸۰۹	***
ASS3	---	ASS	.۸۱۶	.۹۸۰	.۰۵۳	۱۸/۴۵۹	***
C.S1	---	C.S	.۷۵۳	۱/۰۰۰			.۵۶۶
C.S2	---	C.S	.۷۳۳	.۹۷۸	.۰۶۲	۱۵/۷۶۹	***
C.S3	---	C.S	.۹۱۳	۱/۱۷۸	.۰۵۹	۱۹/۹۴۱	***
C.S4	---	C.S	.۸۸۶	۱/۱۳۸	.۰۵۹	۱۹/۴۴۰	***
EMP1	---	EMP	.۸۷۵	۱/۰۰۰			.۷۶۵
EMP2	---	EMP	.۸۴۴	.۹۴۸	.۰۴۵	۲۱/۱۲۱	***
EMP3	---	EMP	.۸۰۴	.۹۰۹	.۰۴۶	۱۹/۹۴۹	***
I.AC1	---	I.AC	.۷۸۴	۱/۰۰۰			.۶۱۴
I.AC2	---	I.AC	.۸۱۵	۱/۰۶۲	.۰۶۲	۱۷/۱۶۷	***
I.AC3	---	I.AC	.۸۳۶	۱/۰۸۳	.۰۶۲	۱۷/۴۷۰	***
I.CU1	---	I.CU	.۸۵۶	۱/۰۰۰			.۷۳۳
I.CU2	---	I.CU	.۸۹۱	۱/۰۲۴	.۰۴۳	۲۳/۵۴۸	***
I.CU3	---	I.CU	.۸۶۱	۱/۰۰۳	.۰۴۴	۲۲/۶۰۹	***
K.S1	---	K.S	.۸۶۹	۱/۰۰۰			.۷۵۶
K.S2	---	K.S	.۸۷۱	.۹۹۲	.۰۳۸	۲۵/۸۴۲	***
K.S3	---	K.S	.۸۹۹	۱/۰۳۴	.۰۳۷	۲۷/۶۰۶	***
K.S4	---	K.S	.۸۸۷	۱/۰۴۱	.۰۳۹	۲۶/۸۳۷	***
K.S5	---	K.S	.۹۰۱	۱/۰۸۷	.۰۳۹	۲۷/۷۹۳	***
K.S6	---	K.S	.۹۴۵	۱/۰۷۲	.۰۳۵	۳۰/۹۸۴	***
REL1	---	REL	.۸۳۳	۱/۰۰۰			.۶۹۴
REL2	---	REL	.۹۱۷	۱/۰۸۹	.۰۴۷	۲۳/۳۷۶	***
REL3	---	REL	.۸۵۷	۱/۰۴۱	.۰۴۸	۲۱/۸۳۵	***
RES1	---	RES	.۸۶۲	۱/۰۰۰			.۷۴۳
RES2	---	RES	.۷۹۶	.۹۲۲	.۰۵۰	۱۸/۵۶۲	***
RES3	---	RES	.۸۰۸	.۹۵۰	.۰۵۰	۱۸/۸۵۲	***
S.FL1	---	S.FL	.۸۲۶	۱/۰۰۰			.۶۸۲
S.FL2	---	S.FL	.۸۳۶	۱/۰۳۷	.۰۵۲	۱۹/۸۳۶	***
S.FL3	---	S.FL	.۸۶۷	۱/۰۳۴	.۰۵۰	۲۰/۵۵۸	***
S.RE1	---	S.RE	.۸۳۷	۱/۰۰۰			.۷۰۱
S.RE2	---	S.RE	.۹۲۷	۱/۰۹۷	.۰۴۳	۲۵/۲۴۹	***
S.RE3	---	S.RE	.۹۰۹	۱/۰۹۹	.۰۴۴	۲۴/۷۳۱	***
S.TI1	---	S.TI	.۸۷۸	۱/۰۰۰			.۷۷۱
S.TI2	---	S.TI	.۹۰۶	۱/۰۵۴	.۰۳۹	۲۶/۸۱۲	***
S.TI3	---	S.TI	.۸۹۹	۱/۰۲۴	.۰۳۹	۲۶/۵۳۳	***



نمودار ۲: نتایج ضرایب تاثیر استاندارد سازه‌های اثرگذار بر اثربخشی در مدل معادلات ساختاری

آزمون فرضیه‌ها: در این قسمت به آزمون سؤالات پژوهش با استفاده از مطالعات گذشته انجام پذیرفته است. با توجه به گزارش‌های شرکت‌های صنعتی و درصد انگیزه بالای کارکنان و رضایت سازمان از اجرای مدل ۳۴۰۰۰ منابع انسانی، فرضیه‌های تحقیق ثابت می‌گردد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کوچک‌سازی، بازآرایی و مهندسی ساختار سازمانی، مهندسی مجدد فرایندها، مدیریت دانش، برنامه‌های مشارکت کارکنان، برنامه‌های ارتباط با مشتری، برنامه‌های تسهیم سود، آموزش، مدیریت عملکرد، فرآیند بازخور، طراحی شغل، گردش شغلی، کار تیمی، کار انعطاف پذیر، تسهیم شغل، تنوع آموزی، منتورینگ، حسابرسی منابع انسانی، طراحی سیستم‌های انگیزشی، تدوین شرح شغل و شرایط احراز، سیستم رشد و ارتقاء، برنامه‌های ایمنی، امنیت، بهداشت، محیط و ارگونومی همگی از تکنیک‌ها و روش‌هایی هستند که برای اثر بخشی مدیریت منابع انسانی بکار می‌روند. ولی یکی از نقاط ضعف سازمان‌ها در این زمینه، عدم بهره‌گیری از یک مدل یکپارچه و منسجم برای به کار بردن این تکنیک‌ها و سیستم‌هاست (پاراگزالس و همکاران، ۲۰۱۹). مدل ۳۴۰۰۰ برای پاسخگویی به این مساله ایجاد شده است تا بتواند بطور یکپارچه و منسجم همه فرایندهای منابع انسانی را آسیب شناسی و اثر بخشی آنها را ارزیابی و سازمان‌ها را در جهت ایجاد و ارتقاء آنها یاری کند. بر اساس مدل ۳۴۰۰۰ می‌توان وضعیت موجود مدیریت منابع انسانی در شرکت را بررسی و پروژه‌ها و اقدامات بهبود و توسعه آنها را فراهم کرد و یک فرهنگ تعالی و کمال را در سازمان ایجاد نمود. در حال حاضر بسیاری از شرکت‌ها با درک این مهم در مسیر ارتقای سطح و جایگاه حوزه‌ی منابع انسانی هستند. اما باید توجه داشت که حرکت در این مسیر نیازمند توجه به چند نکته کلیدی به شرح زیر است:

- حوزه منابع انسانی دارای ابعاد بسیار متنوع و مهم می‌باشد و در هر شرکتی کم و بیش برخی از ابعاد آن مورد توجه بوده و در حال اقدام می‌باشد. طبعاً شناخت دقیق جایگاه فعلی و همچنین وضعیت مطلوب برای برنامه ریزی بسیار ضروری است.
- توجه شایسته به حوزه‌ی منابع انسانی با تعریف‌های روز جهانی، نیازمند توجه به تمامی فرایندهای کلیدی در این حوزه است. شناسایی این فرایندها نیز در وهله اول بسیار مهم می‌نماید.
- با توجه به ابعاد مختلف و تعدد فرایندها در این حوزه، ایجاد یکپارچگی و اولویت‌بندی برای حرکت به سمت تحقق استانداردهای این حوزه در تراز جهانی، کلیدی می‌باشد.

امروزه در شرکت‌های صنعتی پیشروی دنیا، از مدل‌های مختلفی در جهت ارتقای سطح حوزه‌ی منابع انسانی استفاده می‌گردد که از این میان می‌توان به مدل‌هایی نظیر مدل بلوغ قابلیت‌های منابع انسانی، مدل سرمایه‌گذاری انسانی، مدل فیلیپس و ... اشاره نمود. طبعاً این مدل‌ها بسته به وضعیت شرکت با اهداف مختلفی به کار گرفته می‌شوند. در این راستا یکی از دغدغه‌های مهم برای استفاده از مدل‌های مطرح در کشور ما، انطباق مدل با وضعیت بومی شرکت‌ها و بنگاه‌های اقتصادی ملی است. این انطباق با توجه به نوع و سطح صنایع و همچنین ساختارها و شرایط اقتصادی کشور از اهمیت بسیاری برخوردار است. با توجه به محدود بودن زمان انجام این تحقیق، تحقیق حاضر در یک مقطع زمانی انجام شده است مناسب است که تحقیقات آتی با توجه به متغیرها و شاخص‌های این تحقیق در دوره‌های زمانی دیگر نیز به اجرا گذاشته، و نتایج حاصل از استفاده از چارچوب پیشنهادی تحقیق را مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار دهند.

منابع

17. Gyamerah, S., He, Z., & Gyamerah, E. E. D. (2023). Managerial perception of barriers to internationalization: an examination of sub-Saharan Africa SMEs along the Belt and Road. *Journal of Global Entrepreneurship Research*, 13(1), 117-.
18. Lasrado, F. and kasseem, R. (2022), «Let's get everyone involved! The effects of transformational leadership and organizational culture on organizational excellence», *International Journal of Quality & Reliability Management*, Vol. ahead-of-print No. ahead-of-print.
19. Lim, W. M. (2022). Ushering a new era of Global Business and Organizational Excellence: Taking a leaf out of recent trends in the new normal. *Global Business and Organizational Excellence*, 41(5), 513-.
20. Lim, W. M., & Mandrinis, S. (2023). A general theory of de-internationalization. *Global Business and Organizational Excellence*, 42(2), 915-.
21. Mandrinis, S., & Lim, W. M. (2023). De-internationalization: An organizational institutionalism perspective. *Global Business and Organizational Excellence*, 42(3), 5873-.
22. Nelaeva, A., & Nilssen, F. (2022). Contrasting knowledge development for internationalization among emerging and advanced economy firms: A review and future research. *Journal of Business Research*, 139, 232256-.
23. Samanta, M., Virmani, N., Singh, R. K., Haque, S. N., & Jamshed, M. (2023). Analysis of critical success factors for successful integration of lean six sigma and Industry 4.0 for organizational excellence. *The TQM Journal*, 36(1), 208243-.
24. Teixeira-Quiros, J., & Justino, M. D. R. (2022). Effects of innovation, total quality management, and internationalization on organizational performance of higher education institutions. *Frontiers in Psychology*, 13, 869638.
25. Yildiz, H. E., Morgulis-Yakushev, S., Holm, U., & Eriksson, M. (2023). Directionality matters: Board interlocks and firm internationalization. *Global Strategy Journal*, 13(1), 90110-.
26. Zare, M. S., Tahmasebi, R. and Yazdani, H. (2022), «Maturity assessment of HRM processes based on HR process survey tool: a case study», *Business Process Management Journal*, Vol. 24 No. 3, pp. 610634-.

۱. ابراهیم زاده، یحیی، حمدالله منظری توکلی، سنجر سلاجقه، محمدجلال کمالی، (۱۴۰۱). ارائه الگو امکان پذیری استقرار سیستم استاندارد ۳۴۰۰۰ مدیریت منابع انسانی در بانک انصار، نشریه اقتصاد و بانکداری اسلامی، ۱۱(۴۰)، ۸۷-۱۱۲.
۲. اردستانی، حسن و سیدامیری، نادر و آزادبخت، محمدباقر و دستوریان، بنفشه، ۱۴۰۲، ارائه مدل مفهومی تعاملات فرااجتماعی کاربران شبکه‌های اجتماعی بر بین‌المللی سازی شرکت‌های کوچک و متوسط، سومین کنفرانس دیده بان‌ی کسب و کار ایران ۱۴۰۲، تهران.
۳. جهان دار، فاطمه، حمیدرضا وزیری گهر، (۱۴۰۱). ارائه مدل شبکه سازی در عملکرد بین‌المللی شرکت‌های کوچک و متوسط، پژوهشنامه مدیریت و مهندسی صنایع، ۴(۱۱)، ۷۴-۸۶.
۴. حسینی شکیب، مهرداد، حسین هشیوار، (۱۳۹۸). تاثیر شیوه‌های مدیریت منابع انسانی بر عملکرد سازمان از طریق نقش میانجی عملکرد کارکنان و تعدیلگری پیاده سازی مدل ایرانی منابع انسانی ۳۴۰۰۰ در صنعت روانکاری (مورد مطالعه: شرکت نفت پارس)، نشریه مدیریت منابع انسانی پایدار، ۱(۱)، ۱۸۷-۲۱۰.
۵. رحیمی، شکوفه، آرین قلی پور، محمد صفری، (۱۴۰۰). شناسایی الگویی برای ارزیابی مدیریت منابع انسانی بر اساس استاندارد ۳۴۰۰۰ در کسب و کارهای نوپا، نشریه مدیریت منابع انسانی پایدار، ۳(۴)، ۳۹-۶۰.
۶. شوقی سینی، مریم، ۱۳۹۸، آسیب شناسی اجرای مدل تعالی منابع انسانی در شرکت ملی گاز ایران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد.
۷. شهریاری، کژال، یحیی داداش کریمی، کاوه تیمور نژاد، داریوش غلام زاده، (۱۴۰۲). تبیین مدل تعالی سرمایه انسانی در آموزش و پرورش ایران، نشریه توانمندسازی سرمایه انسانی، ۶(۲)، ۱۷۳-۱۸۳.
۸. عزتی راد، هاله، مرتضی اکبری، مرتضی موسی خانی، علی بدیع زاده، (۱۴۰۲). عوامل موثر بر عملکرد بین‌المللی سازی کسب و کارهای روستایی، نشریه کارافن، ۲۰(۶۲)، ۱۳-۳۴.
۹. قلی پور، آرین، عباس نرگسیان، سمیه ذاکری نیا، (۱۴۰۱). طراحی چارچوب یکپارچه فرایندهای منابع انسانی مدل ۳۴۰۰۰ بر اساس رویکرد AMO، فصلنامه مدیریت دولتی، ۱۴(۵۲)، ۵۳۱-۵۵۳.
۱۰. لوایی، پریسا، مجید جهانگیرفرد، فرشاد حاج علیان، (۱۴۰۲). ارائه مدل ارزیابی تعالی منابع انسانی در صنعت بانکداری، نشریه مدیریت تبلیغات و فروش، ۴(۳)، ۵۱۱-۵۳۵.
۱۱. نوروزی، فاطمه، ۱۴۰۲، بررسی رابطه بین رهبری اصیل و عملکرد فردی با توجه به نقش میانجی تعهد عاطفی کارکنان در سازمان مدیریت و برنامه ریزی شهر اصفهان، اولین همایش ملی پژوهش‌های نو پدید در حسابداری، مالی، مدیریت و اقتصاد با رویکرد توسعه اکوسیستم نوآوری، تهران.
۱۲. ولی زاده، حبیب و شریف نژاد، مهدیس، ۱۴۰۲، بررسی تاثیر قابلیت‌های شبکه سازی بر عملکرد بین‌المللی شرکت‌های زیر مجموعه شرکت پتروشیمی تبریز (سهامی عام)، نهمین کنفرانس ملی یافته‌های نوین علوم و تکنولوژی با محوریت کامپیوتر، مدیریت و حسابداری، تهران.

13. AL-Abrow, H., Abdullah, H. and Atshan, N. (2023), «Effect of organisational integrity and leadership behaviour on organisational excellence: Mediator role of work engagement», *International Journal of Organizational Analysis*, Vol. 27 No. 4, pp. 972985-.
14. Almarzooqi, A. H., Khan, M. and Khalid, K. (2021), «The role of sustainable HRM in sustaining positive organizational outcomes: An interactional framework», *International Journal of Productivity and Performance Management*, Vol. 68 No. 7, pp. 12721292-.
15. Do, H., Nguyen, B., & Shipton, H. (2023). Innovation and internationalization in an emerging market context: Moderating effects of interpersonal and organizational social networks. *Journal of International Management*, 29(2), 101014.
16. Egitim, S. (2022). Challenges of adapting to organizational culture: Internationalization through inclusive leadership and mutuality. *Social Sciences & Humanities Open*, 5(1), 100242.

بازرسی بر مبنای ریسک

علی عشقی ثانی



مقدمه

امروزه نگهداری و تعمیرات مقوله‌ای است که در تمامی صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرند. بدون شک امروزه توجه روز افزونی نسبت به مقوله ریسک و روش‌های مبتنی بر ریسک برای تعیین استراتژی‌های بازرسی، نگهداری و مدیریت در صنایع نفت و گاز و صنایع نیروگاهی سراسر جهان و از جمله ایران به وجود آمده است. بازرسی بر مبنای ریسک، ابزاری را جهت بهبود مستمر برنامه‌های بازرسی از تجهیزات فراهم نموده و کاهش سیستماتیک ریسک آنها را بدنبال دارد.



بازرسی بر مبنای ریسک (RBI) ابزاری مدیریتی جهت تشخیص و اولویت بندی ریسک‌های تجهیزات و ارائه برنامه بازرسی براساس ریسک‌های محاسبه شده می‌باشد. به طور خلاصه، در تکنیک RBI ابتدا میزان احتمال و پیامد از کار افتادگی تجهیزات محاسبه شده و از حاصلضرب این دو فاکتور (یعنی احتمال و پیامد) میزان ریسک بدست می‌آید. سپس براساس اندازه ریسک بدست آمده تجهیزات اولویت بندی شده و برنامه بازرسی برای آن‌ها تعریف می‌گردد. در این روش برخلاف برنامه‌های سنتی بازرسی، فاصله زمانی ثابتی برای بازرسی تجهیزات تعریف نمی‌گردد، بلکه هر دستگاه بازه زمانی و برنامه جداگانه‌ای جهت بازرسی دارد.

- اهداف کلی از اجرای یک برنامه RBI در تاسیسات نفتی عبارت‌اند از:

۱. حجم کمتر بازرسی و فعالیت تعمیراتی
۲. افزایش مدت زمان تولید واحدهای صنعتی
۳. بهینه‌سازی هزینه‌های بازرسی، تعمیر و نگهداری
۴. کاهش تعداد و مدت زمان توقف‌های برنامه‌ریزی شده و غیر برنامه‌ریزی شده
۵. شناسایی پتانسیل‌های خرابی و شکست و در نتیجه کاهش وقوع حوادث
۶. توجه و تمرکز خاص بروی تجهیزات بحرانی و اولویت‌بندی تجهیزات جهت بازرسی
۷. تجزیه و تحلیل ریسک و اثرات ناشی از آن
۸. شناسایی پارامترهای فرآیندهای موثر بر میزان خوردگی
۹. تضمین صحت عملکرد، ایمنی و قابلیت اطمینان واحدهای صنعتی
۱۰. سود اقتصادی بیشتر

مفاهیم ارزیابی ریسک

۱- ریسک چیست؟

ریسک همان چیزی است که هریک از ما در زندگی روزمره با آن زندگی می‌کنیم. ریسک ترکیب احتمال وقوع برخی از حوادث در طی یک بازه زمانی مورد نظر و پیامدهای (معمولا منفی) مربوط به حادثه می‌باشد. به عبارت ریاضی، ریسک را می‌توان از معادله زیر محاسبه کرد:

$$\text{ریسک} = \text{پیامد} \times \text{احتمال}$$

شانس نیز گاهی اوقات بجای احتمال استفاده می‌شود. (به طور کلی شانس برای بیان کیفی و احتمال برای بیان کمی رخداد حوادث استفاده می‌گردد.)

۲- بازرسی بر مبنای ریسک (RBI)

آنالیز ریسک به تکنیک‌هایی اطلاق می‌گردد که برای شناسایی و ارزیابی خطرات به کار می‌رود. بازرسی بر مبنای ریسک، در واقع استفاده از آنالیز ریسک جهت مدیریت برنامه‌های بازرسی تجهیزات صنعتی می‌باشد. شناسایی ریسک مطابق تعریف فرمول زیر و آنالیز ریسک از آنجایی که باعث افزایش ارزش فرآیندهای مدیریت و درجه‌بندی می‌شود در بسیاری از کاربردها جایگاه ویژه‌ای یافته‌اند. به کارگیری اصول کلی آنالیز ریسک به منظور اولویت‌بندی و مدیریت برنامه‌های بازرسی، که امروزه تحت نام RBI از آن یاد می‌شود، یکی از جدیدترین کاربردهای اصول ریسک می‌باشد.

ریسک = احتمال از کارافتادگی $\times$ پیامد از کارافتادگی

در این فرمول احتمال از کارافتادگی براساس فرکانس از کارافتادگی یا عمر باقی‌مانده تجهیزات محاسبه می‌گردد، درحالی که پیامد از کارافتادگی مربوط به موضوعاتی نظیر ایمنی، سلامت، محیط زیست و اقتصاد می‌باشد. عناصر کلیدی در یک برنامه بازرسی بر مبنای ریسک، دانستن مکانیزم‌های بالقوه تخریب که منجر به از کارافتادگی می‌باشد. هدف اصلی از RBI استفاده از ریسک به عنوان اساس اولویت‌بندی و مدیریت برنامه‌های بازرسی تجهیزات صنعتی می‌باشد. در یک برنامه RBI، ریسک مربوط به ادامه فعالیت هر یک از تجهیزات واحد صنعتی با استفاده از ارزیابی احتمال از کارافتادگی آنها نسبت به پیامدهای حاصله، طبقه بندی می‌شود. سطوح مختلفی از ارزیابی‌های مبتنی بر ریسک وجود دارند که معمولا تحت عنوان کیفی، نیمه کمی و کمی توصیف می‌شوند. این تکنیک‌ها تفاوت‌های زیادی در میزان نیروی کار و داده‌های مورد نیاز و میزان دقت نتایج حاصله با یکدیگر دارند. ارزیابی کیفی معمولا برای شناسایی ریسک مربوط به تمام و یا بخش بزرگی از یک واحد فرآیندی به کار می‌رود. اما ارزیابی نیمه کمی و کمی به منظور شناسایی ریسک‌های احتمالی مربوط به هر یک از تجهیزات صنعتی به کار می‌روند. نتیجه نهایی ارزیابی ریسک، رتبه‌بندی ریسک مربوط به هر کدام از تجهیزات می‌باشد که می‌تواند از سطوح پایین تا سطوح بالا تغییر کند. در اکثر واحدهای صنعتی بیش از ۸۰٪ ریسک کل واحد مربوط به تنها ۲۰٪ تجهیزات و قطعات آن واحد می‌باشد. یعنی از لحاظ عملی با تمرکز منابع بر روی تنها ۱۰ الی ۲۰٪ قطعات، بیشتر ریسک واحد حذف می‌شود. بدین ترتیب نه تنها تعداد از کارافتادگی‌ها و توقف‌های عملیاتی واحد کمتر خواهد شد، در منابع مورد استفاده نیز تا حد بسیار زیادی صرفه‌جویی خواهد شد.

۳- مزایا و محدودیت‌های RBI

اولین محصول کاری از انجام ارزیابی RBI، ارائه راهکارهایی جهت مدیریت ریسک‌های شناسایی شده در تاسیسات می‌باشد. چنین راهکارهایی، ریسک‌ها را از دیدگاه ایمنی، سلامت، محیط زیست و یا از نقطه نظر اقتصادی، برجسته می‌کنند. در این راهکارها تکنیک‌هایی برای کاهش ریسک، که البته از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشند، همراه با سطح مورد نظر کاهش یافته ریسک پیشنهاد شده است. انجام چنین راهکارهایی موجب:

الف) کاهش کلی در ریسک تجهیزات و دستگاه‌های مورد ارزیابی

ب) قبول و درک ریسک‌های موجود خواهد شد.

RBI همچنین تجهیزاتی که در روند عملیاتی فعلی خود در سطح قابل قبولی از ریسک هستند و در نتیجه به بازرسی و یا هر روش دیگری برای کاهش ریسک احتیاج ندارند را مشخص می‌کند. بدین ترتیب، بازرسی و دیگر فعالیت‌های نگهداری و تعمیرات متمرکزتر و مقرون به صرفه‌تر خواهند شد. این مسئله اغلب باعث خواهد شد که داده‌های جمع‌آوری شده توسط بازرسی به میزان قابل توجهی کاهش یابد. این تمرکز بر روی حجم کوچکتری از داده‌ها، اطلاعات خروجی بسیار دقیق‌تری را نیز خواهد داشت. در بعضی از موارد علاوه بر کاهش ریسک و بهبود ایمنی فرآیند، اجرای RBI باعث کاهش هزینه‌ها خواهد گردید. RBI بر اصول مدیریت و ارزیابی ریسک اثبات شده و عمیقی استوار است. با این حال، RBI در موارد زیر قابل اجرا نخواهد بود:

الف) وجود اطلاعات غیر دقیق و ناقص

ب) طراحی‌های نامناسب و نصب اشتباه تجهیزات

پ) بهره‌برداری و عملیات خارج از محدوده قابل قبول طراحی

ت) انجام بی‌دقت و غیر موثر راهکارها

ث) کمبود پرسنل و یک تیم دارای صلاحیت

ج) کمبود قضاوت و دید مهندسی عمیق و دقیق

۴- کاربردهای RBI

کاربرد RBI زمانی بیشترین تاثیر را خواهد داشت که یک تیم چند منظوره متشکل از عملیات، مهندسی فرآیند، متخصصین تجهیزات و تعمیرات، و مهندسان بازرسی و خوردگی در فرآیند اجرا درگیر باشند. نتیجه تبادل اطلاعات ارزشمند کارشناسان و همکاری جمعی گروه، رسیدن به شیوه‌های قابل اجرا جهت کاهش ریسک، که می‌تواند روش‌هایی غیر از فعالیت‌های بازرسی باشد، خواهد بود.

• استفاده از RBI به عنوان یک ابزار بهبود بخش مستمر. اجرای RBI ابزاری است برای بهبود مستمر بازرسی تجهیزات و کاهش ریسک ناشی از کارافتادگی‌های تجهیزات در معرض فشار. مزیت دیگر حاصل از انجام RBI شناسایی کمبودها و معایب روش‌ها و تکنولوژی‌های بازرسی که از لحاظ تجاری در دسترس هستند، می‌باشد.

• RBI به عنوان ابزار منسجم مدیریت. RBI یک ابزار مدیریت و ارزیابی ریسک می‌باشد و مواردی را که در دیگر برنامه‌های سازمانی مدیریت ریسک مانند آنالیز ریسک فرآیند یا نگهداری متمرکز بر قابلیت اطمینان به طور کامل مورد توجه قرار نگرفته‌اند، در نظر گرفته و آن‌ها را تکمیل می‌کند. در نتیجه، ارزیابی موشکافانه‌تری از ریسک مرتبط با عملیات تجهیزات بدست می‌آید.

RBI طرح‌ها و راهکارهایی را جهت نگهداری و بازرسی تجهیزات ارائه می‌دهد و فعالیت‌هایی را که برای داشتن فرآیندی ایمن‌تر و قابل اطمینان‌تر لازم است مشخص می‌کند.

• بهینه سازی بازرسی و پایش. پس از تکمیل آنالیز ریسک از نتایج حاصله می‌توان جهت برآورد میزان اثربخشی استراتژی‌های بازرسی و پایش و در نتیجه جست‌وجوی روش‌های بهینه‌سازی استراتژی‌های کاهش ریسک کلی ادامه عملیات واحدهای صنعتی بهره برد. برای تجهیزاتی که در سطوح بالایی از ریسک قرار دارند، بایستی تغییرات در برنامه‌های بازرسی واحدهای صنعتی که می‌توانند منجر به کاهش ریسک گردند را در نظر گرفت. برای تجهیزاتی که در سطوح پایینی از ریسک قرار دارند، تغییر در برنامه بازرسی‌ها به منظور کاهش هزینه‌های بازرسی، به نحوی که منجر به افزایش ریسک نشوند، را می‌بایست در نظر گرفت.

ارزیابی‌های RBI، مکانیزم‌های تخریبی که منجر به از کارافتادگی هر یک از قطعات می‌شوند را شناسایی می‌کند. مشخص کردن این مهم که آیا برنامه‌های فعلی بازرسی واحد صنعتی توانایی شناسایی همه مکانیزم‌های فعال در دارد یا نه، از اهمیت بسیاری برخوردار است. درک مفهومی اصول مکانیزم‌های تخریب می‌تواند ورودی ارزشمندی جهت تشخیص اثربخشی واقعی تکنیک‌های بازرسی در شناسایی مکانیزم‌های فعال تخریب باشد.

• پارامترهای کلیدی فرآیند. سود واقعی حاصل از استقرار یک سیستم بازرسی بر مبنای ریسک، شناسایی پارامترهای کلیدی اثرگذار فرآیند برروری نرخ تخریب تجهیزات می‌باشد. این پارامترهای کلیدی اغلب ترکیب، دما، pH و سرعت سیال می‌باشد. پس از شناسایی این پارامترها برنامه مدون و موثری برای کنترل مداوم این پارامترها و حفظ آن‌ها در محدوده‌های مجاز تعیین شده بایستی بکار گرفته شود.

۵- انواع ارزیابی‌های RBI

دستورالعمل RBI را می‌توان به صورت کیفی، کمی و یا با استفاده از جنبه‌های هر دو (یعنی، نیمه کمی) انجام داد.

۵/۱ روش کیفی

این روش به داده‌های ورودی بر پایه اطلاعات توصیفی، قضاوت مهندسی و تجربه به عنوان اساس آنالیز احتمال و پیامد از کارافتادگی احتیاج دارد. ورودی‌ها اغلب به جای مقادیر مجزا و جداگانه، بصورت محدوده‌ای از داده‌ها می‌باشند. نتایج نوعاً به صورت عبارات کیفی مانند زیاد، متوسط و کم خواهند بود؛ ولیکن مقادیر عددی نیز ممکن است به هر کدام از این رده‌بندی‌ها نسبت داده شود. مزیت این نوع آنالیز در امکان تکمیل ارزیابی ریسک تحت شرایط نبود داده‌های کمی می‌باشد. دقت نتایج حاصل از آنالیز کیفی، بستگی به سابقه تجربی و مهارت شخص آنالیز کننده دارد.

۵/۲ روش کمی

آنالیز کمی ریسک روشی نظام یافته می‌باشد که انجام آن نیازمند وجود اطلاعاتی درباره طراحی تاسیسات، انجام عملیات، تاریخچه عملیات، قابلیت اعتماد قطعات، فعالیت‌های انسانی، پیشرفت فیزیکی حوادث و پیامدهای پنهان زیست‌محیطی و سلامتی ممکن می‌باشد. آنالیز کمی ریسک از مدل‌های منطقی ترسیم کننده ترکیب حوادثی که می‌توانند باعث وقوع سوانح و حوادث شدید شوند و همچنین مدل‌های فیزیکی ترسیم کننده نحوه پیشرفت حوادث و انتقال مواد خطرناک به محیط زیست، استفاده می‌کند. مدل‌ها به روش احتمالاتی ارزشیابی می‌شوند تا هر دو دید کمی و کیفی درباره سطح ریسک را ارائه داده و بخش‌هایی از طراحی، ساخت و عملیات که بیشترین اهمیت را از لحاظ ریسک دارند، مشخص گردند. آنالیز کمی ریسک از لحاظ عمق آنالیز و جمع آوری بسیار جزئی داده‌ها، از روش آنالیز کیفی تمیز داده می‌شود. مدل‌های منطقی آنالیز کمی ریسک عموماً از درخت‌های حوادث و درخت‌های خطا تشکیل شده‌اند. درخت‌های حوادث، حوادث آغازگر و ترکیب از کارافتادگی و عملکرد صحیح سیستم را نشان می‌هد، در حالی که درخت‌های خطا چگونگی وقوع از کارافتادگی‌های سیستم که درخت‌های حوادث نشان داده شده‌اند را ترسیم می‌کنند. این مدل‌ها آنالیز می‌شوند تا تخمینی از احتمال هر سلسله از حوادث بدست آید. نتایجی که با استفاده از این روش بدست آمده‌اند عموماً به صورت اعداد ریسک نشان داده می‌شوند (مثلاً؛ هزینه در سال).

۵/۳ روش نیمه کمی

عبارت نیمه کمی، بیان‌کننده هر روشی است که جنبه‌های مربوط به هر دو روش کمی و کیفی را دارا بوده، و در آن به دست آوردن مزایای اصلی دو روش قبلی مورد نظر باشد (مثلاً، سرعت روش کیفی و سخت‌گیری روش کمی). به طور کلی، اکثر داده‌های استفاده شده در روش کمی برای این روش نیز مورد نیاز است (اما با جزئیات کمتر). مدل‌ها همچنین ممکن است به اندازه نمونه‌های روش کمی سخت گیرانه و نازک‌بینانه نباشند. نتایج مربوط به احتمال و پیامد معمولاً به جای عدد ریسک، به صورت طبقه‌بندی شده می‌باشند؛ ولی به منظور محاسبه ریسک و امکان‌پذیر ساختن به کارگیری معیار مناسبی برای قبول ریسک، مقادیر عددی نیز به هر کدام از این طبقه‌بندی‌ها تعلق می‌گیرد.

۵/۴ زنجیره روش‌ها

در عمل، یک ارزیابی RBI از جنبه‌های در سه روش کیفی، کمی و نیمه کمی استفاده می‌کند. این روش‌ها مکمل یکدیگر می‌باشند و نباید آن‌ها را به عنوان رقیبی برای یکدیگر در نظر گرفت. برای مثال، یک روش کیفی سطح بالا ممکن است در سطح واحدها انجام شود تا واحدی با بیشترین ریسک را درون تاسیسات پیدا نماید. سپس سیستم‌ها و تجهیزات درون این واحد را با استفاده از روش کمی می‌توان غربال نموده و در نهایت روشی با جنبه‌های کمی بیشتر را برای اجزای با ریسک بالاتر استفاده نمود. مثال دیگر می‌تواند استفاده از آنالیز کیفی پیامدها همراه با آنالیز نیمه کمی احتمال یک حادثه باشد.

سه روش را می‌توان به صورت زنجیره یا طیفی در نظر گرفت که روش‌های کیفی و کمی اکسترم‌های (مقادیر حداکثر و حداقل) این طیف می‌باشند، و هر تکنیکی بین این دو، روش نیمه کمی می‌باشد.

در این مقاله با توجه به دشواری‌های روش کمی و به اجرای روش کیفی بازرسی بر مبنای ریسک پرداخته‌ایم.

۶- روش کیفی بازرسی بر مبنای ریسک

مبانی آنالیز ریسک به روش کیفی همانند روش نیمه کمی است، ولی در این روش به جزئیات کمتری جهت آنالیز ریسک نیاز می‌باشد و فرایند آنالیز ریسک می‌تواند در مدت زمان بسیار کوتاه‌تری نسبت به روش کمی انجام گیرد. با اینکه دقت نتایج بدست‌آمده در این روش کمتر از دقت نتایج روش کمی است، ولیکن از آن می‌توان برای اولویت بندی برنامه بازرسی استفاده کرد.

آنالیز کیفی می‌تواند براساس دستورالعمل ارائه شده در پیوست A استاندارد API ۵۸۱ انجام گیرد، که در آن یک سری از جداول به کاربر کمک کرده تا ریسک را محاسبه نماید. این جداول بدین منظور طراحی شده‌اند که یک پالایشگاه معمولی بتواند در مدت کوتاهی مورد ارزیابی قرار گیرد.

در آنالیز کیفی ابتدا فاکتوری که نشان دهنده احتمال وقوع از کارافتادگی است مشخص شده سپس فاکتوری برای پیامدهای وقوع از کارافتادگی مشخص می‌شود؛ آنگاه با ترکیب دو فاکتور فوق موقعیت واحد مورد نظر در ماتریس ریسک تعیین شده و ریسک واحد رتبه‌بندی می‌شود.

۶/۱ احتمال وقوع از کارافتادگی

بخش A از دستورالعمل آنالیز کیفی ریسک در مورد تعیین دسته احتمال وقوع از کارافتادگی بوده که شامل شش فاکتور

اثرگذار بر احتمال وقوع یک نشتی بزرگ می‌باشد. هر یک از این شش فاکتور وزن‌دهی شده، و از ترکیب آنها فاکتور احتمال وقوع از کارافتادگی به دست می‌آید. این فاکتور بر روی محور عمودی ماتریس ریسک رسم می‌شود. شش فاکتوری که بر احتمال وقوع از کارافتادگی مؤثرند عبارتند از :

۱. تعداد تجهیزات یا فاکتور تجهیزات (Equipment Factor, EF)
۲. مکانیزم‌های تخریب یا فاکتور تخریب (Damage Factor, DF)
۳. مناسب بودن بازرسی یا فاکتور بازرسی (Inspection Factor, IF)
۴. شرایط فعلی دستگاه یا فاکتور شرایط (Condition Factor, CCF)
۵. طبیعت فرآیند یا فاکتور فرآیند (Process Factor, PF)
۶. طراحی دستگاه یا فاکتور طراحی مکانیکی (Mechanical Design Factor, MDF)

مجموع این شش مؤلفه فاکتور کلی، احتمال وقوع از کارافتادگی را تعیین می‌کند؛ سپس دسته احتمال از کارافتادگی براساس فاکتور احتمال از کارافتادگی به دست می‌آید.

فاکتور تجهیزات (EF): این فاکتور وابسته به تعداد اجزایی است که در واحد مورد ارزیابی قرار دارند و احتمال از کارافتادگی آن‌ها وجود دارد. فاکتور تجهیزات دارای ماکزیمم ۱۵ نمره است.

فاکتور تخریب (DF): این فاکتور میزانی از ریسک است که مربوط به یک مکانیزم تخریب شناخته شده در واحد می‌باشد. این مکانیزم‌ها شامل خوردگی عمومی، ترک ناشی از خستگی، قرار گرفتن در معرض دمای پایین و اضمحلال ناشی از دمای بالا می‌باشد. این فاکتور می‌تواند ماکزیمم ۲۰ نمره از کل نمره ارزیابی را داشته باشد.

فاکتور بازرسی (IF): این فاکتور نشان دهنده میزان کارایی برنامه بازرسی فعلی بوده و توانایی آن در تشخیص مکانیزم‌های تخریب فعال و یا پیش‌بینی شده در واحد می‌باشد. برای تعیین این فاکتور بایستی نوع تکنیک‌های بازرسی مورد استفاده، میزان درصد پوشش‌دهی هر تکنیک و مدیریت بازرسی را مد نظر قرار داد. از آنجایی که کیفیت یک برنامه بازرسی احتمال وقوع از کارافتادگی را کاهش می‌دهد، این فاکتور با مقادیر منفی وزن‌دهی می‌شود. ماکزیمم مقدار برای فاکتور بازرسی ۱۵ نمره می‌باشد.

فاکتور شرایط (CCF): این فاکتور شرایط فیزیکی دستگاه را از دیدگاه نت (نگهداری و تعمیر) مدنظر قرار می‌دهد. یک ارزیابی ساده می‌تواند با بررسی وضعیت ظاهری دستگاه انجام گیرد. این فاکتور می‌تواند ماکزیمم ۱۵ نمره داشته باشد. **فاکتور فرآیند (PF):** این فاکتور نشان دهنده پتانسیل ایجاد شرایط غیر نرمال و یا بحرانی است که می‌تواند آغازگر دنباله‌ای از حوادث که در انتها منجر به خروج محتویات داخل دستگاه تحت فشار گردد، باشد. این فاکتور تابعی از تعداد توقف‌های عملیات و یا وقفه‌های ایجاد شده در فرایند (چه برنامه‌ریزی شده و چه برنامه‌ریزی نشده)، پایداری فرآیند و پتانسیل از کارافتادگی تجهیزات حفاظتی به واسطه گرفتگی (مسدود شدن) و یا دیگر عوامل می‌باشد. این فاکتور می‌تواند ماکزیمم ۱۵ نمره داشته باشد.

فاکتور طراحی مکانیکی (MDF): این فاکتور نشان‌دهنده ضریب اطمینان در نظر گرفته شده در هنگام طراحی واحد، مطابقت با استانداردهای فعلی، منحصر به فرد بودن واحد، میزان پیچیدگی آن و خلاقیت بکار گرفته شده در طراحی می‌باشد. فاکتور طراحی مکانیکی نیز می‌تواند ماکزیمم ۱۵ نمره داشته باشد.

نمونه جدول محاسبه احتمال وقوع از کار افتادگی

تجهیز / فاکتور	EF	DF	IF	CCF	PF	MDF	مجموع نمره
تجهیز شماره ۱	۵	۷	۵	۰	۳	۱۵	۴۰
تجهیز شماره ۲	۱۳	۱۳	۱۴	۱	۸	۱۴	۴۹
تجهیز شماره ۳	۱۴	۱۴	۰	۱	۹	۱۵	۵۳
تجهیز شماره ۴	۱۴	۸	۱۰	۱۰	۱۳	۱۲	۵۷
تجهیز شماره ۵	۲	۱۱	۸	۲	۷	۶	۲۸

نکته: اعداد فاکتور بازرسی از سایر فاکتورها کم می‌شود.

جدول محاسبه دسته فرآیند

دسته احتمال	عامل احتمال
۱	۱۵-۰
۲	۲۵-۱۶
۳	۳۵-۲۶
۴	۵۰-۳۶
۵	۷۵-۵۱

براساس جدول های فوق دسته احتمال وقوع از کارافتادگی مشخص می‌گردد.

۶/۲ پیامدهای وقوع از کارافتادگی

دو خطر اصلی بالقوه در پالایشگاه‌ها و واحدهای پتروشیمی وجود دارد: (الف) آتش و انفجار (ب) سمیت. در آنالیزهای RBI، به منظور تعیین پیامدهای ناشی از سمیت، فقط تاثیرات حاد و شدید در نظر گرفته می‌شود.

در آنالیز پیامدهای ناشی از وقوع ازکارافتادگی، دو فاکتور به صورت جداگانه محاسبه می‌شوند فاکتور پیامدهای ناشی از تخریب و فاکتور پیامدهای ناشی از سمیت. این فاکتورها وابسته به نوع ماده شیمیایی موجود در داخل تجهیزات می‌باشند. از آنجایی که بیشتر مواد شیمیایی دارای یک ریسک غالب هستند(یا آتش‌گیری و انفجار و یا سمیت)، بنابراین اگر ریسک غالب ماده شیمیایی مورد نظر شناخته شده باشند، کافی است به جای دو فاکتور فوق فقط فاکتور مربوط به آن ریسک را محاسبه کنیم. در آنالیز کیفی ریسک، فاکتوری که دسته بالاتری از پیامدهای وقوع از کارافتادگی را ارائه دهد، به عنوان فاکتور نهایی پیامدهای وقوع ازکارافتادگی در نظر گرفته می‌شود. باید توجه داشت که اگر ماده‌ای خواص آتش‌گیری نداشته باشد می‌توان بخش B از دستورالعمل کیفی (پیوست A استاندارد API ۵۸۱) را حذف نمود. همچنین اگر خطر سمیت وجود نداشته باشد می‌توان بخش C را حذف کرد.

اگر چندین ماده شیمیایی با درصدهای نسبتاً زیاد در ناحیه مورد ارزیابی قرار داشته باشند، کاربر بایستی برای هر ماده شیمیایی فاکتورهای فوق را جداگانه حساب کند. یک روش ساده این است که فقط موادی که سمی هستند به اضافه موادی که ۹۰ تا ۹۵ درصد جرمی مواد شیمیایی موجود را تشکیل می‌دهند، در نظر گرفته شوند.

نام تجهیز	دسته پیامد (تخریب/سمیت)
تجهیز شماره ۱	تخریب
تجهیز شماره ۲	تخریب
تجهیز شماره ۳	سمیت
تجهیز شماره ۴	تخریب
تجهیز شماره ۵	سمیت

۶/۲/۱ دسته پیامدهای ناشی از تخریب:

برای تعیین این دسته بایستی بخش B از Workbook آنالیز کیفی ریسک را به کار برد. برای تعیین این فاکتور از هفت زیرفاکتور زیر استفاده می‌شود؛

- تمایل ذاتی به اشتعال یا فاکتور ماده شیمیایی (Chemical Factor, CF)
- مقدار ماده‌ای که می‌تواند از دستگاه خارج شود یا فاکتور کمیت (Quantity Factor, QF)
- توانایی تبدیل به حالت گاز یا بخار یا فاکتور حالت (State Factor, SF)
- احتمال خود اشتعالی یا فاکتور خود اشتعالی (Auto-Ignition Factor, AF)
- تاثیرات عملیات در فشار بالا یا فاکتور فشار (Pressure Factor, PRF)
- سیستم ایمنی یا فاکتور اعتبار (Credit Factor, CRF)
- درجه در معرض تخریب قرار گرفتن یا فاکتور پتانسیل تخریب (Damage Potential Factor, DPF)

فاکتور ماده شیمیایی (CF): تمایل ذاتی مواد شیمیایی برای اشتعال، با استفاده از ترکیبی از فاکتور نقطه اشتعال ماده و فاکتور واکنش‌دهی آن تعیین می‌گردد. فاکتور نقطه اشتعال با توجه به کلاس‌بندی ماده براساس استاندارد NFPA بوده و فاکتور

واکنش‌دهی تابعی از میزان توانایی ماده برای انفجار هنگامی که در معرض یک منبع اشتعال قرار می‌گیرد، می‌باشد. **فاکتور کمیت (QF):** این فاکتور نشان دهنده بیشترین مقدار ماده‌ای است که انتظار داریم به طور منطقی در هنگام وقوع حادثه‌ای از درون دستگاه خارج شود. این فاکتور براساس بیشترین جرم (براساس پوند) محتویات قابل اشتعال درون واحد می‌باشد.

فاکتور حالت (SF): این فاکتور نشان دهنده میزان تمایل یک ماده برای تبدیل شدن به حالت گاز (بخار) هنگامی که در اتمسفر رها می‌شود، می‌باشد. این فاکتور با استفاده از نسبت دمای میانگین فرآیند به دمای جوش ماده در شرایط فشار اتمسفری (با در نظر گرفتن دماهای مطلق) بدست می‌آید.

فاکتور خود اشتعالی (AF): این فاکتور نشان دهنده افزایش احتمال اشتعال سیال، هنگامی که در دمایی بالاتر از دمای خود اشتعالی نشت کند، می‌باشد.

فاکتور فشار (PRF): این فاکتور نشان دهنده سرعت فرار سیال از دستگاه به هنگام وقوع نشتی می‌باشد. عموماً مایعات و یا گازهایی که در فشار بالاتری (بیشتر از ۱۵۰ psig) قرار دارند سریعتر از داخل دستگاه خارج می‌شوند، و در نتیجه احتمال وقوع یک نشتی آنی وجود خواهد داشت که می‌تواند عواقب وخیم‌تری نسبت به خروج پیوسته داشته باشد.

فاکتور اعتبار (CRF): این فاکتور نشان دهنده اقدامات و تجهیزات ایمنی در نظر گرفته شده برای واحد می‌باشد. این اقدامات و تجهیزات ایمنی می‌توانند نقش مهمی در کاهش عواقب ناشی از یک از کارافتادگی داشته باشند. وجوه مختلفی از طراحی واحد و عملیات در این فاکتور تاثیر گذارند:

- تجهیزات آشکارساز گاز
- خنثی کردن و پاک‌سازی اتمسفر
- ضد حریق بودن کابل‌ها و ساختمان‌ها
- امنیت سیستم‌های اطفای حریق
- ظرفیت منبع آب آتش‌نشانی
- وجود سیستم‌های فوم ثابت
- حفاظت در برابر فشار زیاد ناشی از انفجار
- وجود مانیتورهای آب آتش‌نشانی
- سیستم‌های توقف سریع عملیات
- دیواره (پرده) آب

فاکتور پتانسیل تخریب (DPF): این فاکتور نشان دهنده پتانسیل وارد آمدن خسارت به تجهیزات موجود در واحد به هنگام وقوع آتش سوزی یا انفجار می‌باشد. این فاکتور با یک تخمین تقریبی از تعداد تجهیزاتی که در نزدیکی یک مقدار زیاد از محتویات آتشگیر و یا قابل انفجار قرار دارند، به دست می‌آید.

نمونه جدول محاسبه پیامدهای ناشی از تخریب

تجهیز / فاکتور	CF	QF	SF	AF	PRF	CRF	DPF	مجموع نمره
تجهیز شماره ۱	۱۰	۷	۱۰	۳	۱۴	۶	۱۵	۶۵
تجهیز شماره ۲	۱۰	۱۲	۹	۵	۱۴	۱۳	۱۲	۷۰
تجهیز شماره ۴	۱۱	۱	۹	۱	۶	۵	۶	۳۹

لازم به ذکر است که ماکزیمم نمره برای هر فاکتور در این بخش ۱۵ نمره می‌باشد.

محاسبه دسته پیامد ناشی از خرابی

دسته پیامد	عامل پیامد
A	۱۹-۰
B	۳۴-۲۰
C	۴۹-۳۵
D	۷۹-۵۰
E	بیشتر از ۷۹

۶/۲/۲ دسته پیامدهای سمّیت:

بخش C از دستورالعمل مربوط به محاسبه فاکتور عواقب ناشی از سمّیت است. این فاکتور براساس زیرفاکتورهای زیر مشخص می‌شود و میزان خطرات بالقوه سمّیت یک واحد را بیان می‌کند:

- کمیت و سمّیت، یا فاکتور کمیت مواد سمی (Toxic Quantity Factor, TQF)
- توانایی پخش شدن تحت شرایط فرآیند یا فاکتور قابلیت پخش شدن (Dispensability Factor, DIF)
- سیستم‌های تشخیص دهنده و تخفیف دهنده یا فاکتور اعتبار (Credit Factor, CRF)
- جمعیت اطراف محل وقوع نشت یا فاکتور جمعیت (Population Factor, PPF)

فاکتور کمیت ماده سمی (TQF): این فاکتور نشان دهنده کمیت (مقدار) و همچنین میزان سمّیت ماده است. بخش کمیت با توجه به جرم ماده می‌باشد و می‌توان با استفاده از روشی که در قسمت قبل ارئه شد آن را بدست آورد. سمّیت ماده با استفاده از فاکتور سمّیت (NH) براساس استاندارد NFPA مشخص می‌گردد.

فاکتور قابلیت پخش شدن (DIF): این فاکتور نشان دهنده توانایی ماده برای پخش شدن در محیط می‌باشد. این فاکتور به‌طور مستقیم از روی نقطه جوش نرمال سیال تعیین می‌شود. هرچه نقطه جوش بالاتر باشد تمایل آن برای پخش شدن در محیط کمتر خواهد بود.

فاکتور اعتبار (CRF): در این بخش نیز این فاکتور نشان‌دهنده امکانات و تجهیزات ایمنی در نظر گرفته شده برای واحد می‌باشد. مؤلفه‌های زیر بر این فاکتور تاثیر گذارند:

- توانایی تشخیص مواد سمی در واحد
- توانایی ایزوله کردن دستگاه از کار افتاده
- سیستم‌های توقف سریع عملیات
- سیستم‌های کاهش خطر سمّیت (مانند دیواره یا پرده آب و . . .)

فاکتور جمعیت (PPF): این فاکتور نشان دهنده تعداد افرادی است که پتانسیل در معرض خطر سمّیت قرار گرفتن را داشته باشند. این فاکتور به گونه‌ای مقیاس بندی شده است که نشان دهد هرچه افراد بیشتری در منطقه خطر قرار گرفته باشند، درصد کمتری از آنها تحت تأثیر سمّیت قرار خواهند گرفت. این نتایج براساس داده‌های واقعی از حوادث نشت مواد سمی به دست آمده است.

نمونه جدول محاسبه پیامدهای سمّیت

تجهیز / فاکتور	TQF	DIF	CRF	PPF	مجموع نمره
تجهیز شماره ۳	۱۱	۱۴	۳	۵	۳۳
تجهیز شماره ۵	۱۰	۱۱	۲	۵	۲۳

لازم به ذکر است که ماکزیمم نمره برای هر فاکتور در این بخش ۱۵ نمره می‌باشد.

محاسبه دسته پیامد سلامتی(درجه سمی بودن)

دسته پیامد	عامل پیامد
A	۹-۰
B	۱۹-۱۰
C	۲۹-۲۰
D	۳۹-۳۰
E	بیشتر از ۴۰

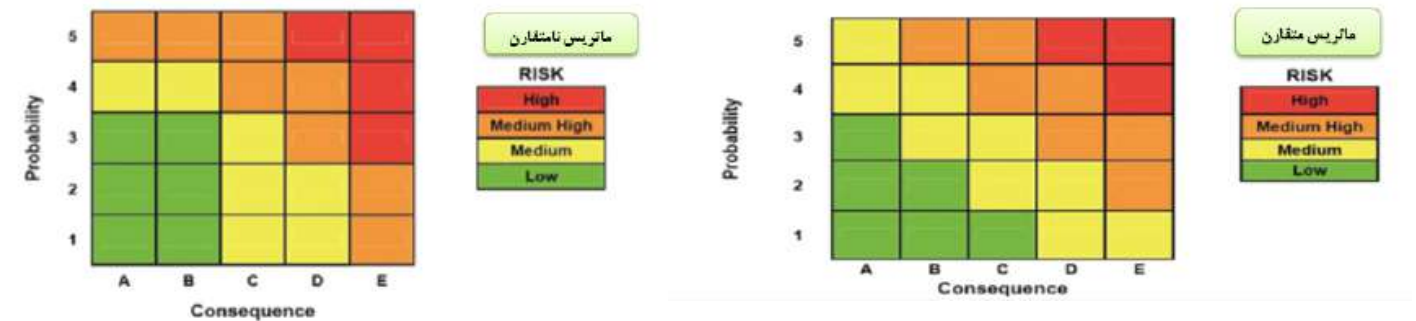
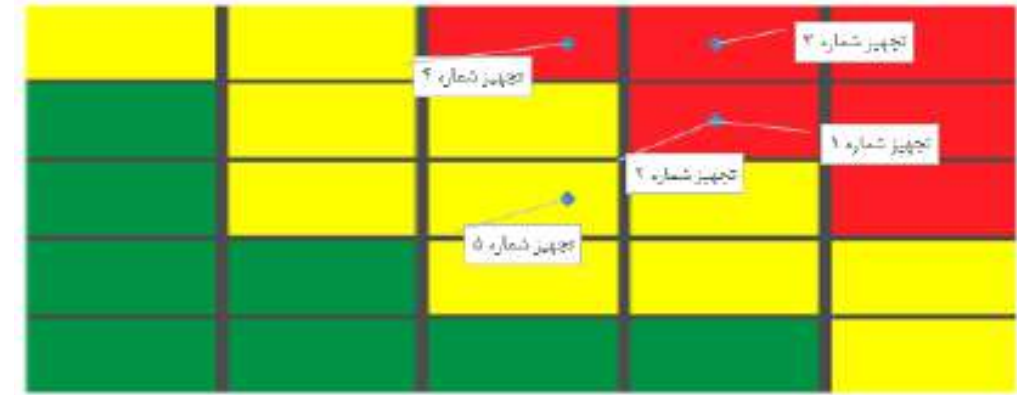
۷- نتایج

دسته احتمال وقوع از کارافتادگی و بالاترین دسته پیامدهای وقوع از کارافتادگی (ناشی از خسارات حاصل از وقوع از کار افتادگی و یا ناشی از سمّیت) برای تعیین موقعیت هر واحد بر روی ماتریس ریسک ۵*۵ استفاده می‌شود. هنگامی که نتایج بر روی ماتریس نشان داده می‌شود، موقعیت هر واحد بر روی ماتریس نشان دهنده سطح ریسک واحد مورد ارزیابی است. بعد از انجام یک آنالیز کیفی ریسک شامل چندین ماده و با یک مخلوط چند جزئی، واحدی که بالاترین

میزان ریسک را داراست بهترین معیار برای تعیین لزوم انجام ارزیابی دقیق‌تر و با جزئیات بیشتر می‌باشد.

۸- تعیین نواحی بحرانی که نیازمند توجه بیشتری در حین بازرسی می‌باشد

نتایج ماتریس ریسک می‌تواند برای تعیین نواحی بحرانی‌تر استفاده شود. همچنین می‌توان از این نتایج برای تصمیم‌گیری در مورد اینکه چه بخشی از واحد فرآیندی نیازمند بیشترین توجه در حین بازرسی و یا دیگر فعالیت‌های تخفیف دهنده ریسک می‌باشد، استفاده نمود. از طرفی می‌توان از این نتایج برای تعیین لزوم انجام یک آنالیز کاملاً کمی نیز استفاده کرد. رنگ‌های نشان داده شده بر روی ماتریس ریسک راهنمایی برای تعیین میزان سطح ریسک تجهیزات است؛ این رنگ‌بندی‌ها عموماً متقارن نیستند. رنگ‌بندی این ماتریس با این فرض که فاکتور پیامدهای وقوع از کارافتادگی نسبت به فاکتور احتمال وقوع از کار افتادگی تأثیر بیشتری بر ریسک دارد، انجام گرفته است. بدون در نظر گرفتن رنگ‌بندی‌ها، واضح است که هرچه موقعیت تعیین شده برای دسته‌های احتمال و پیامدها به سمت قسمت بالا و سمت راست ماتریس حرکت می‌کند مقدار ریسک افزایش می‌یابد. سازمان‌های مختلف معیارهای متفاوتی جهت تعیین ریسک قابل پذیرش، زمان لازم برای اجرای یک آنالیز کمی و طرح ریزی فعالیت‌های بازرسی خود دارند از این جهت رنگ بندی ماتریس ریسک در هر سازمان متفاوت خواهد بود. نمودار زیر به عنوان نمونه محاسبه شده است.



منابع

- باقری قادیکلایی، سیدعلی؛ مجیدی قادیکلایی، رضوانه (۱۳۹۴). مدیریت بازرسی بر مبنای ریسک. عصر جوان، تهران، ایران: ۱۴۴ صفحه.
- شهانقی، کامران؛ آریانژاد، میربهادرقلی؛ برزگر، علی (۱۳۹۰). کاربرد رویکرد بازرسی بر مبنای ریسک در انتخاب سیاست‌های نگهداری و تعمیرات (نت). نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۲، شماره ۲: ۲۰۴-۱۹۴
- هاشمی، سیدجواد؛ جوادپور، سیروس؛ نظرنژاد محمد (۱۳۸۸). فناوری بازرسی بر مبنای ریسک: راهنمای اجرا و مدیریت اثربخش پروژه‌های RBI در پالایشگاه‌های نفت و گاز، پتروشیمی‌ها، صنایع شیمیایی و نیروگاهی. آرن، تهران، ایران: ۳۰۴ صفحه.
- مومنی، منصور؛ شریفی سلیم، علیرضا (۱۳۹۰). مدل‌ها و نرم‌افزارهای تصمیم‌گیری چند شاخصه. مولفین، تهران، ایران: ۲۲۴ صفحه.
- American Petroleum Institute. Risk-Based Inspection Technology: API Recommended Practice 581. HIS, 2008
- Arunraj, N. S., & Maiti, J. (2007). Risk-based maintenance Techniques and applications. Journal of hazardous materials, 142(3), 653661-.
- Leoni, L., BahooToroody, A., De Carlo, F., & Paltrinieri, N. (2019). Developing a risk-based maintenance model for a Natural Gas Regulating and Metering Station using Bayesian Network. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 57, 1724-.
- Tan, Z., Li, J., Wu, Z., Zheng, J., & He, W. (2011). An evaluation of maintenance strategy using risk based inspection. Safety science, 49(6), 852860-.

بررسی علت ترک لوله ۳ اینچ S.A 106 Gr. B مورد استفاده در

خطوط لوله نیروگاهی در هنگام زدن خال جوش

مهرداد فرهمندنژاد □ مریم آجورلو



خلاصه

ترک سرد در فولادها از جمله مشکلاتی است که در جوشکاری رخ می‌دهد. عوامل متعددی در بروز ترک سرد موثرند، که به طور کلی به سه دسته سخت شدن منطقه مجاور جوش (میکرو ساختار ترد، گسترش تنش‌های پسماند در قطعه کار و شکنندگی ناشی از حضور هیدروژن (تردی هیدروژنی) تقسیم می‌شوند. در این پژوهش برای بررسی ترک به وجود آمده در حین خال جوش دو قطعه لوله S.A 106 Gr.B آزمون‌های آنالیز شیمیایی، سختی سنجی و ساختار میکروسکوپی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی‌ها حاکی از آن است که به دلیل عنصر کربن که بیشتر از حد مجاز استاندارد مرجع بوده منجر به تشکیل ساختار مارتنزیت و افزایش سختی قطعه در ناحیه متأثر از حرارت شده است. همچنین استفاده از الکتروود سلولزی در پاس ریشه به دلیل این که این نوع الکتروود در هنگام سوختن، هیدروژن زیادی تولید می‌کند، شرایط ایجاد تردی هیدروژنی را تسهیل کرده و باعث بروز ترک سرد در ناحیه متأثر از حرارت شده است.

کلمات کلیدی: ترک، جوشکاری، خال جوش، نیروگاه، لوله S.A 106 Gr.B

1. مقدمه و مروری بر منابع

دو لوله ۳ اینچ S.A 106 Gr. B مورد استفاده در خطوط لوله نیروگاهی به هنگام مونتاژ و جفت کردن لبه‌های دو لوله به منظور تثبیت فاصله درز جوش برای عملیات جوشکاری به روش 'SMAW، خال جوش زده شده‌اند که از محل خال جوش در عرض چند ثانیه شکست رخ داده است. پیشگرم طبق دستورالعمل WPS^۲ تا دمای ۱۰۰ درجه سانتیگراد پیش از خال جوش انجام شده است. برای جوشکاری از الکتروود سلولزی E ۶۰۱۰ استفاده شده است. جهت بررسی علت بروز ترک در ناحیه جوشکاری شده، آزمون‌های سختی‌سنجی، آنالیز شیمیایی و بررسی ریز ساختار در نواحی فلز پایه، فلز جوش و ناحیه متأثر از حرارت انجام شد.

فولاد **SA ۱۰۶ Gr.B** از فولادهای کم آلیاژ مورد استفاده در سرویس دما بالا می‌باشد که در خطوط لوله نیروگاهی و پتروشیمی کاربرد زیادی دارد. ترک سرد در جوشکاری فولادها از جمله مشکلاتی است که بررسی علل بروز، توسعه و چگونگی کنترل آن مورد توجه محققین بوده است. عوامل متعددی در ایجاد بروز ترک سرد موثرند، که به طور کلی در سه دسته سخت شدن منطقه مجاور جوش (میکرو ساختار ترد)، گسترش تنش‌های پسماند در قطعه کار و شکنندگی ناشی از حضور هیدروژن (تردی هیدروژنی) تقسیم می‌شوند. مهم‌ترین عامل، حضور و نفوذ هیدروژن به درون حوضچه مذاب است. در صورت حساسیت آلیاژ به هیدروژن، هیدروژن وارد شده به حوضچه مذاب می‌تواند وارد ناحیه مرز ذوب و یا ناحیه تحت تأثیر حرارت شود و موجب بروز ترک سرد در این مناطق شود. عوامل گوناگونی بر ایجاد ترک سرد در منطقه مورد جوشکاری دخالت دارند که از آن جمله می‌توان به فرآیند جوشکاری، میزان دمای پیشگرم، نوع ماده پرکننده جوشکاری، حرارت ورودی و... اشاره نمود. اندازه ترک در فرآیندهایی که میزان دمای پیشگرم و حرارت ورودی پایین‌تری دارند، افزایش می‌یابد. در فرآیندهای جوشکاری به دلیل امکان تغییر حالت انتقال مذاب، تغییر حرارت ورودی میسر است. در صورت استفاده از حالت انتقال مذاب با گرمای ورودی پایین‌تر، خطر ترک خوردن افزایش می‌یابد. پژوهش‌های وسیعی در جهت جلوگیری از ترک سرد در جوشکاری فولادها انجام شده است، اما تاکنون مکانیزم واحدی برای ترک سرد مشخص نشده است. ترویجان^۳ عنوان

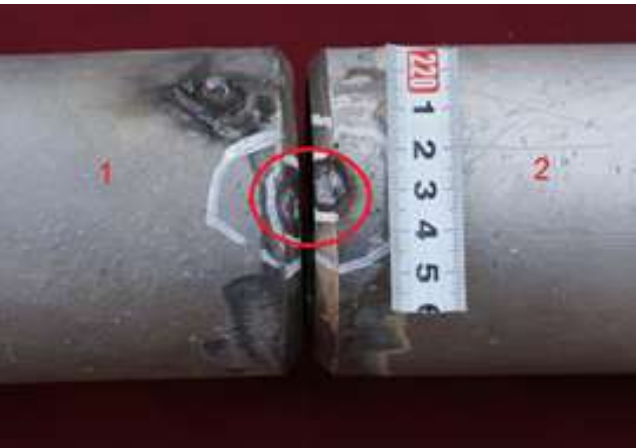
۱ Shield Metal Arc Welding
۲ Welding Procedure Specification
۳ Troiano

کرد که رشد ترک سرد به دلیل کاهش استحکام شبکه مواد است. پیچ^۴ عنوان کرد که هیدروژن با کاهش سطح انرژی ترک، باعث رشد آن می‌شود. بر طبق نظریه بیچم^۵ هیدروژن با کمک به تغییر شکل‌های میکروسکوپی در نوک و گوشه ها (مکان‌های تمرکز تنش)، زمینه ایجاد ترک را افزایش می‌دهد. ساویچ^۶ و همکاران با تحلیل آزمون‌های عملی، تئوری ترویپان^۷ را عامل ترک‌های هیدروژنی عنوان کردند.

ایگر^۸ به صورت تجربی تئوری بیچم را تأیید و گسترش دادند. مرسی و همکاران در زمینه حساسیت به ترک سرد در مقاطع فولادی تحقیق کردند. آن‌ها به روش SMAW به تاثیر دمای پیشگرم و انرژی حرارت ورودی بر ترک سرد پرداختند و به این نتیجه رسیدند که ترک سرد از منطقه ریشه HAZ در ساختار مارتنزیتی شروع می‌شود و از میان خط ذوب تا فلز جوش گسترش می‌یابد و با افزایش دمای پیشگرم تا °C ۱۵۰ و حرارت ورودی (۳۴-۸۹) kJ/m ترک سرد هیدروژنی رخ نخواهد داد. هیلتون^۹ به بررسی ترک سرد در مقطع فلز جوش فولاد پرداخت و به این نتیجه رسید که پیشگرم تا دمای °C ۱۰۰ تاثیر زیادی در کاهش حساسیت به ترک‌دار شدن فلز جوش دارد.

۲.مشاهدات

تصویر لوله در شکل ۱ ارائه شده است که شماره ۱ و ۲ در تصویر، دو لوله مد نظر برای جوشکاری بوده و ناحیه مشخص شده با دایره قرمز رنگ محل شکست خال جوش است. در این تصویر علائم سنگ زنی و برشکاری روی لوله‌ها مشاهده شد. جنس لوله ها S.A 106 Gr. B بوده و اتصال از نوع لب به لب با طرح اتصال شیاری نوع V است. از فرآیند جوشکاری SMAW و الکترود سلولوزی E 6010 برای پاس ریشه و الکترود قلیایی E 7018 برای سایر پاس ها استفاده شده است. جهت بررسی آزمایشگاهی دو لوله توسط عملیات برشکاری سرد برش داده شده‌اند.



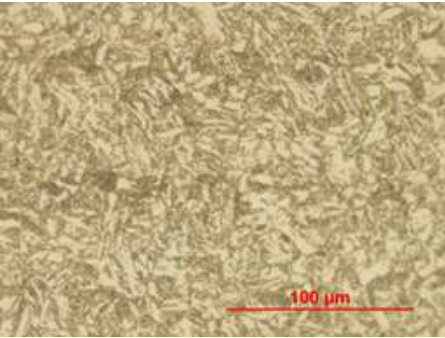
شکل ۱ □ تصویر دو لوله جوشکاری شده و محل شکست خال جوش

۳.فعالیت‌های آزمایشگاهی

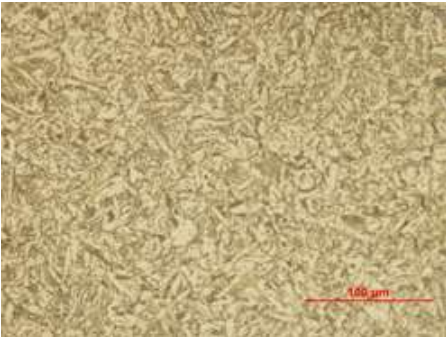
برای بررسی علت بروز ترک در محل خال جوش دو لوله، آزمون‌های بررسی ریزساختار، آنالیز شیمیایی و سختی سنجی از مقاطع لوله‌های شماره ۱ و ۲ و حوضچه جوش انجام پذیرفت.

۱۳ بررسی ریزساختار

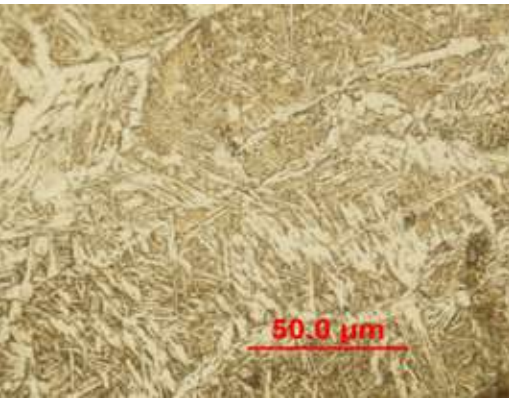
برای بررسی ریزساختار نمونه‌ها از هر کدام از لوله ها نمونه‌برداری شد و پس از مانیت‌گیری، مراحل آماده سازی شامل سنباده و سپس پولیش انجام شد. در نهایت برای ظاهرسازی ساختار مطابق استاندارد ASTM E ۴۰۷ از محلول نایتال ۲٪ استفاده شد. ریز ساختار لوله شماره ۱ و شماره ۲ به ترتیب در شکل‌های شماره ۲ و ۳ و ریز ساختار ناحیه متاثر از حرارت و ناحیه جوش نیز در شکل‌های شماره ۴ و ۵ قابل مشاهده است.



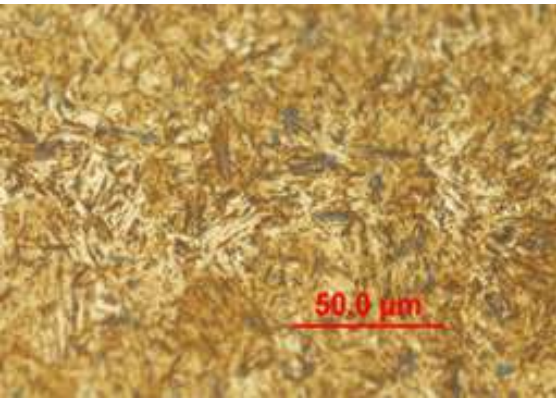
شکل ۳- تصویر ریزساختار لوله شماره ۲، محلول ظاهرکننده: نایتال ۲٪



شکل ۲- تصویر ریزساختار لوله شماره ۱، محلول ظاهرکننده: نایتال ۲٪



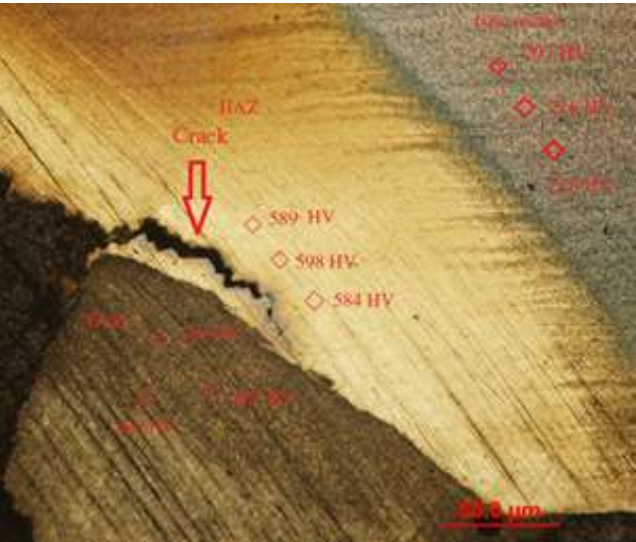
شکل ۵- تصویر ریزساختار فلز جوش، محلول ظاهرکننده: نایتال ۲٪



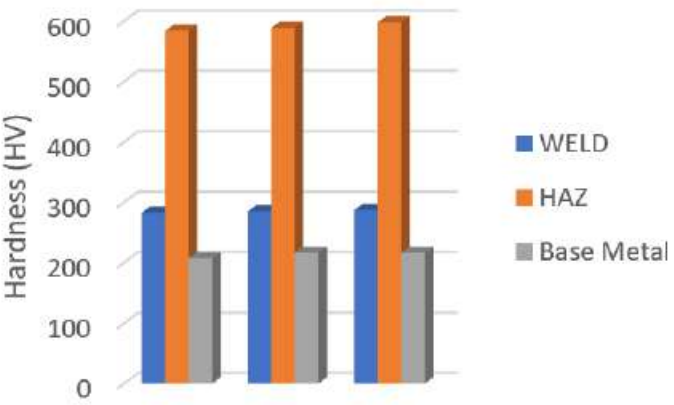
شکل ۴- تصویر ریزساختار ناحیه متاثر از حرارت، محلول ظاهرکننده: نایتال ۲٪

۲/۳ میکروسختی

از سه ناحیه فلز پایه (لوله)، فلز جوش و ناحیه متاثر از حرارت آزمون میکروسختی ویکرز بر اساس استاندارد ISO ۶۵۰۷ انجام شد که نتایج آن در شکل ۶ آورده شده است. تصویر ۷ قبل از سختی سنجی تهیه شده است و موقعیت سختی سنجی‌ها در تصویر نشان داده شده است.



شکل ۷- تصویر موقعیت نقاط سختی سنجی به روش ویکرز در نواحی فلز پایه، فلز جوش و ناحیه متاثر از حرارت



شکل ۶- نتایج میکروسختی سنجی نواحی فلز پایه، فلز جوش و ناحیه متاثر از حرارت

۳/۳ آنالیز شیمیایی

جهت بررسی عناصر تشکیل دهنده، لوله‌ها مورد آزمون کوانتومتری قرار گرفتند که نتایج آزمون در جدول شماره ۱ ارائه شده است. حدود مجاز استاندارد Gr.B SA۱۰۶ نیز در این جدول آورده شده است.

- ۴ Petch
- ۵ Bechem Theory
- ۶ Savage
- ۷ Troiano Theory
- ۸ Eager
- ۹ Hilton

جدول ۱- آنالیز شیمیایی لوله شماره ۱ و ۲ و حد پذیرش استاندارد SA106 Gr.B

V	Ni	Mo	Cu	Cr	S	P	Mn	Si	C	Fe	عنصر
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۲	۰/۷۸	۰/۱۴	۰/۴۵	Base	لوله ۱
۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۰۱	۰/۹۱	۰/۱۵	۰/۴۱	Base	لوله ۲
Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	۱/۰۶-۰/۲۹	Min	Max	Base	حد استاندارد
۰/۰۰۸	۰/۴	۰۱۵	۰/۴	۰/۴	۰۳۵	۰۳۵		۰/۱	۰/۰۳		

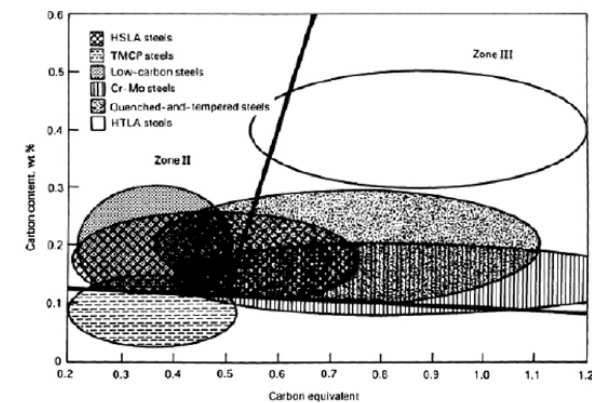
۴. نتیجه گیری

آنالیز شیمیایی ارائه شده در جدول ۱ نشان می‌دهد که درصد کربن در هر دو لوله شماره ۱ و ۲ بالاتر از حد استاندارد است. نکته‌ی قابل توجه این است که یکی از اصلی‌ترین دلایل کنترل دقیق ترکیب شیمیایی لوله‌های مورد استفاده در خطوط لوله نیروگاهی، حفظ قابلیت جوش‌پذیری برای این آلیاژها است. جوش‌پذیری فولاد کربنی متأثر از مقدار کربن است که بر تدری و ریزساختار گرده جوش و ناحیه متأثر از حرارت تأثیر می‌گذارد.

همانطور که بیان شد جوش‌پذیری فولاد به ترکیب شیمیایی فولاد و در صدر همه آن‌ها به درصد کربن بستگی دارد. از نظر ارزیابی جوش‌پذیری، نقش عناصر آلیاژی موجود در فولاد را اغلب با کربن معادل می‌سنجند. فرمول کربن معادل برای فولاد مذکور مطابق زیر است:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{(Cr+Mo+V)}{5} + \frac{(Ni+Cu)}{15} \quad (۱)$$

در این فرمول بیشترین بار وزنی را کربن دارد. با افزایش درصد کربن بدیهی است که کربن معادل نیز افزایش خواهد یافت و احتمال تشکیل فاز سختی چون مارتنزیت در فلز جوش یا منطقه متأثر از حرارت و نیز ایجاد ترک در این نواحی را افزایش می‌دهد. مطابق شکل ۸ در نمودار گراویل، با افزایش کربن و کربن معادل هر چه از ناحیه ۱ به سمت ناحیه ۲ و ۳ پیش برویم جوشکاری دشوارتر و احتمال بروز ترک سرد بیشتر خواهد شد.



شکل ۸- نمودار Graville که میزان حساسیت فولادها به ترک سرد را نشان می‌دهد.

در مراجع حضور همزمان سه عامل تنش، هیدروژن و ریزساختار حساس باعث ایجاد ترک سرد معرفی شده است که در ادامه وجود این عوامل در مورد خاص این پژوهش بررسی می‌شود.

تنش می‌تواند به صورت تنش‌های خارجی اعمال شده و یا ناشی از جوشکاری فراهم شود و چون دو لوله مقید نبوده تنش اعمالی مورد انتظار نیست ولی با توجه به حجم کوچک حوضچه جوش و سرعت سرمایش سریع تنش پسماند حاصل از تنش‌های انبساطی و انقباضی ناشی از جوشکاری محتمل است.

حضور هیدروژن در فلز جوش می‌تواند ناشی رطوبت، گریس، روغن، الکتروود پر هیدروژن یا الکتروود کم هیدروژن پخت نشده باشد. در خصوص آسیب رخ داده از الکتروود سلولزی E ۶۰۱۰ برای خال جوش و نیز پاس ریشه، استفاده شده است. از آنجایی که الکترودهای با پوشش سلولزی به خصوص هیدروژن زیادی تولید می‌کنند. در هنگام جوشکاری با الکتروود سلولزی، پوشش سلولزی الکتروود سوخته و حدود ۴۰۰ برابر حجم خود گاز مونواکسید کربن و هیدروژن تولید می‌کند بنابراین استفاده از این الکتروود شرایط ترک سرد را فراهم خواهد کرد.

همان‌طور که پیشتر به نقش کربن در جوش پذیری اشاره گردید، با افزایش درصد کربن احتمال ایجاد فاز سختی چون مارتنزیت افزایش می‌یابد و ریز ساختار حساس به ترک مهیا می‌شود.

خطر ترک سرد با افزایش سختی در محدوده ۲۰۰ تا ۳۳۰ ویکرز افزایش می‌یابد و از آنجا که معادل سختی لوله شماره ۱ و ۲ گفته شده در بند قبلی بر اساس واحد ویکرز بالاتر از می‌باشد بنابراین شانس ایجاد ترک سرد در این دو لوله محتمل است. از طرفی با انجام سختی سنجی در نقاط متعدد در حوالی خال جوش و در ناحیه متأثر از دما سختی تا ۵۹۸ ویکرز بالا رفته است که این مقدار سختی به اندازه کافی بالاتر از سختی مورد اشاره در منابع (اشاره شده در بالا) می‌باشد تا مکانیزم ترک سرد مورد اشاره فعال شود. با فاصله گرفتن از منطقه متأثر از حرارت، متوسط سختی از ۵۹۰ ویکرز در ناحیه HAZ به حدود ۲۱۳ ویکرز در ناحیه فلز پایه کاهش می‌یابد اما کماکان از مقدار حد مجاز استاندارد فلز پایه بالاتر می‌باشد. در شکل شماره ۷ محل تشکیل ترک سرد در ناحیه متأثر از حرارت قابل مشاهده است.

دمایی که در یک آلیاژ، دگرگونی آستنیت به مارتنزیت شروع می‌شود را دمای شروع تشکیل مارتنزیت می‌نامند و آن را با MS نشان می‌دهند. در حقیقت MS بیان کننده مقدار نیروی محرکه ترمودینامیکی لازم برای شروع دگرگونی برشی آستنیت به مارتنزیت است. نمودار موجود در شکل ۹ نشان می‌دهد که در فولادهای کربنی با افزایش درصد کربن، دمای MS به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. عناصر آلیاژی، روی دمای MS فولادها نیز اثر می‌گذارد که رابطه زیر ارتباط MS با ترکیب شیمیایی فولادها را نشان می‌دهد.

$$423C-30.4Mn-12.1Cr-17.7Ni-7.5Mo-MS(^{\circ}C)= 539$$

برای لوله شماره ۱ و ۲ با احتساب درصد کربن و بدون درنظر گرفتن عناصر آلیاژی طبق رابطه بالا، دمای شروع مارتنزیت حدود ۳۵۰ تا ۳۶۰ درجه سانتی‌گراد خواهد بود و طبق نمودار شکل ۹ نیز با توجه به درصد کربن لوله شماره ۱ و ۲ که به ترتیب ۰/۴۵ و ۰/۴۱ می‌باشد دمای شروع مارتنزیت تقریباً همان دمای ذکر شده خواهد شد. همچنین به احتمال زیاد دمای پایان استحاله Mf نیز از دمای پیشگرم لوله بالاتر است.

شکل ۸- دمای شروع و پایان تشکیل مارتنزیت بر حسب درصد کربن فولاد

ساختار فلز پایه در لوله‌های شماره ۱ و ۲ مطابق شکل‌های ۲ و ۳ مشابه بوده و حاوی فازهای فریت و پرلیت است. ریز ساختار ناحیه متأثر از حرارت (شکل ۴) شامل ساختار مارتنزیتی است که سختی بسیار بالا در این ناحیه گواه این موضوع است. ریز ساختار فلز جوش در شکل ۵ نشان داده شده است، این ساختار متشکل از فریت ویدمن اشتاتن است. در مجموع مکانیزم آسیب، ترک هیدروژنی (ترک سرد) بوده که بر اثر نفوذ هیدروژن از فلز جوش به منطقه متأثر از حرارت و ایجاد تردی در این ناحیه تحت تنش‌های حرارتی و انقباضی حین جوشکاری رخ داده است. این مکانیزم در هنگام جوشکاری آلیاژ استاندارد لوله رخ نمی‌دهد و به دلیل استفاده از متریال غیر استاندارد رخ داده است.

۵. مراجع

- [1]ALCANTRA, N.G (2017), "A Prediction Diagram For Preventing Hydrogen-Assiste Cracking in Eeld Metal".
- [2]ASM Metal Handbook (1993), Vol.6: Welding, Brazing and Soldering.
- [3]ASM Metal Handbook (1987), Vol.12: Fractography.
- [4]Beachem C. D. (1972),Metal. Trans,3: 437.
- [5]Gedeonand Eagar,T.W S. A (1990), Weld. J,69: 213.
- [6]Hilton Ferreira da Silva (2013), A STUDY ON HYDROGEN INDUCED CRACKING IN API STEEL WELD
- [7]Morsy, A. Mahdy, and M. A, Al-Hameed (2014), Prevention of cold cracking in ASTM A516 Gr. 70 steel weldment.
- [8]Petch H. J (1952) ,Nature,169: 842.
- [9]R Troiano (1960) , Trans,ASM. 52.
- [10]Sindo.Kou,Welding Metallurgy,2002.
- [11]W. F. Savage, E. F.Nippes and E. S (1976), Szekeres,Weld. J.55: 276.

فرهنگ نوآوری و کارآفرینی:

کلیدی برای موفقیت سازمان‌های بزرگ

هما طالب رجبی



چکیده

در دنیای متغیر و پرچالش امروز، سازمان‌های بزرگ به شدت به کارآفرینی و نوآوری وابسته شده‌اند. فرهنگ کارآفرینی به عنوان روشی برای ایجاد فضایی خلاقانه و انعطاف‌پذیر درون سازمان، می‌تواند به بهبود کارآیی، افزایش نوآوری و ایجاد مزیت رقابتی کمک کند. لذا هدف اصلی این مقاله بررسی اهمیت کارآفرینی درون سازمانی و تأثیر آن بر فرهنگ سازمانی، نوآوری و مزیت رقابتی در آن سازمان می‌باشد. با تجزیه و تحلیل مطالعات موردی، به ارتباط عمیق بین مدیریت کارآفرینانه و نتایج عملکردی سازمان‌ها پرداخته و عواملی را شناسایی می‌کند که می‌توانند به تقویت این فرهنگ در داخل سازمان‌ها کمک بسزایی کنند. نتایج نشان می‌دهند که سرمایه‌گذاری در فرهنگ نوآوری و کارآفرینی به عنوان یک دارایی استراتژیک می‌تواند به افزایش خلاقیت و نوآوری، ایده پردازی، بهبود عملکرد مالی و ارتقاء رضایت کارکنان منتج شود. از این رو توجه ویژه مدیران به تقویت فرهنگ کارآفرینی و تدوین استراتژی‌هایی برای ایجاد و پیشرفت آن در سازمان از اهمیت زیادی برخوردار است. بنابراین در این مقاله به تشریح مفاهیم نوآوری و کارآفرینی و نحوه ایجاد یک فرهنگ کارآفرینانه در سازمان‌های بزرگ پرداخته و به بررسی فرصت‌هایی که این رویکرد می‌تواند برای سازمان‌ها به ارمغان بیاورد، می‌پردازیم.

کلید واژه ها: کارآفرینی، نوآوری، فرهنگ کارآفرینی

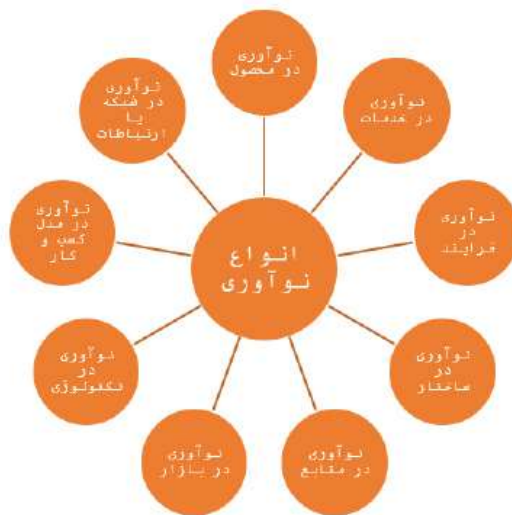
مقدمه

در عصر اطلاعات و تکنولوژی، تغییرات پیوسته و سریع در بازارها، نیاز به نوآوری و سازگاری را در سازمان‌ها افزایش داده است. موفقیت در این محیط پیچیده به شدت به توانایی سازمان‌ها در ایجاد و توسعه فرهنگ کارآفرینی بستگی دارد. فرهنگ کارآفرینی نه تنها به کارکنان انگیزه می‌دهد بلکه آن‌ها را تشویق می‌کند تا ایده‌های جدید را ارائه دهند و در فرآیندهای تصمیم‌گیری شرکت کنند. این رویکرد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا به سرعت به فرصت‌های جدید پاسخ دهند و در برابر چالش‌های بازار انعطاف‌پذیرتر باشند و به عنوان یک عنصر کلیدی در ایجاد و تقویت فرهنگ کارآفرینی، نقش مدیران و رهبران سازمانی اهمیت بسیاری دارد. آن‌ها باید فضایی را فراهم کنند که در آن آزادی خلاقیت و نوآوری ترویج یابد. بنابراین با توجه به لزوم به کارگیری فرهنگ نوآوری و کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ، در این پژوهش به بررسی مفهوم نوآوری و کارآفرینی، اهمیت فرهنگ کارآفرینی، چالش‌های پیش روی سازمان‌ها در به کارگیری فرهنگ کارآفرینی و همچنین تأثیر آن بر موفقیت سازمان‌های بزرگ پرداخته می‌شود.

نوآوری

نوآوری عبارت است از انتخاب ایده‌های درست و اجرای صحیح فرایند تبدیل آن به محصولات، خدمات و فرآیندهایی به منظور دستیابی به سود و رشد. به گفته پیتزر دراکر نوآوری فعالیتی خاص برای کارآفرینی است، چه در کسب‌وکار فعلی باشد چه در سرمایه‌گذاری در بخش عمومی و یا یک کسب‌وکار جدید که توسط یک شخص انجام گرفته است. در واقع ماهیت نوآوری به گونه ای است که اساساً به

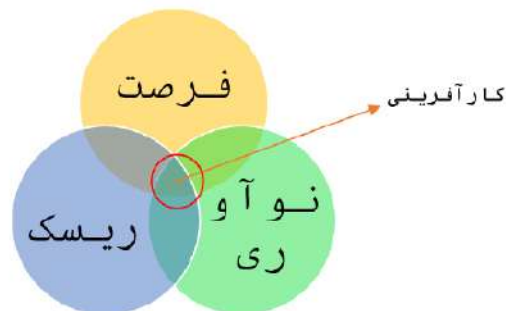
کارآفرینی مربوط می‌شود. مهارت کشف فرصت‌ها و خلق روش‌های جدید برای بهره‌برداری از آنها در کانون فرایند نوآوری جای دارد. نوآوری به معنای عملی کردن یک تفکر خلاق است و نوآوری سازمانی کلیه موفقیت در عرصه تکراری سازمان‌ها است. در واقع به پیاده ساختن ایده ناشی از خلاقیت که به صورت یک محصول یا خدمت تازه ارائه شود نوآوری گفته می‌شود. زمانی که از مبحث نوآوری سخن به میان می‌آید، افراد ناخواسته به سوی نوآوری محصول و بعضاً فرایند تولید آن متمرکز می‌شوند، حتی در بعضی مواقع در مورد نوآوری خدمات هم صحبتی به میان نمی‌آید، درحالی که نوآوری ابعاد و گونه‌های مختلفی دارد که در سازمان‌های بزرگ بنا به نوع کسب و کار آنها هر یک از انواع نوآوری در محصول، خدمات، فرایند، بازار، منابع، تکنولوژی، ساختار، ارتباطات یا مدل‌های کسب و کار شکل می‌گیرد(شکل ۱).



شکل ۱- انواع نوآوری

کارآفرینی

کارآفرینی، فرآیند شناسایی و بهره‌برداری از فرصت‌های نوآورانه (اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، فرهنگی و...) به منظور ایجاد کسب و کارهای جدید است که با ریسک‌ها و چالش‌های متعددی همراه است. این فرآیند شامل آغاز کسب و کارهای جدید، توسعه محصولات و خدمات نوآورانه یا ارائه راه‌حل‌های جدید برای مشکلات موجود باشد. در واقع مفهوم کارآفرینی وجه اشتراک بین شناسایی فرصت، نوآوری و ریسک می‌باشد(شکل ۲) و پایه و اساسی برای ایجاد شغل، خلق ارزش جدید و رقابت در بازار است. کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ به شکل‌های گوناگون پدید می‌آید از جمله ایجاد و توسعه محصولات و خدمات جدید، ایجاد واحدهای تجاری جدید، بهبود فرایندهای داخلی و غیره. این عوامل منجر به بهبود رقابت‌پذیری این سازمان‌ها خواهد شد. به عنوان مثال، سازمان‌هایی که به کارآفرینی توجه ویژه‌ای دارند، معمولاً بازارهای جدید را شناسایی و ورود به آن‌ها را امری ضروری می‌دانند، همچنین ایده‌های نوآورانه را در فرآیندهای خود پیاده‌سازی کرده و به افزایش سهم بازار خود کمک می‌کنند. با توجه به نیازهای متغیر بازار و فشار رقابتی، کارآفرینی به یک نیاز اجتناب‌ناپذیر تبدیل شده است که سازمان‌های بزرگ را قادر می‌سازد تا در برابر چالش‌ها و فرصت‌ها به طور مؤثر واکنش نشان دهند. این امر بدون داشتن فرهنگ نوآوری و کارآفرینی در این سازمان‌ها میسر نخواهد بود.

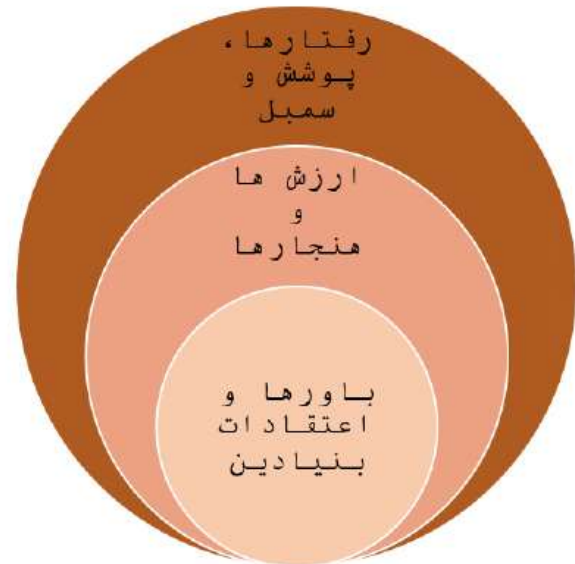


شکل ۲- مفهوم کارآفرینی

فرهنگ نوآوری و کارآفرینی

یکی از مهمترین عوامل سازمانی که در در چندین سال اخیر مورد توجه بسیاری از شرکت‌های صنعتی، تولیدی و شرکت‌های کوچک و متوسط قرار گرفته است، ایجاد فرهنگ نوآوری در این نوع شرکت‌ها می‌باشد. در حال حاضر فرهنگ نوآوری با هدف کسب مزیت رقابتی، بهره‌مندی از نوآوری و تفکر خلاق در بسیاری از شرکت‌های سراسر دنیا پیاده‌سازی شده است. فرهنگ نوآوری، فرهنگی است که از بروز اندیشه خلاق آغازین و پیاده‌سازی آن و رسیدن به محصول نهایی حمایت می‌نماید. سازمان‌هایی که در آن فرهنگ نوآوری جاری باشد، در مقایسه با دیگر سازمان‌ها که اهمیت چندانی به نوآوری نمی‌دهند چابک، خلاق و موفق‌تر هستند.

فرهنگ کارآفرینی متأثر از فرهنگ حاکم بر جامعه است. هرچه ارزش‌ها و عقاید موجود در جامعه افراد را به کار، تولید مداوم، فکر و اندیشهٔ خلاق و یادگیری و کسب دانش سوق دهد؛ در آن جامعه فرهنگ کارآفرینی اشاعه یافته و درون افراد نهادینه می‌شود. در یک سازمان نیز کارآفرینی به فرهنگ سازمانی برمی‌گردد. فرهنگ کارآفرینی به مجموعه‌ای از باورها، نگرش‌ها و رفتارهایی اطلاق می‌شود که موجب ترغیب و حمایت از نوآوری و ریسک‌پذیری در سازمان می‌شود. بر اساس نظریه فرهنگ سازمانی از دیدگاه ادگار شاین، فرهنگ سازمانی شامل سه لایه «باورها و اعتقادات بنیادین»، «ارزش‌ها و هنجارها» و «رفتارها، پوشش و سمبل» است. بنابراین فرهنگ کارآفرینی در درونی‌ترین لایه یک سازمان یعنی باورها و اعتقادات بنیادین قرار می‌گیرد(شکل ۳).



شکل ۳- لایه‌های فرهنگ سازمانی در مدل ادگار شاین

سازمان‌های نوآور عمیقاً فرهنگ نوآوری و کارآفرینی را به عنوان باورهای خود درک کرده و همواره می‌کوشند که ارزش‌ها و رفتارهای خود را در این راستا پیش بگیرند. در سازمان‌های بزرگ، وجود یک فرهنگ کارآفرینی قوی می‌تواند موجب بروز خلاقیت و نوآوری در تمامی سطوح سازمان گردد. فرهنگ کارآفرینی شامل عوامل مختلفی مانند حمایت از ریسک‌پذیری، تشویق به تفکر خلاق و فراهم کردن امکانات لازم برای آزمایش ایده‌های جدید است. یکی از اصلی‌ترین مزایای فرهنگ کارآفرینی، ارتقاء سطح نوآوری در سازمان است. وقتی که کارکنان احساس آزادی و حمایت در ارائه ایده‌های جدید را داشته باشند، انگیزه بیشتری برای نوآوری و پیشنهاد راه‌حل‌های خلاقانه پیدا می‌کنند. به عنوان نمونه، شرکت‌هایی مانند گوگل^۱ و اینتل^۲ به دلیل ایجاد محیط‌های کارآفرینانه، توانسته‌اند نرم‌افزارها و محصولات نوآورانه‌ای ارائه دهند که بازار را متحول کرده است.

پژوهش و تحقیقات متعددی بر اهمیت فرهنگ کارآفرینی در سازمان‌ها تأکید انجام شده که به نقش کارآفرینی در ایجاد نوآوری و رشد اقتصادی پرداخته و اشاره کرده است و کارآفرینان را به عنوان موتورهای نوآوری معرفی نموده‌اند. همچنین، بیان می‌کند که فرهنگ سازمانی تأثیر عمیقی بر رفتار کارکنان و تصمیم‌گیری‌ها دارد. مطالعات اخیر نشان داده است که سازمان‌هایی که فرهنگ کارآفرینی قوی دارند، احتمال موفقیت آنها در رقابت‌های بازار بیشتر است این سازمان‌ها به سرعت می‌توانند محصولات و خدمات جدید را معرفی کرده و به تغییرات نیاز مشتریان پاسخ دهند. پژوهش‌های انجام شده بر روی فرهنگ سازمانی تصدیق می‌کنند که در برخی سازمان‌ها افراد سازمان بیشتر تمایل به بروز فعالیت‌های کارآفرینانه دارند. فرهنگ و رفتار کارآفرینانه این سازمان‌ها و ارتباط این دو با عملکرد بالای سازمان، در میان پژوهشگران و مدیران توجه زیادی را به خود معطوف داشته است.

فرهنگ کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ به پرورش خلاقیت و نوآوری در تیم‌ها منجر می‌شود. چنین فرهنگی به کارکنان اجازه می‌دهد تا ایده‌های جدید را پیشنهاد دهند و از اشتباهات خود درس بگیرند. این امر می‌تواند به بهبود روحیه کارکنان و افزایش انگیزه آن‌ها برای مشارکت در پروژه‌های نوآورانه منجر شود. همچنین سازمان‌هایی با فرهنگ کارآفرینی معمولاً به راحتی می‌توانند استعدادهای مستعد را جذب و نگه‌دارند. کارکنان به سازمان‌هایی که ارزش‌های نوآوری و خلاقیت را تقویت می‌کنند، تمایل بیشتری دارند. این امر به ایجاد یک تیم متنوع و خلاق منجر می‌شود که می‌تواند در حل مشکلات و توسعه محصولات جدید موثر باشد.

اهمیت کارآفرینی در سازمان های بزرگ

فرایندهای کارآفرینی به سازمان‌ها این امکان را می‌دهد که از منابع خود به بهترین شکل بهره‌برداری کنند، استعدادهای داخلی را شناسایی و توسعه دهند و در نهایت به یک مزیت رقابتی پایدار دست یابند. کارآفرینی می‌تواند به عنوان یک محرک برای تحول سازمانی عمل کند و به رهبری سازمان‌ها در مسیر رشد و توسعه کمک کند. عوامل زیر ضرورت بهره‌مندی از فرهنگ کارآفرینی را در سازمان نشان می‌دهد.

- ارتقاء رقابت‌پذیری: سازمان‌های بزرگ به دلیل رقابت فزاینده از سوی استارت‌آپ‌ها^۳ و شرکت‌های نوآور در معرض چالش‌های جدی قرار دارند. در این راستا، کارآفرینی به سازمان‌ها اجازه می‌دهد تا با توسعه محصولات و خدمات جدید و بهبود مستمر فرآیندهای عملیاتی، از رقبای خود پیشی بگیرند.
- افزایش توانایی سازگاری: سازمان‌ها به طور مستمر با تغییرات اقتصادی و محیطی، از جمله تحولات فناورانه و تغییرات در ترجیحات مشتریان روبه‌رو هستند. همچنین تحولات فناوری‌های نوین امکان نوآوری با هزینه‌های کمتر و سرعت بالاتر را فراهم می‌آورد. کارآفرینی، با ایجاد اطمینان از انعطاف‌پذیری و سازگاری، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا به سرعت به این تغییرات پاسخ دهند و ضمن شناسایی فرصت‌های جدید، ارضیت خود را در بازار حفظ کنند.
- تقویت روحیه کارآفرینانه کارکنان: وجود فرهنگ کارآفرینی در یک شرکت بزرگ، علاوه بر ایجاد فرصت‌های آموزشی و توسعه مهارت‌های جدید در کارکنان می‌تواند منجر به تقویت روحیه کارآفرینی و توانمند شدن آنها شود. در چنین سازمانی، همواره کارکنان تلاش می‌کند که ایده‌های جدید و خلاقانه خود را ارائه کرده و سازمان را به سوی نوآور شدن سوق دهند.

کشف فرصت‌های جدید: در سازمان‌های کارآفرین و نوآور، فرصت‌های جدید در حال پیدایش هستند زیرا نگاه افراد به محیط پیرامون خود متفاوت است. آنها می‌کوشند تا فرصت‌های ایجاد شده در جریان این تغییرات محیطی را کشف و از آنها بهره‌برداری کنند. اساس بحث اکتشاف و بهره‌برداری از بازار در همین مفهوم قرار دارد. اثرات مثبت روی عملکرد سازمانی: مطالعات نشان می‌دهد که سازمان‌هایی که اقدامات خود را به شکل کارآفرینانه و نوآورانه انجام می‌دهند نسبت به دیگر سازمان‌ها، بهتر می‌توانند خود را با محیط رقابتی تنظیم کنند و در بازارهای رقابتی دوام بیشتری خواهند داشت. بنابراین اثرات مثبتی بر عملکرد سازمانی دارند.

چالش‌های سازمان‌های بزرگ در بکارگیری فرهنگ نو آوری و کارآفرینی

سازمان‌های بزرگ غالباً در به کارگیری فرهنگ نوآوری و کارآفرینی با چالش‌های متعددی مواجه هستند. پژوهش‌های زیادی در این زمینه انجام شده است که نهایتاً نشان می‌دهد که چالش‌ها و محدودیت سازمان‌ها در به کارگیری فرایندهای کارآفرینی و نوآوری به چهار دسته «عوامل ضد انگیزشی»، «موانع داخلی سازمانی»، «موانع قانونی و مقرراتی»، «موانع محیط کسب و کار» تقسیم می‌شوند. در این مقاله به بررسی هر یک از عوامل پرداخته خواهد شد:

۱. عوامل ضد انگیزشی: این عوامل شامل مجموعه‌ای از موانع و چالش‌هایی هستند که می‌توانند بر روحیه و انگیزه کارآفرینان درون سازمان تأثیر منفی بگذارند. در زیر به برخی از این عوامل اشاره می‌کنیم:
 - ترس از دست دادن سرمایه (خطرپذیر مالی زیاد)
 - ترس از ناتوانی تهیه منابع مالی کافی برای ایجاد فرهنگ کارآفرینی در سازمان
 - نبود فضای خلاقانه
 - شیوه‌های نادرست پاداش
 - نداشتن اهداف واضح از ایجاد فرهنگ کارآفرینی
۲. موانع داخلی سازمان: این عوامل شامل مسائل درون سازمان، فرهنگ سازمانی یا ساختار مدیریتی می‌باشد که می‌تواند مانع ایجاد فرهنگ کارآفرینی در یک شرکت شود. این عوامل به شرح زیر می‌باشد:
 - ماهیت و اندازه بزرگ سازمان‌ها
 - فرهنگ سازمانی محافظه کارانه
 - رویکرد دستوری و کنترل‌گر
 - عدم پذیرش، حمایت و تعهد مدیران
 - تنش‌های داخل سازمان

^۱ Google
^۲ Intel

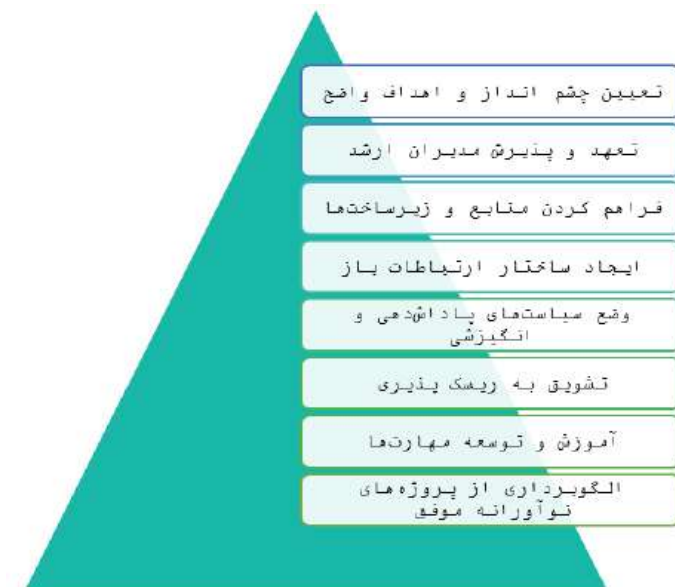
۳. موانع قانونی و مقرراتی: دانستن عوامل قانونی و مجاز در حیطه قلمروهایی که سازمان در آن فعالیت می‌کند امری ضروری است. همچنین آگاهی مدیران از هرگونه تغییر در قوانین و مقرراتی که در کسب و کارهایشان اثر مستقیم دارد اهمیت ویژه‌ای دارد. بنابراین عواملی مانند مالیات و عوارض اضافی، رویه‌های بروکراتیک، عدم وجود حقوق مالکیت، عدم دسترسی به مجوزهای ضروری و... موجب کاهش انگیزه کارآفرینان در محیط خارجی سازمان می‌گردد.

۴. موانع محیط کسب و کار: محیط کسب و کار یکی از مهمترین عوامل تعیین کننده در ایجاد فرهنگ سازمانی شمرده می‌شود. از نظر کارآفرینان نارسایی‌های محیط کسب و کار برای شرکت‌های درحال رشد و همچنین شرکت‌های بزرگ یکی از موانع بزرگ رشد فرهنگ در آن سازمان‌ها می‌باشد. بنابراین برای جلوگیری از نارسایی‌های محیط کسب و کار ارزیابی عوامل داخلی و خارجی محیط‌های کسب و کار مورد توجه قرار می‌گیرد.

راهکارهای ایجاد فرهنگ کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ

همانطور که اشاره شد، برخی از سازمان‌های بزرگ که عمر فعالیت آن‌ها بسیار زیاد است در مقابل ایجاد فرهنگ نوآوری و کارآفرینی مقاومت کرده و با چالش‌های متعددی روبرو خواهند شد. برخی دیگر از سازمان‌های بزرگ نیز تمایل دارند همگام با بازار و رقبا حرکت کرده و از تغییرات نوآوری عقب نمانند. بنابراین چه عواملی موجب می‌شود که برخی از سازمان‌های بزرگ رویکردهای نوآورانه را انتخاب کرده و در مسیر نوآوری گام برداند؟

پاسخ به این سوال به میزان پذیرش و تعهد مدیران ارشد به نوآوری بستگی دارد. یکی از مهمترین عوامل ایجاد فرهنگ نوآوری در یک سازمان تمایل مدیران به تغییر است. هرچه میزان پذیرش و تطابق مدیران و مسئولان در سازمان‌های بزرگ بیشتر باشد فرهنگ کارآفرینی و نوآوری در آن سازمان بیشتر خواهد بود. بنابراین با توجه به اینکه ایجاد فرهنگ کارآفرینی نیازمند راهکارها و رویکردهای مختلفی است که موجب رشد و پیشرفت نوآوری و خلاقیت در آن سازمان می‌گردد، راهکارهایی برای ایجاد فرهنگ کارآفرینی به این سازمان‌ها معرفی می‌شود. زمانی که مدیران یک شرکت چالش‌ها و محدودیت‌های به کارگیری فرهنگ نوآوری و کارآفرینی را در شرکت خود شناسایی می‌کنند، برای به کارگیری اقدامات اصلاحی برای رشد فرهنگ کارآفرینی تصمیمات جدی می‌گیرند. بنابراین ایجاد و به کارگیری فرهنگ کارآفرینی نیازمند راهکارها و رویکردهای متنوعی است که مسیر را برای رهبران و مدیران هموارتر سازد. پژوهش‌های مختلفی در زمینه فرهنگ کارآفرینی و راهکارهای به کارگیری آن در سازمان‌ها انجام شده که به شرح زیر توضیح داده می‌شود:



شکل ۴- راهکارهای ایجاد فرهنگ کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ

۱. تعیین چشم انداز و اهداف واضح: سازمان‌های بزرگ می‌بایست یک چشم‌انداز روشن از نوآوری و کارآفرینی داشته باشند و اهداف مشخصی را برای رسیدن به این چشم‌انداز تعیین کنند.
۲. تعهد و پذیرش مدیران ارشد: مدیران ارشد خود یکی از الگوهای نوآوری در سازمان به شمار می‌روند، آن‌ها می‌بایست به فرهنگ نوآوری و کارآفرینی سازمانی اعتقاد داشته باشند زیرا حمایت و پشتیبانی آن‌ها از ایده‌های نوآورانه می‌تواند فرهنگ کارآفرینی را تقویت کند.
۳. فراهم کردن منابع و زیرساخت‌ها: دسترسی به منابع لازم، از جمله بودجه، زمان، و فناوری، برای پیاده‌سازی ایده‌های جدید ضروری بوده و ایجاد زیرساخت‌های فرهنگی برای انجام نوآوری یکی از راهکارهای رشد فرهنگ کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ است.
۴. ایجاد ساختار ارتباطات باز: یکی از عوامل مهم در ایجاد فرهنگ نوآوری باز، ایجاد فضایی است که در آن ارتباطات

۵. آزادانه و بدون ترس از انتقاد وجود داشته باشند، که این فضا می‌تواند به تبادل ایده‌ها و نوآوری کمک کند.
۵. وضع سیاست‌های پاداش‌دهی و انگیزشی: یکی از موانع مهم در ایجاد فرهنگ کارآفرینی در سازمان، عدم وجود سیستم پاداش و انگیزه برای کارکنان شناخته می‌شود. بنابراین ایجاد سیستم‌هایی برای شناسایی و پاداش‌دهی به کارکنانی که ایده‌های نوآورانه دارند و آن‌ها را به اجرا در می‌آورند می‌تواند انگیزه زیادی در آن‌ها ایجاد کرده و سازمان را به سوی پیاده‌سازی نوآوری و کارآفرینی سوق دهد.
۶. تشویق به ریسک‌پذیری: ایجاد محیطی یادگیرنده که در آن کارکنان احساس کنند می‌توانند ریسک کنند و از خطاها یاد بگیرند، بسیار مهم است. تشویق به آزمایش ایده‌های جدید و پذیرش خطا به عنوان بخشی از فرایند یادگیری می‌تواند به این فرهنگ کمک نماید.
۷. آموزش و توسعه مهارت‌ها: یکی از راه‌های افزایش خلاقیت و نوآوری، آموزش و توسعه مهارت‌های ایده‌پرداز است. بنابراین برگزاری دوره‌های آموزشی، رویدادهای نوآورانه و کارگاه‌های مرتبط با کارآفرینی، نوآوری و تفکر خلاق در توسعه مهارت‌های لازم در کارکنان نقش بسزایی دارد.
۸. الگوبرداری از پروژه‌های نوآورانه موفق: یکی دیگر از مسیرهای ایجاد فرهنگ نوآوری و کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ، الگوبرداری از پروژه‌های نوآورانه موفق می‌باشد. یادگیری از تجربیات سازمان‌های نوآور نه تنها می‌تواند الهام‌بخش مدیران و کارآفرینان باشد، بلکه می‌تواند راهکارهایی برای بهبود عملکرد و افزایش رقابت‌پذیری ارائه دهد. بنابراین الگوبرداری از پروژه‌های نوآورانه مشابه دیدگاه خوبی از نوآوری را در اختیار مدیران و ایده‌پردازان قرار می‌دهد.

نتیجه‌گیری

نوآوری و کارآفرینی ارتباط تنگاتنگی با یکدیگر دارند و در دست‌یابی به موفقیت در دنیای پرتلاطم اقتصادی کنونی نقش مهمی ایفا می‌کنند. نوآوری در سازمان‌ها علاوه بر اینکه به تغییرات بازار پاسخ می‌دهد، بلکه به آن‌ها کمک می‌کند تا مزیت رقابتی خود را حفظ کنند. اینگونه سازمان‌ها با یادگیری از نمونه‌های موفق، سازمان‌ها می‌توانند راهکارهای موثری برای پیاده‌سازی نوآوری‌های موثر در فرآیندها و محصولات خود پیدا کنند. از سوی دیگر فرهنگ نوآوری و کارآفرینی در سازمان‌های بزرگ نه تنها موجب افزایش قدرت رقابتی آنها می‌شود، بلکه به رشد پایدار و مداوم نیز کمک می‌کند. برای بهره‌مندی از این فرهنگ، سازمان‌ها باید بر روی رهبری مؤثر، حمایت از ریسک، همکاری و آموزش تمرکز کنند. به‌کارگیری این اصول می‌تواند راه را برای آینده‌ای روشن و موفق‌تر هموار کند. در نهایت، سازمان‌هایی که به ایجاد و تقویت فرهنگ نوآوری و کارآفرینی بپردازند، به احتمال بیشتر می‌توانند در برابر چالش‌های آینده مقاومت کنند و در بازارهای پویا و متغیر به موفقیت دست یابند. فرهنگ نوآوری و کارآفرینی راهکارهای مؤثری برای بهبود مدیریت و افزایش رقابت‌پذیری ارائه دهد، لذا با مطالعه و بررسی سازمان‌ها می‌توان رویکردهای جدیدی را در سازمان‌های خود پیاده‌سازی کرد که منجر به نوآوری مستمر و رشد بلندمدت شود. این فرایند نیازمند ایجاد فرهنگی از حمایت و تشویق نوآوری است که می‌تواند به ایجاد ایده‌های خلاقانه و راهکارهای جدید منجر شود. بنابراین توسعه کارآفرینی در سازمان‌ها نقش شایسته‌ای برای حضور فعال در بازارهای جهانی، مقابله با رقبا، اشتغالزایی پایدار، توسعه عدالت، کاهش فقر و حل مشکلات جامعه، دولت و بخش عمومی دارد.

منابع

- [1]Kuratko, D. F., Ireland, R. D., & Covin, J. G. (۲۰۲۳). Achieving Corporate Entrepreneurship: Rethinking the Role of the Entrepreneur. *Entrepreneurship Theory and Practice*, ۲۰-۷, (۱)۴۷.
- [2]Lester, D.L., Parnell, J.A. and Carraher, S. (۲۰۰۳), «Organizational life cycle: A five- stage empirical scale», *The International Journal of Organizational Analysis*, Vol. ۱۱ No. ۴.
- [3]Morris, M., & Jones, G. (۲۰۲۱). Entrepreneurship and the Innovation Ecosystem. *Journal of Business Research*
- [4]O'Connor, G. & Rice, J. (۲۰۲۲). «Innovation and Entrepreneurship Culture in Corporations: A Case Study of Google.» *Journal of Business Strategy*.
- [5]Sarasvathy, S. D. (۲۰۲۴). Letting Go of the Ego: The New Realities of Entrepreneurial Leadership. *Journal of Business Venturing Insights*, ۱۲۱-۱۰۰, ۲۱.
- [6]Schein, E. H. (۲۰۱۰). *Organizational Culture and Leadership*. Jossey-Bass.
- [7]Schilling, M., & Kessler, A. (۲۰۲۲). The Role of Entrepreneurship in Strategic Management. *Strategic Management Journal*, ۱۵۷۸-۱۵۵۸, (۸)۴۳
- [8]Tidd, J., & Bessant, J. (۲۰۱۸). *Managing Innovation: Integrating Technological, Market and Organizational Change*. Wiley.
- [9]Zahra, S. A., & George, G. (۲۰۲۲). Absorptive Capacity: A Review, Reconceptualization, and Extension. *Strategic Management Journal*.
- [10]<https://parsmodir.com/translated/culture-innovation.php>
- [11]<https://www.coursera.org/learn>

بررسی مشکلات خوردگی بویلرهای زباله سوز

مهدی معدنی پور □ طاهر نظری



مقدمه

زباله‌های جامد شهری (MSW) ترکیبی از زباله‌های مسکونی، تجاری و صنعتی است. از نظر تاریخی، روش رایج حذف این منبع انرژی به روش دفنی بوده است. با این حال، در دهه ۱۹۶۰، برای اولین بار رویکرد جدیدی در اروپا برای بازیابی این منبع انرژی از طریق بویلرهای بخار آغاز شد. این بویلرها به تولید برق کمک می‌کنند و نیاز به دفن زباله را کاهش می‌دهند. با این حال، یک چالش بزرگ در این سیستم‌ها، خوردگی تیوب‌های بویلر بود که به عنوان مانعی برای بهره‌وری عملیاتی شناخته شد. مدیریت خوردگی همچنان یک مسئله جدی برای اپراتورهای بویلرهای مدرن در سراسر جهان است. احتراق (MSW) به دلیل وجود ناخالصی‌های مختلفی مانند کلر، گوگرد و فلزات سنگین، محیطی خورنده ایجاد می‌کند. این محیط خورنده منجر به مشکلات خوردگی برای تیوب‌ها و دیگر اجزا می‌شود. استراتژی‌هایی مانند استفاده از پوشش‌های محافظ، ارتقاء مواد و فناوری‌های احتراق جدید، می‌توانند به کاهش اثرات خوردگی کمک کنند. برای مقابله با چالش‌های خوردگی و بهبود بهره‌وری، نیاز به فناوری‌های جدید و پیشرفته در طراحی و تولید بویلرها و پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی احساس می‌شود. اجرای سیستم‌های نظارتی مستمر و روش‌های تعمیر و نگهداری منظم نیز می‌تواند در کاهش احتمال خوردگی مؤثر باشد. همکاری بین صنعت، دانشگاه و دولت‌ها برای به اشتراک‌گذاری داده‌ها و تجربیات می‌تواند به توسعه و پذیرش راه‌حل‌های مؤثر کمک کند. استراتژی‌هایی مانند استفاده از پوشش‌های محافظ، ارتقاء مواد و فناوری‌های احتراق جدید، می‌توانند به کاهش اثرات خوردگی کمک کنند. برای مقابله با چالش‌های خوردگی و بهبود بهره‌وری، نیاز به فناوری‌های جدید و پیشرفته در طراحی و تولید بویلرها و پوشش‌های مقاوم در برابر خوردگی احساس می‌شود. با توجه به بالا بودن هزینه‌های ناشی از خوردگی و اهمیت حفظ عملکرد پایدار بویلرها، توجه به این مسائل برای تحقق اهداف پایداری و بهره‌وری در سیستم‌های زباله‌سوز بسیار حیاتی است. تحقیقات مداوم در زمینه مواد و پوشش‌ها برای کاهش چالش‌های خوردگی ضروری است. توسعه آلیاژها و مواد سرامیکی با عملکرد بالا می‌تواند مقاومت اجزای بویلر را در برابر شرایط خورنده بهبود بخشد. پیاده‌سازی سیستم‌های پیشرفته نظارتی برای شناسایی به موقع علائم خوردگی و تجزیه می‌تواند به تعمیرات پیشگیرانه کمک کند. بهبود درک دینامیک احتراق در کارخانجات زباله‌سوز می‌تواند به بهینه‌سازی شرایط عملیاتی کمک کند.

۲ سوخت‌های کوره زباله سوز

محیط احتراق بویلرها زباله‌سوز شهری معمولاً شامل کاغذ، مقوا، پلاستیک، لاستیک، منسوجات، چرم، باتری، زباله‌های مواد غذایی، زباله‌های قطعات الکترونیکی، فلزات، شیشه و سایر مواد متفرقه هستند.

این نوع سوخت بسیار ناهمگن است و با توجه به موقعیت جغرافیایی و فرهنگ کشورها می‌تواند بسیار متفاوت است، ممکن است در منطقه فراوانی ماده بیشتر باشد به طور مثال چوب و...، در آمریکای شمالی در سال ۱۹۹۰، اجزای اصلی زباله‌های جامد شهری به این صورت بودند کاغذ و مقوا: ۳۴/۲-۴۰/۰٪ - پلاستیک: ۷/۲-۹/۲٪ - زباله‌های مواد غذایی: ۷/۳-۸/۵٪ - فلز: ۱۷/۶-۱۹/۱٪ - شیشه: ۷/۷-۹/۷٪ - سایر مواد: ۱۰/۳-۱۳/۲٪

از بین مواد موجود در زباله‌های خانگی موارد ذیل حائز اهمیت ویژه‌تری هستند عبارتند از:

- مواد حاوی اسیدها و مواد غنی از عنصر کلر
- مواد دارای فلزات سنگین
- مواد که جاذب رطوبت بوده و حاوی رطوبت بالا هستند

- **پلاستیک پلی وینیل کلراید (PVC):** منبع غالب و غنی از عنصر کلر است که یک ماده خورنده اصلی است که محیط احتراق را برای مواد تشکیل دهنده بویلر خورنده می‌کند. PVC حاوی حدود ۳۶ درصد وزنی کلر است. لاستیک‌هایی مانند هیپالون، کلروپرن و نئوپرن نیز حاوی غلظت بالایی از کلر هستند این مواد می‌توانند منجر به تولید گازهای خورنده مانند HCl شوند که تأثیر قابل‌توجهی بر خوردگی دارد. سایر مواد زائد که می‌توانند در محیط‌های خورنده در حال احتراق نقش داشته باشند،

-**انواع باتری و لوازم الکترونیکی:** باتری‌ها حاوی عناصر سرب و کادمیوم می‌باشد که عمدتاً باتری‌های خانگی داری کادمیوم هستند و لوازم الکترونیکی هم سرب و هم کادمیوم را به همراه دارند به طور مثال لحیم‌کاری صورت پذیرفته در این قطعات و مواد تشکیل دهنده آنها اشاره کرد.

چالش ها و مسائل

از نظر فن‌آوری‌های سوزاندن زباله، دو نوع اصلی وجود دارد:

- سوزاندن انبوه
- سوخت مشتق شده از زباله (RDF^۲)

سوزاندن انبوه:

در این روش، زباله‌ها بدون تفکیک و جداسازی موارد بزرگی مانند لوازم خانگی و مبلمان، به‌طور مستقیم سوزانده می‌شوند. این روش برای مدیریت حجم وسیعی از زباله‌های شهری استفاده می‌شود.

سوخت مشتق شده از زباله (RDF) ۲

در فناوری (RDF) ۲، ابتدا زباله‌ها طبقه‌بندی و تفکیک شده و سپس به قطعات کوچکتر خرد می‌شوند تا به عنوان سوخت استفاده شوند. این فرآیند شامل حذف فلزات و شیشه قبل از احتراق است.

دمای گازهای احتراق معمولاً در واحدهای انبوه‌سوز حدوداً ۱۰۹۰ C و در واحدهای RDF تقریباً ۱۳۱۵ تا ۱۳۷۰ CO است. علیرغم تأمین دمای حدود ۱۳۷۰ درجه حاصل از سوخت زباله‌ها در عمل تیوب‌های بویلرها برای دماهای پایین‌تری طراحی شده‌اند. بعنوان مثال بویلرهای (WTE^۳) در ایالات متحده در دمای ۳۷۰ تا ۴۴۰ درجه سانتیگراد فعالیت می‌نمایند. به دلیل ناخالصی‌های موجود و دمای بالا در محصولات مشتق از سوختن زباله‌ها، احتراق این نوع سوخت یک محیط بسیار خورنده ایجاد می‌کند (افزایش دما رابطه مستقیم با افزایش نرخ خوردگی دارد) که باعث ایجاد مشکلات خوردگی برای مواد تیوب و سایر قسمت‌های بویلر می‌شود.

بویلرهای زباله‌سوز فعال در اتحادیه اروپا از منظر طراحی و عملکردی اندکی با بویلرهای فعال منطقه آمریکا متفاوت هستند، دمای کاری بویلرها اندکی با بویلرهای فعال در منطقه آمریکا متفاوت بوده و با دمای بالاتری فعالیت می‌نمایند. (به عنوان مثال، بویلرهای بخار در Ivry Paris فرانسه ۴۸۰ CO و در HK W Mannheim آلمان با بخار ۵۰۰ CO در BSR برلین (آلمان) در ۴۲۰ CO و در EVO Oberhausen آلمان با بخار ۴۸۰ CO فعالیت می‌نمایند.

احتراق سوخت MSW به طور قابل توجهی با سایر مواد احتراقی متفاوت است زیرا زباله جامد یک سوخت ناهمگن است. علاوه بر این، این سوخت حاوی ناخالصی‌های متعددی است که شامل کلر، گوگرد، سدیم، پتاسیم، کادمیوم، روی، سرب و سایر فلزات سنگین می‌شود. به دلیل این ناخالصی‌ها، احتراق این سوخت یک محیط بسیار خورنده ایجاد می‌کند که باعث ایجاد مشکلات خوردگی برای مواد تیوب و سایر قسمت‌های بویلر می‌شود. محصولات احتراق شامل CO_2 ، SO_2 ، H_2O ، HF، HCl و سایر ناخالصی‌های گازی مانند CO و HBr می‌باشد. نمونه‌هایی از این ترکیبات گازهای اندازه‌گیری شده در واحدهای انبوه سوز در کارخانه‌های مختلف در جدول ۱۲/۱ نشان داده شده است.

^۲ Refuse Derived Fuel
^۳ Wastag Transmission of Energy

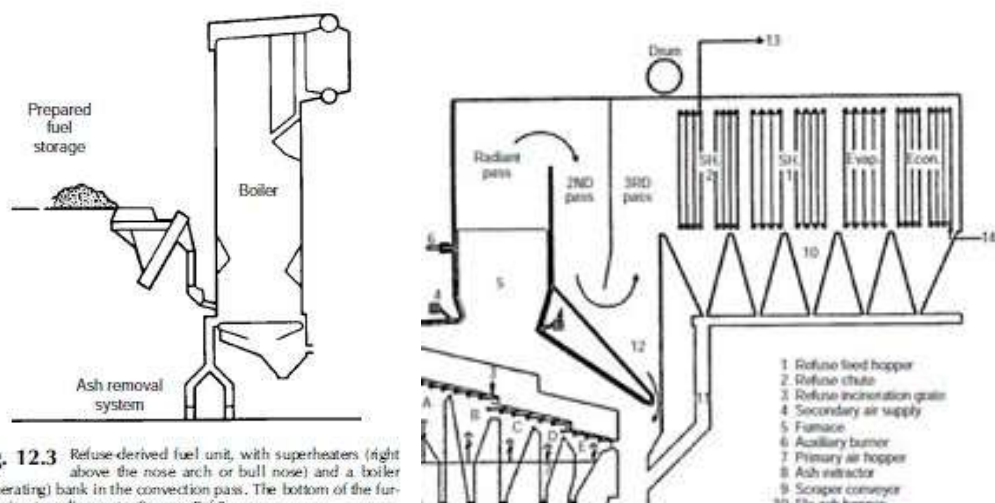


Fig. 12.3 Refuse-derived fuel unit, with superheaters (right above the nose arch or bull nose) and a boiler (generating) bank in the convection pass. The bottom of the furnace is a traveling grate. Source: Ref 3

مواد و خوردگی

تمام این مواد اولیه تیوب‌های بویلر فولاد کربنی و فولادهای کم آلیاژ بدون محافظت در برابر خوردگی بودند. بویلرهای مدرن WTE به طور فزاینده‌ای از روش‌های مختلف برای حفاظت در برابر خوردگی از تیوب‌ها، مخصوصاً تیوب‌های سوپرهیترها در برابر خوردگی و فرسایش استفاده می‌کنند.

یکی از روش‌های موثر حفاظت در برابر خوردگی استفاده از روکش پوششی آلیاژی ۶۲۵ (سوپر آلیاژ پایه نیکلی مقاوم به حرارت و خزش و خوردگی) بود. در مجموع حدود ۲۱۰۰۰ پوند فلز روکش جوش آلیاژی ۶۲۵ روی این بویلر اعمال شد. بین سال‌های ۱۹۸۹ و ۱۹۹۰، در مجموع حدود ۲۶۰۰۰۰ پوند فلز روکش جوش ۶۲۵ روی تیوب ۲۹ بویلر اعمال شد. بخش مشخص شده است که روکش آلیاژی ۶۲۵ کاهش چشمگیری خوردگی فلزات در مناطقی که فولادهای کربنی یا کم آلیاژی با نرخ هدر رفت غیرقابل قبولی مواجه شده‌اند را فراهم می‌کند. تیوب‌های بویلر بخار RDF تقریباً به طور کامل با پوشش جوش آلیاژ ۶۲۵ پوشش‌دهی شده‌اند. در بسیاری از سایت‌ها، آلیاژ ۶۲۵ به عنوان روکش لوله بیرونی برای محافظت در برابر خوردگی سوپرهیترها (با دمای فلز بالاتر) در نظر گرفته شده ثابت کرده است که کاهش قابل توجهی در نرخ هدر رفتن لوله (کاهش ضخامت) در مقایسه با فولادهای کربنی و کم آلیاژ ایجاد می‌کند. عملکرد عالی برای لوله‌های سوپرهیتر روکش آلیاژی ۶۲۵ در بویلر بخار در اروپا نیز مشاهده شده است، با این حال همانطور که در شکل ۱۲/۵ در برخی از سایت‌ها، روکش آلیاژ ۶۲۵ در سوپرهیترها با نرخ هدر رفت بالایی مواجه هستند که در شکل ۱۲/۶ می‌توان مشاهده کرد.



Fig. 12.4 Carbon steel waterwall suffering blown tubes due to high wastage rates resulting in significant tube-wall thinning after 8 months of service in a WTE boiler. Courtesy of Welding Services Inc.

Table 12.1 Examples of flue gas compositions generated by different WTE mass-burning boilers

Gas	Composition, vol%			
	Ogden-Martin (US)(a)	Saint Ouen (France)(b)	Richtlinien (Germany)(c)	Kurita (Japan)(d)
O ₂	8.5-9.5	9-10	NR	9.1
CO ₂	8-9	9-12	NR	11.1
SO ₂	100-200 ppm	90-130 ppm	100-2000 ppm	40 ppm
HCl	400-600 ppm	600-1200 ppm	560-2240 ppm	810 ppm
HF	5-20 ppm	20-40 ppm	---	---
CO	---	<20 ppm	64-640 ppm	42 ppm
H ₂ O	13-15	NR	NR	21.4
N ₂	bal	bal	NR	bal

NR, not reported. (a) Source: Ref 7. (b) Source: Ref11. (c) Source: Ref12. (d) Source: Ref13

با این حال، بخار کلریدهای فلزی و سولفات‌ها نیز در طی احتراق تولید می‌شود. بسیاری از این کلریدهای فلزی دارای فشار بخار بالا و یا نقطه ذوب پایینی هستند. برخی از این کلریدهای فلزی در درجه اول مسئول خوردگی مواد بویلر هستند. عملکرد این بویلرهای زباله سوز مانند بویلرهای HRSG^f بخار حاصل از درام بخار پس از جدا شدن از آب، سپس در سوپرهیترها (معمولاً دو سوپرهیتر اولیه و ثانویه یا نهایی) تا دمای بالاتر در مسیر همرفت قبل از تحویل به توربین‌ها بخار برای تولید برق، گرم می‌شود.

شکل ۱۲/۱ شماتیک یک واحد انبوه سوز را نشان می‌دهد. برای برخی از واحدهای انبوه‌سوز، لوله‌های صفحه‌ای در جلوی سوپرهیتر نصب می‌شود تا دمای گاز دودکش ورودی به بخش سوپرهیتر کاهش یابد. در برخی دیگر از واحدهای انبوه‌سوز، گذرگاه‌های گاز اضافی یک یا چند دیوار اضافی برای عبور گاز در مسیر همرفت وجود دارد تا جریان گاز قبل از ورود به بخش سوپرهیتر، دمای خود را کاهش دهد در نتیجه خوردگی کاهش می‌یابد. این نوع طراحی به صورت شماتیک در شکل ۱۲/۲ عبور گاز از دو پیچ ۱۸۰ درجه و یک دور ۹۰ درجه قبل از ورود به مبدل‌های سوپرهیترها نه تنها می‌تواند دمای گاز را کاهش دهد بلکه ذرات اضافی را از میسر جریان حذف می‌کند. ۱۲/۳ شماتیک یک واحد ا (RDF) را نشان می‌دهد. علاوه بر آن، جریان گاز می‌تواند به اختلاط بهتری دست یابد (گرادیان دمایی).

مشکلات خوردگی تیوب‌های بویلر زباله‌سوز

خوردگی تیوب‌های بویلر زباله‌سوز و نرخ بالای هدر رفت مواد در نیروگاه‌های زباله‌سوز در سراسر جهان مشاهده می‌شود. برای درک بهتر این مشکل، چند نمونه از بویلرها مورد بررسی قرار می‌گیرند:

کارخانه Issy در پاریس: یک بویلر با دمای ۴۱۰ CO پس از تنها ۵۰۰۰ ساعت کارکرد، دچار خرابی تیوب‌ها و سایر قطعات شد. علاوه بر این، خوردگی شدید در قسمت سوپرهیتر بویلر نیز مشاهده شد.

مانهایم، آلمان: بویلر این نیروگاه با دمای ۵۲۵ CO، تیوب‌های خود را تنها پس از ۳۰۰۰ ساعت و تیوب‌های سوپرهیتر را پس از ۲۰۰۰ ساعت کارکرد دچار خوردگی شدید کرد.

نشویل، TN: ایالات متحده: اولین بویلر بخار WTE (زباله به انرژی) در این کشور با دمای ۳۲۰ CO، در اولین سال بهره‌برداری دچار خرابی تیوب‌ها، به ویژه در قسمت سوپرهیتر شد.

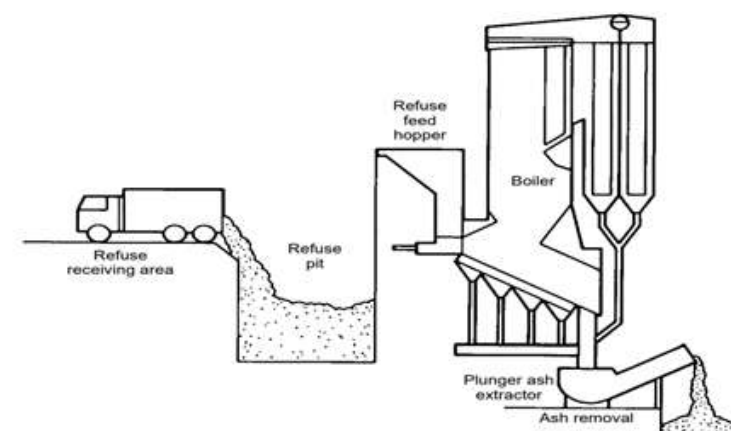


Fig. 12.1 Mass-burning unit, with a grate where the fuel burns and the superheater right above the arch (or bull nose) in the upper furnace, followed by a boiler bank and an economizer in the convection pass downstream of the superheater. Source: Ref 3

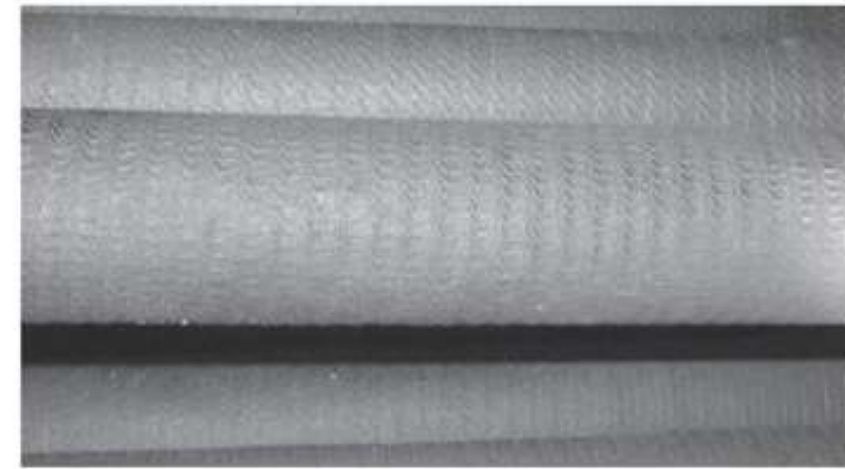


Fig. 12.5 Alloy 625 overlay superheater tubes (on 15Mo3 steel substrate) after 4.5 years of service in a superheater producing 405 °C (760 °F) at 42 bar (609 psi) superheated steam, showing no evidence of corrosion or erosion/corrosion. Source: Ref 24

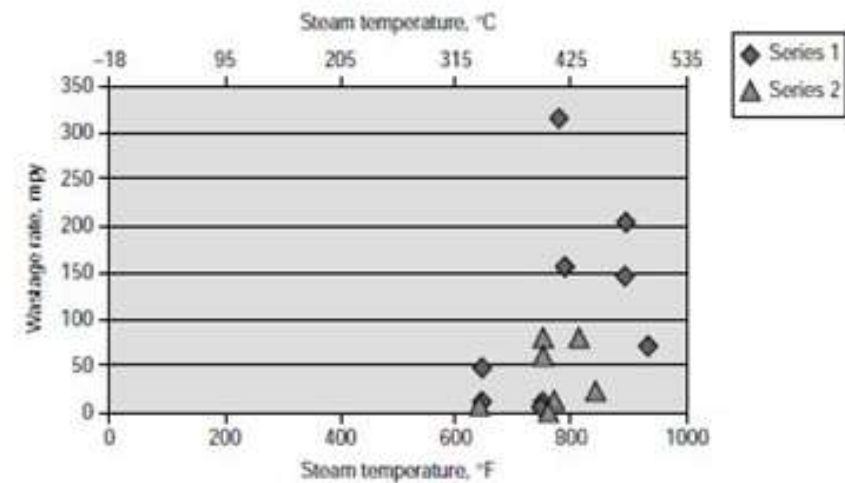


Fig. 12.6 Wastage rates as a function of steam temperature for alloy 625 cladding in weld overlay tubes and constricted tubes tested as part of superheater tube bundles at various WTE boilers. Source: Ref 10, 22

مکانیسم‌های خوردگی سوپرهیترهای ساخته شده از فولاد کربنی یا فولادهای کم آلیاژ، در بسیاری از بویلرها بخار تنها پس از هزاران ساعت کارکرد، خوردگی شدید لوله را تجربه کردند. همانطور که در بخش قبلی بررسی شد، خوردگی نتیجه قرار گرفتن در معرض محصولات احتراق تولید شده در طی احتراق MSW بود. اجزای گازی معمولی که در طی احتراق تولید می‌شوند عبارتند از O_2 ، CO_2 ، SO_2 ، H_2O و HCl با HF . در بین این اجزای گازی، HCl خورنده‌ترین گاز اسیدی محسوب می‌شود. به طور کلی، سطح HF ، در صورت وجود، به طور قابل توجهی کمتر از HCl است. بنابراین HF نقش مهمی در خوردگی لوله‌های بویلر ندارد. فولادهای کربنی و کم آلیاژ بسیار مستعد خوردگی توسط HCl در دماهای بالا هستند. سطح HCl تولید شده در احتراق سوخت MSW معمولاً در محدوده ۱۰۰ تا ۲۰۰۰ ppm است. دمای تیوب‌های فلزی، اگرچه به فشار بویلر همراه با عوامل دیگر بستگی دارد، اما عموماً در محدوده ۲۶۰ تا ۳۱۵ °C است. دمای فلزی تیوب سوپرهیتر به طور کلی در محدوده ۳۷۰ تا ۵۴۰ °C می‌باشد.

بررسی نقش کلر در بروز و تشدید خوردگی در جداره خارجی تیوب های بویلرهای زباله سوز صنعتی:

طی بررسی که تا به حال به عمل آمده در پاسخ به نقش HCl در بروز و تشدید پدیده خوردگی تحقیقات ذیل به انجام رسیده است.

شبیه‌سازی آزمایشگاهی در محیط‌های معین انجام شده مطابق مرجع ۱ و ۲ و ۱۸ که آزمایش‌های گسترده‌ای را در محیط‌های گاز محفظه احتراق شبیه‌سازی شده با HCl با غلظت‌های متفاوت از ۵۰۰ ppm تا ۱۰٪ و دما از ۴۲۵ تا ۵۹۰ °C انجام شده است.

نرخ خوردگی برای فولادهای زنگ نزن آستنیتی و آلیاژهای پایه نیکل در دمای تا ۵۹۰ °C در محیط گاز حاوی ۵۰۰ ppm HCl بسیار کم است، جدول ۱۲/۲. حتی برای محیطی که حاوی ۴٪ HCl است، آلیاژهای پایه نیکل (آلیاژهای ۸۲۵، ۶۰۰ و ۶۲۵) همچنان نرخ خوردگی پایینی را نشان می‌دهند. با این حال، فولادهای زنگ نزن آستنیتی نرخ خوردگی بالایی را نشان دادند. لازم به ذکر است سطح ۴٪ HCl بیش از یک مرتبه بزرگتر از آن چیزی است که در یک محیط احتراق زباله سوز انتظار می‌رود و دمای ۵۹۰ °C بسیار بالاتر از دمای فلز سوپرهیتر بود.

Table 12.2 Corrosion rates in terms of metal loss for iron- and nickel-base alloys at indicated temperatures for 1008 h in N_2 -10 O_2 -50ppm SO_2 -500ppm HCl

Alloy	Metal loss					
	at 425 °C (800 °F)		at 480 °C (900 °F)		at 590 °C (1100 °F)	
	$\mu m/yr$	mpy	$\mu m/yr$	mpy	$\mu m/yr$	mpy
Type 316	0.07	0.003	2.54	0.1	5.08	0.2
Type 347	0.09	0.004	2.29	0.09	7.11	0.28
Alloy 800HT	0.07	0.003	1.02	0.04	5.33	0.21
Alloy 825	0.02	0.0008	1.27	0.05	2.54	0.1
Alloy 600	0.04	0.002	2.03	0.08	3.05	0.12
Alloy 625	0.02	0.0008	1.78	0.07	2.79	0.11

1.0 μm = 0.001 mm = 0.0194 mil. Source: Ref 27

Table 12.3 Corrosion rates in terms of metal loss for iron- and nickel-base alloys at 590 °C (1100 °F) for 72 h in N_2 -9 O_2 -12 CO_2 -100ppm SO_2 -4 and 10 HCl

Alloy	Metal loss			
	4% HCl		10% HCl	
	$\mu m/yr$	mpy	$\mu m/yr$	mpy
Type 316	914.4	35.7	---	---
Type 347	1244.6	48.5	---	---
Alloy 800HT	73.66	2.9	---	---
Alloy 825	20.32	0.8	1066	42.0
Alloy 600	25.4	1.0	1219	47.5
Alloy 625	15.75	0.6	1549	60.4

1.0 μm = 0.001 mm = 0.0194 mil. Source: Ref 27

با توجه به جدول ۱۲/۳ و ۱۲/۲ می‌توان نتیجه گرفت اسیدهای موجود بروی قطعات اصلی تاثیرگذار نمی‌باشند (نرخ هدر رفت مواد معمولی می‌باشد) بلکه به بروی برخی از قطعات با آلیاژی فولادی سری ۳۰۰ موثر می‌باشد. این امر به دلیل وجود Cl در اسید HCl می‌باشد. بویلر بخار فعلی WTE با این وجود، آلیاژ ۶۲۵ به عنوان یک روکش جوش مشاهده شد که در برخی از بویلرهای زباله‌سوز دچار اتلاف بیش از ۱۳ میلیمتر در سال می‌شود (شکل ۱۲/۶). تاثیر مستقیم عنصر کلر در متریال استینلس استیل سری ۳۰۰ مشهود بوده است)

جدول ۱۲/۳ نرخ خوردگی بسیار بالاتری را در یک محیط اکسیدکننده نشان می‌دهد. با این حال، تست بسیار بالاتر از دمای کارکردی فلز سوپرهیتر بود. نتایج آزمایش آنها در جدول ۱۲/۵ خلاصه شده است. جدول ۱۲/۳ نشان می‌دهد که آلیاژهای ۶۲۵ از نرخ خوردگی حدود ۱/۵۳ میلیمتر در سال مشاهده گردید است زمانی که HCl در محیط به ۱۰٪ افزایش یافت. داده‌های اضافی برای آلیاژهای پایه نیکل در جدول ۱۲/۴ نشان داده شده است.

با توجه به سوال مطرح شده در ابتدا این بخش به طور کلی تصور اولیه مبتنی بر این تفکر بود که کلر موجود در سوخت یکی از عوامل مهم مشکلات خوردگی‌های بویلرها بخار است. ولی در ادامه این موضوع اثبات گردید که، خوردگی مستقیم HCl ، یک جزء گازی که هنگام احتراق کلر در سوخت در بویلر ایجاد می‌شود، احتمالاً مسئول اصلی خوردگی لوله بویلر بخار نیست.

مواد تشکیل دهنده سوخت این بویلرهای حاوی برخی از فلزات سنگین مانند سرب Pb، روی Zn، کادمیوم Cd، آرسنیک As و قلع Sb، همراه با فلزات قلیایی مانند Na، K که در MSW وجود دارند می‌توانند با کلر واکنش داده و کلریدهای مختلفی را تشکیل دهند که نقطه ذوب بسیار پایینی دارند. از نظر بسیاری از متخصصان و محققین حمله خوردگی توسط کلریدها (که عمدتاً دارای نقطه ذوب پایین نیز هستند) یک عامل اصلی خوردگی برای لوله‌های بویلر بخار در WTE است.

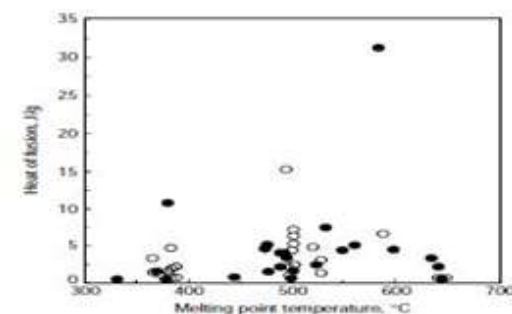


Fig. 12.8 Melting point temperatures versus the heat of fusion for the deposits collected at the corrosion probes (with the probe metal temperature of about 550 °C, or 1020 °F) in three commercial WTE boilers. The open data points are from the outer portion of the deposit, and the solid data points are from the inner portion of the deposit. Source: Ref. 32.

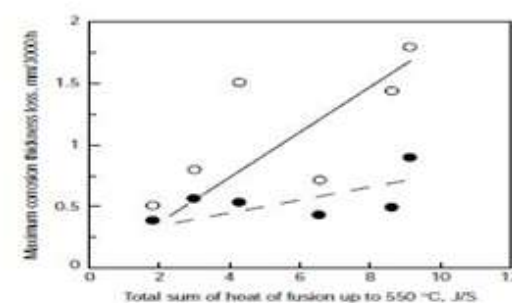


Fig. 12.9 Maximum thickness loss of corrosion probes exposed at metal temperature 550 °C (1020 °F) for 3000 h in WTE boilers as a function of the sum of heat of fusion (corresponding to the amount of fused salt) of the deposits. The open data points are Type 347H1, and the solid data points are alloy 625. Source: Ref. 32.

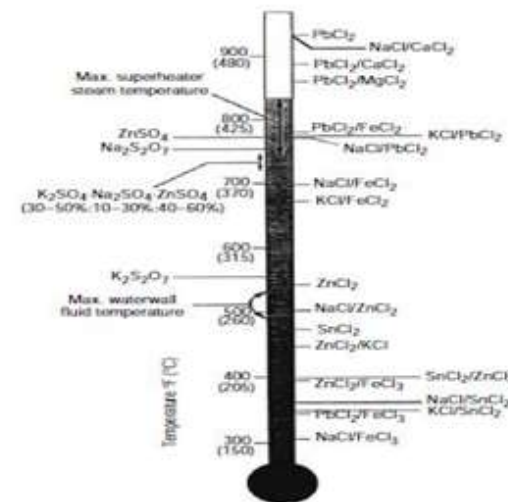


Fig. 12.10 Melting temperatures of various salts that are likely to form in WTE boilers. The temperatures of waterwall saturated fluid and superheated steam are also indicated for comparison. Source: Ref. 30.

Table 12.3 Corrosion rates in terms of metal loss for iron- and nickel-base alloys at 590 °C (1100 °F) for 72 h in N₂-9O₂-12CO₂-100ppmSO₂-4 and 10HCl

Alloy	Metal loss			
	4% HCl		10% HCl	
	μm/yr	mpy	μm/yr	mpy
Type 316	914.4	35.7	...	...
Type 347	1244.6	48.5	...	...
Alloy 800HT	73.66	2.9	...	...
Alloy 825	20.32	0.8	1066	42.0
Alloy 600	25.4	1.0	1219	47.5
Alloy 625	15.75	0.6	1549	60.4

1.0 μm = 0.001 mm = 0.0394 mil. Source: Ref.27

Table 12.4 Corrosion rates in terms of metal loss for iron- and nickel-base alloys at 590 °C (1100 °F) for 72 h in N₂-9O₂-12CO₂-100ppmSO₂-4HCl with 0% and 10% H₂O

Alloy	0% H ₂ O		10% H ₂ O	
	μm/yr	mpy	μm/yr	mpy
Type 316	91.44	3.57	1.85	0.07
Alloy 825	20.32	0.8	3.81	0.15
Alloy 600	25.4	1.0	8.85	0.35
Alloy 625	15.75	0.6	No measurable corrosion	

1.0 μm = 0.001 mm = 0.0394 mil. Source: Ref.27

Table 12.5 Corrosion of nickel-base alloys in terms of metal loss after 500 h at 600 °C (1110 °F) in the indicated test environments

Environment	Metal loss, μm (mil)			
	C-276	600	681	214
Ar-SHCl	35 (1.4)	50 (2.0)	90 (3.5)	30 (1.2)
Ar-SHCl-10O ₂	120 (4.7)	140 (5.5)	160 (6.3)	55 (2.2)

Source: Ref. 28

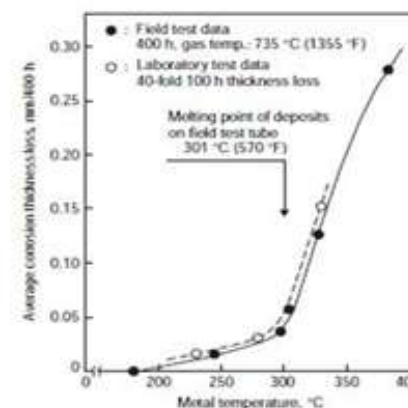


Fig. 12.7 Corrosion in terms of thickness loss for carbon steel (SA178) as a function of the metal temperature in field exposure tests. Also superimposed are data generated from laboratory tests. Source: Ref. 31.

دمایی که در آن فولاد کربنی تاثیر شدید خوردگی قرار می‌گیرد با نقطه ذوب رسوبات موجود در تیوب بویلر مطابقت دارد. داده‌ها به شدت نشان می‌دهد که حمله خوردگی تسریع شده در محیط احتراق بویلر ۳ WTE به دلیل تشکیل فازهای مذاب در رسوبات تیوب ایجاد شده است.

تجزیه و تحلیل گسترده‌ای را بر روی رسوبات نمک جمع‌آوری شده از سه بویلر بخار ۳ WTE تجاری انجام شده. در مجموع ۲۳ رسوب نمک از سه بویلر با استفاده از پروب‌های خوردگی در دمای ۵۵۰ °C (دمای فلز کاوشگر) به ترتیب برای قرار گرفتن در معرض ۷۰۰ و ۳۰۰۰ ساعت جمع‌آوری شد. هر رسوب جمع‌آوری شده برای گرمای همجوشی و نقطه ذوب با اندازه‌گیری سنج اسکن تفاضلی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نقطه ذوب را از حدود ۳۳۰ تا ۶۵۰ °C نشان می‌دهد، شکل ۱۲/۸. این شکل همچنین نشان می‌دهد که مقادیر بیشتری از رسوبات نمک در حدود ۳۸۰ و ۵۰۰ °C ذوب می‌شوند. شکل ۱۲/۹ تست خوردگی برای نوع ۳۴۷ و آلیاژ ۶۲۵ می‌دهد که با افزایش مقدار نمک ذوب شده در رسوب، حمله خوردگی افزایش می‌یابد. نمک‌های موجود در رسوبات عمدتاً کلریدها و سولفات‌ها هستند که رسوبات کلریدها نقطه ذوب بسیار پایینتری نسبت به سولفات‌ها نشان می‌دهند.

در شرایط عملیاتی بویلرهای ۳WTE، بسیاری از کلریدهای فلزی بر روی دیواره تیوب‌های سوپرهیتر بصورت مذاب در می‌آیند. (شکل ۱۲/۱۰)

کلریدی که روی رسوب تشکیل می‌شود و همچنین نوع محصولات خوردگی که بین رسوب کلرید و فلز تیوب زیرین تشکیل می‌شود، می‌تواند به طور قابل توجهی بر حمله خوردگی تأثیر بگذارد. به عنوان مثال، برخی از نمک‌های کلرید یوتکتیک شامل FeCl₃ می‌توانند در دمای ۱۵۰ تا ۲۰۵ °C مذاب شوند که در شکل ۱۲/۱۰ نشان داده شده است. در دماهای بالاتر فلز، برخی از نمک‌های کلرید فشار بخار بالایی از خود نشان می‌دهند (نقطه ذوب پایین). شکل ۱۲/۱۱ فشار بخار برخی از نمک‌های فلزات قلیایی NaOH، KCl، NaCl، KOH و NaOH و NaOH را نشان می‌دهد. Pb و Na، Zn از جمله عناصری هستند که اغلب در رسوبات تیوب‌ها شناسایی می‌شوند. بسیاری از نمک‌های با نقطه ذوب پایین، به ویژه کلریدهای فلزی وجود دارند که می‌توانند در دمای کار کوره و سوپرهیترها مذاب شوند.

هر دو KCl و NaCl در دماهای بسیار بالاتری خواهند بود بنابراین، هر دو KCl و NaCl به احتمال زیاد در خوردگی نمک مذاب دخیل هستند نه خوردگی فاز بخار. اثر ZnCl₂ بر خوردگی چندین آلیاژ پایه آهن و نیکل را با استفاده از آزمایش با آرایش کوره

سه ناحیه ای بررسی شد. مطابق منبع ۱۶، ۱۲، ۳۳، نتایج آزمایش آنها در جدول ۱۲/۶ خلاصه شده است. دمای آزمایش ۵۱۰ °C به برخی از سوپرهیترها با دمای بخار در حدود ۴۵۵ تا ۴۸۰ °C بسیار نزدیک است. در برخی از بویلرها بسیار تهاجمی، همانطور که در شکل ۱۲/۶ نشان داده شده است.

بنابراین اعتقاد بر این است که خوردگی شدید لوله‌های سوپرهیتر روکش آلیاژ ۶۲۵ به احتمال زیاد به دلیل ZnCl₂ مذاب و یا PbCl₂ مذاب بوده است. تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس مقیاس و محصولات خوردگی روی آلیاژهای C-۲۲، ۶۲۵، ۳۰-G، ۸۲۵، HR-۱۲۰ و Type ۳۱۰ انجام شد، که عمدتاً Cr₂O₃ و NiCr₂O₄ و NiSO₄ را برای همه آلیاژها شناسایی شده است. برای C-۲۲، ۶۲۵، ۸۲۵، و نوع ۳۱۰ از تجزیه و تحلیل نمونه‌های تیوب به شدت خورده شده به دست آمده از بویلرهای در حین سرویس، آموخته شد که کلر، روی، سرب، کادمیوم، سدیم، پتاسیم، و S، به همراه عناصر آلیاژی اصلی لوله (به عنوان مثال، اگر لوله فولادی باشد، یا کروم و نیکل اگر آلیاژ ۶۲۵ روکش) اغلب در محصولات خوردگی نفوذی تشخیص داده شد گزارش شده اند که رسوبات حاوی ۱۰ تا ۳۰ درصد کلرید، ۳۳ تا ۴۷ درصد سرب، ۳ تا ۱۳ درصد روی، ۳ تا ۱۴ درصد سدیم و ۲ تا ۱۱ درصد پتاسیم است.

Table 12.6 Corrosion rates after testing for 190 h in N₂-3.6O₂-14CO₂-0.25SO₂ containing ZnCl₂ vapor, which condensed onto the test specimens as molten ZnCl₂ at a rate of 0.07 mg/cm² h

Material	Corrosion rate, mm/yr (mpy)	
	540 °C (1000 °F) front row	510 °C (950 °F) back row
C-2000	1.83 (72)	...
625	3.07 (121)	2.97 (117)
C-22	2.9 (114)	2.11 (83)
214	1.42 (56)	2.18 (86)
230	4.24 (167)	2.87 (113)
G-30	...	4.17 (164), 4.42 (174)
825	4.72 (186)	3.15 (124)
HR-160	2.18 (86)	3.45 (136)
HR-120	8.94 (352)	5.26 (207)
556	7.11 (280)	3.63 (143)
Type 310	7.77 (306)	...

Source: Ref. 33

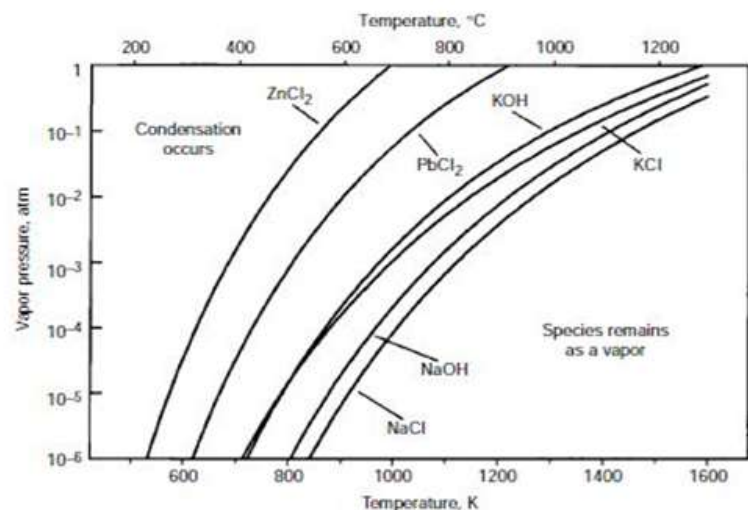


Fig. 12.11 Vapor pressures of some alkali and heavy metal salts as a function of temperatures. Source: Ref. 26

همچنین قابل توجه است که سرب، روی و کرب به همراه کروم، نیکل و Mo (عناصر آلیاژی اصلی از پوشش جوش) در قسمت جلوی خوردگی شناسایی شد، همانطور که در مکان های شماره ۱۰ و ۱۲ در شکل ۱۲/۱۴ نشان داده شده است که هم مورفولوژی و هم جبهه خوردگی که حاوی فلزات سنگین مانند روی و یا سرب است، همانطور که در دو مورد بالا مشاهده شد، نشان می‌دهد که مکانیسم خوردگی توسط نمک‌های کلرید مذاب در حال حرکت است. در برخی موارد، مورفولوژی خوردگی برای پوشش جوشی یک آلیاژ Ni-Cr-Mo شامل هدر رفت فلز عمومی و به دنبال آن نفوذ خوردگی داخلی در امتداد دندریته‌های لایه رویی جوش است. این حمله خوردگی دندریته داخلی (یا نفوذ) به نحوی شبیه حمله اکسیداسیون داخلی یا حمله اکسیداسیون بین دانه‌ای است که به دنبال اکسیداسیون عمومی (یا هدر رفتن فلز در اثر اکسیداسیون) برای آلیاژهای انجام می‌شود. به طور مشابه، حمله خوردگی داخلی (یا حمله خوردگی بین دانه ای) نیز در آلیاژهای تحت حمله کلریداسیون گازی رخ می‌دهد.

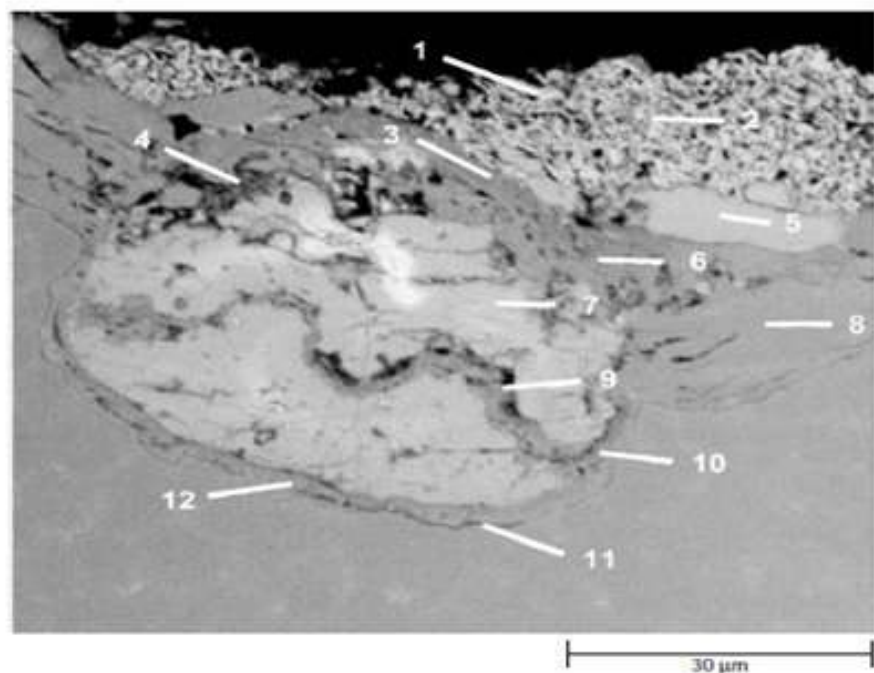


Fig. 12.14 Scanning electron micrograph (backscattered electron image) showing a localized corrosion pit on alloy 625 overlay of a superheater tube. SEM examination using energy-dispersive x-ray (EDX) spectroscopy showed the chemical compositions (wt%) at different phases, marked as No. 1 through No. 12. The chemical compositions (wt%) at different phases are:

1: 68% Pb, 11% Mo, 6% Cr, 3% Fe, 3% Ni, 4% S, 3% Cl, and trace elements	5: 52% Pb, 11% K, 13% S, 7% Cl, 6% Mo, 4% Na, 4% Cr, 2% Ni, and trace elements
2: 63% Pb, 9% S, 6% Cl, 7% Cr, 5% Mo, 2% Fe, 3% Ni, 2% Na, and trace elements	6: 34% Ni, 23% Cr, 3% Fe, 21% Pb, 7% Zn, 6% Mo, 2% Cl, and trace elements
3: 31% Cr, 24% Ni, 2% Fe, 27% Pb, 6% Zn, 5% S, 1% Cl, and trace elements	7: 49% Pb, 12% K, 3% Na, 13% S, 7% Cl, 5% Cr, 6% Mo, 3% Ni, and trace elements
4: 32% Pb, 14% Cr, 8% Ni, 5% Fe, 10% Mo, 7% Zn, 9% Cl, 5% K, 3% Na, 3% S, and trace elements	8: 30% Cr, 28% Pb, 13% Ni, 11% Zn, 7% Mo, 6% Cl, 2% K, and trace elements
9: 26% Pb, 22% Ni, 16% Cr, 11% Zn, 7% Cl, 5% Mo, 7% Na, 3% Fe, and trace elements	10: 27% Pb, 19% Cr, 14% Ni, 13% Zn, 9% Mo, 5% Cl, 4% Na, 2% K, and trace elements
11: 54% Ni, 24% Cr, 6% Pb, 5% S, 6% Fe, and trace elements	12: 27% Cr, 19% Ni, 19% Pb, 15% Zn, 9% Mo, 5% Cl, 2% K, 2% Fe, and trace elements

شکل ۱۲/۱۵، هدر رفت مواد عمومی را نشان می‌دهد که به دنبال آن نفوذ خوردگی دندریته داخلی در پوشش برای لوله سوپرهیتر روکش آلیاژی ۶۲۲ پس از ۲۲۵ روز قرار گرفتن در معرض قرار گرفته است. این روکش جوشی همچنان در شرایط عالی بود، همانطور که در شکل ۱۲/۱۶ نشان داده شده است، که کل سطح مقطع این روکش آلیاژی ۶۲۲ را نشان می‌دهد.

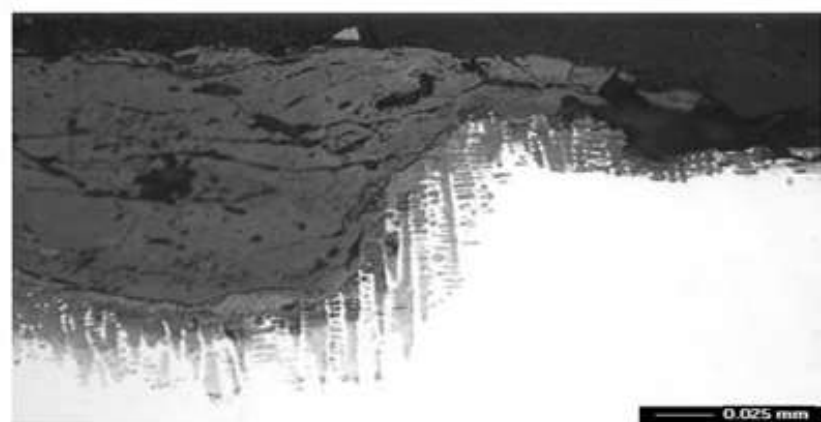


Fig. 12.15 Internal dendritic corrosion attack that followed general wastage was observed in the overlay of an alloy 622 weld overlay in an alloy 622 overlay superheater tube. Lower-magnification micrograph showing the through-thickness overlay is shown in Fig. 12.14(a) and general surface corrosion morphology is shown in Fig. 12.14(b).

یک نمونه لوله با آلیاژ ۱۶/۷-Ni لوله‌های سوپرهیتر از بویلرهای در حال کار بررسی شد. این در شکل ۱۲/۱۲ برای یک لوله سوپرهیتر فولاد کربنی که دچار حمله خوردگی شدید شده است نشان داده شده است. دما بخار سوپرهیتر به ترتیب ۴۰۰ °C گزارش شده است. که لوله از ۵/۶ میلیمتر اولیه به حدود ۱/۰۲ میلیمتر پس از ۱۱ ماه سرویس کاهش یافته است، با نرخ هدر رفتن تقریباً ۵ میلیمتر در سال می‌باشد. شکل ۱۲/۱۲ رسوب و محصولات خوردگی را نشان می‌دهد. جبهه خوردگی (موقعیت شماره ۵، ۶، و ۷ در شکل ۱۲/۱۲) حاوی کلر، روی، کادمیوم، سدیم، S و آهن است. اعتقاد بر این است که این ترکیبات حاوی کلریدهای آهن با روی، کادمیوم و سدیم هستند. ترکیب رسوبات و محصولات خوردگی می‌تواند به طور قابل توجهی از نیروگاهی به نیروگاهی دیگر متفاوت باشد. این در بویلر بخار دیگری که در شکل ۱۲/۱۳ و ۱۲/۱۴ توضیح داده شده است.

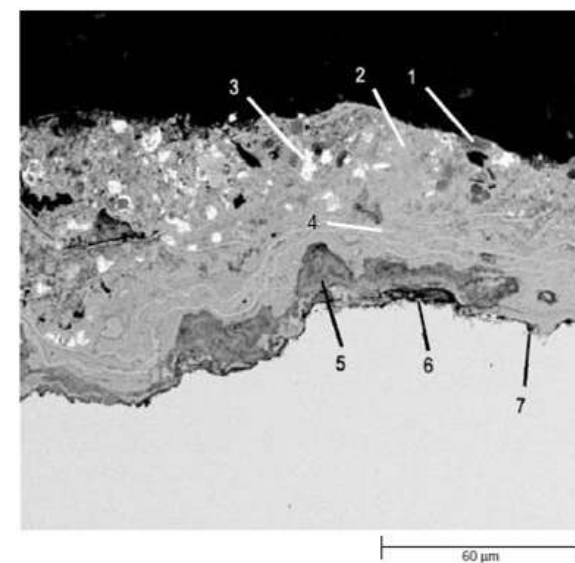


Fig. 12.12 Scanning electron micrograph (backscattered electron image) showing the deposits and corrosion scales formed on a carbon steel (SA178A) superheater tube suffering severe tube-wall wastage. Chemical compositions at different locations were analyzed by energy-dispersive x-ray spectroscopy (EDX) analysis (trace elements not reported here):

1: 31% Ca, 29% Si, 14% Mg, 15% Fe, 9% S, and 2% Zn	5: 72% Fe, 6% Cl, 7% Zn, 4% S, 4% Na, and 2% K
2: 63% Fe, 16% Cl, 9% Zn, 4% Pb, and 2% S	6: 88% Fe, 2% Cl, 2% Zn, 2% Cd, and 1% Na
3: 20% Fe, 13% Cl, 3% Zn, 41% Pb, 11% S, 4% Na, 3% K, and 2% Ca	7: 76% Fe, 8% Cl, 5% Zn, 2% Cd, 2% Na, and 2% S
4: 67% Fe, 12% Cl, 7% Zn, 4% S, and 6% Na	

شکل ۱۲/۱۳ a سطح مقطع کامل روکش جوش را با ضربه خفیف حفره ای سطحی نشان می‌دهد و شکل ۱۲/۱۳b یکی از حفره‌های خوردگی را با بزرگنمایی بیشتر نشان می‌دهد. ترکیبات شیمیایی رسوبات و محصولات خوردگی که توسط SEM/EDX تجزیه و تحلیل شدند، در شکل ۱۲/۱۴ نشان داده شده است. مقادیر قابل توجهی سرب در سراسر رسوبات و محصولات خوردگی یافت شد.

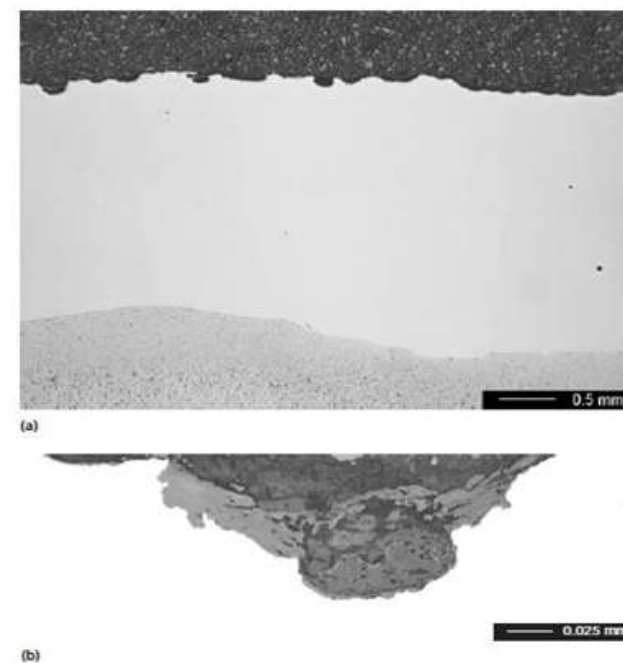


Fig. 12.13 (a) Optical micrograph showing slight pitting corrosion attack on alloy 625 overlay in an alloy 625 spiral overlay superheater tube after about 6.5 months of service. Micrograph (a) also shows the fusion boundary and substrate carbon steel. (b) Higher-magnification view of one of the corrosion pits. SIM/EDX analysis on the corrosion products in one of the surface pits is summarized in Fig. 12.14.

مواد دیرگزار

حفاظت در برابر خوردگی برای لوله‌ها در واحدهای انبوه‌سوز، قسمت پایینی به طور کلی توسط دیرگزارها به عنوان مثال، SiC محافظت می‌شود. دیرگزارها از در برابر آسیب مکانیکی ناشی از سایش اقلام بزرگ لغزنده روی incinerator و همچنین در برابر خوردگی ناشی از محصولات احتراق محافظت می‌کنند. زمان نصب و نگهداری نسبتاً طولانی و همچنین کاهش سطح جذب کننده گرما می‌تواند مشکلی برای پوشش‌های نسوز باشد.

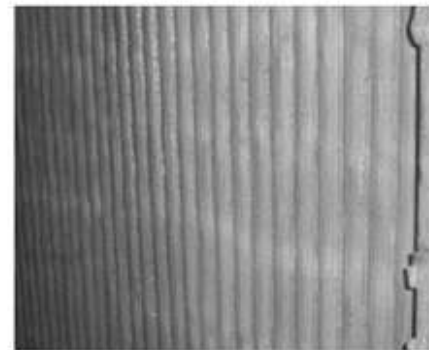


Fig. 12.18 General view of an overlaid waterwall with alloy 625 overlay in a WTE boiler. Courtesy of Welding Services Inc.



Fig. 12.19 Cross section of an overlaid waterwall tube showing alloy 625 overlay after 16 years of service in a RDF unit in Lawrence, MA. Courtesy of Welding Services Inc.



Fig. 12.20 Optical micrograph showing the cross section of the alloy 625 overlay of an overlaid waterwall sample (Fig. 12.19) obtained from a RDF boiler (Lawrence, MA) after 16 years of service. Micrograph also shows the fusion boundary and substrate carbon steel. Courtesy of Welding Services Inc.



Fig. 12.21 Close-up view of alloy 625 overlay on the waterwall of another RDF boiler after 10 years of service. Shown in the photograph are two tubes and a membrane. Courtesy of Welding Services Inc.



Fig. 12.22 Pitting attack is the common mode of corrosion of alloy 625 weld overlay on the waterwall. Shown in the photograph are three tubes and three membranes.

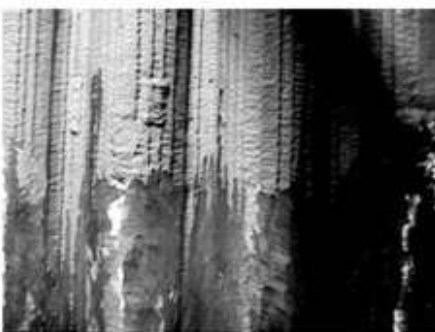


Fig. 12.23 Repair welding can be performed on the corroded waterwall overlay by grinding followed by overlay welding. An alloy 625 weld overlay on the waterwall after 10 years of service in a RDF unit. Shown in the photograph are two tubes and three membranes.

استفاده از کلدینگ

همانطور که در بخش‌های قبلی بحث شد استفاده از روکش‌های آلیاژ نیکلی یکی دیگر از روش‌های حفاظت خوردگی می‌باشد. به طور کلی، نرخ هدر رفتن پوشش آلیاژ ۶۲۵ در بویلرهای ایالات متحده بسیار کم بود، معمولاً و تقریباً ۱۲۵ میکرومتر در سال می‌باشد. دمای فلزی لوله بویلر بخار در محدوده ۲۶۰ تا ۳۱۵ °C برای اکثر بویلرهای ایالات متحده است. برای برخی از بویلرهای اروپایی که فشار آب/بخار بالاتری دارند، دمای فلز لوله ممکن است بالاتر باشد.

شکل ۱۲/۱۹ سطح مقطع نمونه لوله پوشانده شده از بویلر RDF در لارنس، MA را پس از ۱۶ سال نشان می‌دهد. شکل ۱۲/۱۸ نمای کلی یک سرویس را نشان می‌دهد.

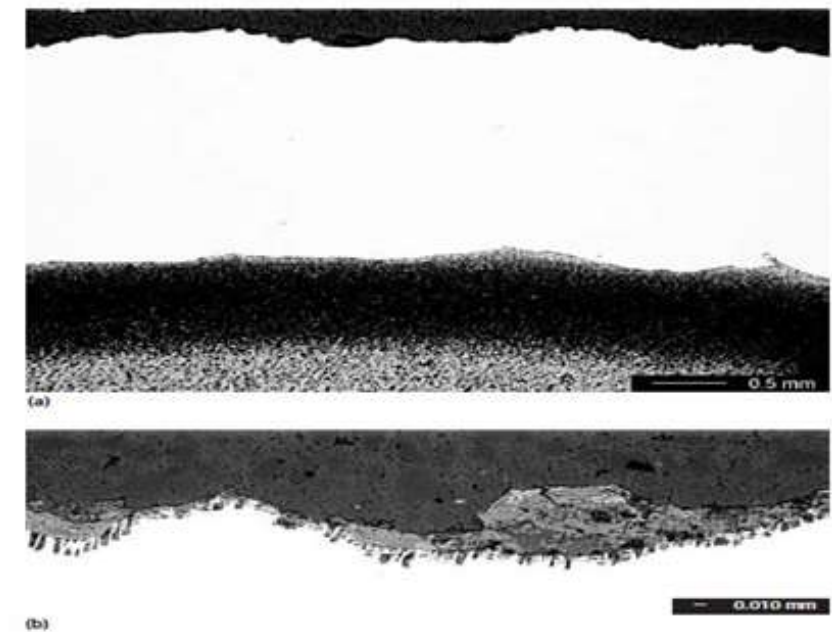


Fig. 12.16 Alloy 622 overlay superheater tube after 225 days of exposure in a boiler. (a) Cross section of the overlay showing slight pitting attack. Micrograph (a) also shows the fusion boundary and substrate carbon steel. (b) Higher-magnification micrograph showing surface corrosion morphology with general metal wastage and internal dendritic corrosion penetration.

اعتقاد بر این است که مورفولوژی این نفوذ خوردگی دندرتیک داخلی نتیجه واکنش‌های خوردگی گازی است، اما نه توسط مکانیزم جریان نمک مذاب در سطح. در همان آزمایش، یک تیوب روکش آلیاژی ۶۲۵ در شکل ۱۲/۱۵ و ۱۲/۱۶ بحث شده است پس از ۱۵۲ روز قرار گرفتن در مسیر گاز و سپس لوله برای بررسی متالورژیکی خارج شد. پوشش آلیاژ ۶۲۵ حمله فرورفتگی سطحی خفیفی را نشان داد (شبه به روکش آلیاژ ۶۲۲)، اما هیچ حمله خوردگی دندرتیک داخلی نداشته، همانطور که در شکل ۱۲/۱۷ نشان داده شده است.

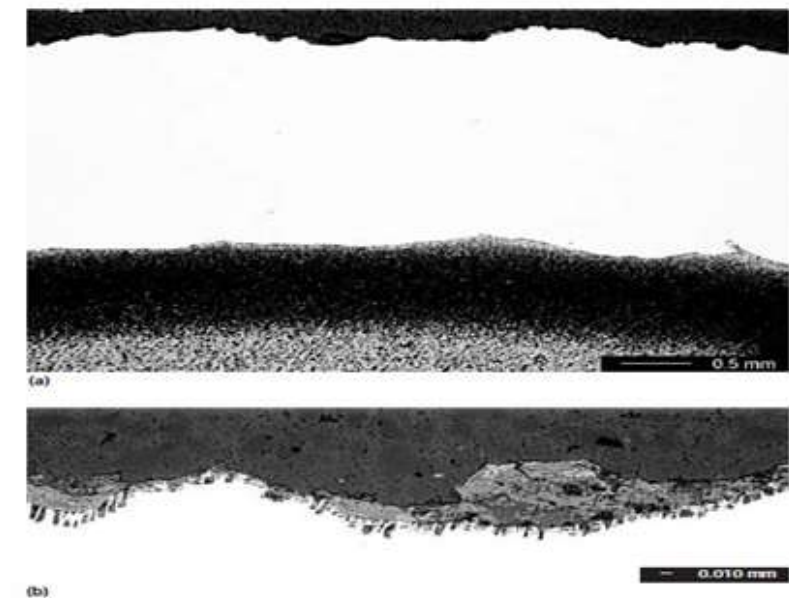


Fig. 12.16 Alloy 622 overlay superheater tube after 225 days of exposure in a boiler. (a) Cross section of the overlay showing slight pitting attack. Micrograph (a) also shows the fusion boundary and substrate carbon steel. (b) Higher-magnification micrograph showing surface corrosion morphology with general metal wastage and internal dendritic corrosion penetration.

در بویلر بخار دیگری که در آن لوله سوپرهیتر روکش آلیاژی ۶۲۵ مورد حمله خوردگی شدید قرار گرفت، روکش تنها هدر رفت فلز عمومی را بدون حمله خوردگی دندرتیک داخلی نشان داد. روکش جوش آلیاژ ۶۲۲ که روی لوله (اولین گذر) در بویلر WTE کارخانه هادرسلف در دانمارک اعمال شد، نفوذ خوردگی دندرتیک داخلی را پس از نشان داد، در حالی که پوشش جوش آلیاژ ۶۲۵ در یک مکان مشابه آزمایش شده در همان دوره زمانی، هیچ نفوذ خوردگی دندرتیک داخلی پس از ۸۰۰۰ ساعت قرار گرفتن را نشان نداد. فازهای خوردگی دندرتیک داخلی کلریدهای عمدتاً آهن، کروم و نیکل همراه با اکسیدهای مربوطه هستند. کلریدهای مذاب با اکسیدهایی (که روی فلز تشکیل می‌شوند) واکنش داده و کلر تولید می‌کنند، که سپس با فلز واکنش داده و کلریدهای فلزی را تشکیل می‌دهند. نفوذ خوردگی دندرتیک داخلی مشابه حمله خوردگی داخلی در آلیاژ یا حمله خوردگی مرز دانه‌ای داخلی در آلیاژ تحت خوردگی گازی با دمای بالا، مانند اکسیداسیون و کلریداسیون است.

در خوردگی گازی با دمای بالا، میزان حمله خوردگی داخلی می‌تواند از آلیاژی به آلیاژ دیگر متفاوت باشد. برخی از آلیاژها ممکن است حملات داخلی بیشتری نسبت به بقیه نشان دهند. با این حال، توجه به این نکته مهم است که آلیاژهایی با حمله اکسیداسیون داخلی کمتر لزوماً در برابر خوردگی مقاوم‌تر نیستند.

سطح مقطع روکش با شواهد کمی از حمله خوردگی. شکل ۱۲/۲۱ نمای نزدیک از تیوب پوشیده شده با آلیاژ ۶۲۵ را پس از حدود ۱۰ سال سرویس در بویلر RDF دیگر نشان می‌دهد. حالت متداول حمله خوردگی روی پوشش جوش آلیاژ ۶۲۵ روی لوله، حمله حفره‌ای است. این در شکل ۱۲/۲۲ نشان داده شده است. هنگامی که خوردگی یا حمله حفره‌ای گسترده می‌شود، این ناحیه قبل از انجام جوشکاری پوششی، همانطور که در شکل ۱۲/۲۳ نشان داده شده است، ترمیم کرد. یکی از مسائل عمده مربوط به ویژگی‌های ذاتی پوشش از نظر منافذ به هم پیوسته است که به مواد خورنده اجازه می‌دهد از طریق پوشش نفوذ کند و باعث حمله خوردگی در سطح مشترک پوشش/بستر شود و در نتیجه منجر به پوسته پوسته شدن شود.

حفاظت در برابر خوردگی سوپرهیتر

دمای فلز برای لوله‌های سوپرهیتر می‌تواند ۳۷۰ تا ۴۸۰ °C یا بالاتر باشد. همانطور که در شکل ۱۲/۱۰ نشان داده شده است، در این محدوده دما، نمک‌های کلرید بیشتری وجود خواهد داشت که مذاب می‌شوند. ممکن است منجر به غلظت بالاتر نمک‌های کلرید مذاب در رسوبات خاکستر تشکیل شده روی سطح لوله شود. وجود نمک‌های کلرید بیشتر منجر به حمله خوردگی بیشتر می‌شود (شکل ۱۲/۹).

در دماهای بالاتر، برخی از کلریدهای فلزات سنگین، مانند $PbCl_2$ و $ZnCl_2$ ، فشار بخار بالاتری را نشان می‌دهند، همانطور که در شکل ۱۲/۱۱ نشان داده شده است. این می‌تواند محیط را برای مواد لوله سوپرهیتر خورنده‌تر کند. همانطور که بحث شد، خرابی‌های زودرس لوله‌های سوپرهیتر ساخته شده از کربن یا فولادهای کم آلیاژ بسیار رایج بود. شکل ۱۲/۲۴ سطح مقطع لوله سوپرهیتر فولاد کربنی SA۱۷۸A را نشان می‌دهد که پس از ۱۱ ماه سرویس در یک واحد انبوه سوز برداشته شده است. دما بخار سوپرهیتر برای این بویلر ۴۰۰ °C بود. آزمایشات خوردگی را در یک واحد انبوه سوز در چارلستون ریسورس انجام شد. طیف وسیعی از آلیاژهای تجاری از جمله فولادهای کربنی و کم آلیاژ، فولادهای زنگ نزن آستنیتی، آلیاژهای Fe-Ni-Cr و آلیاژهای پایه نیکل مورد آزمایش قرار گرفتند. تست به مدت ۴۴۹۲ ساعت انجام شد. نتایج در شکل ۱۲/۲۵ خلاصه شده است. آلیاژ ۶۲۵ در تمام دماهای آزمایش بهترین بود.

فولادهای زنگ نزن آستنیتی و آلیاژهای Fe-Ni-Cr و برخی از آلیاژهای پایه نیکل به جز آلیاژ ۶۲۵ یک نوار پراکندگی بزرگ بین آلیاژهای ۶۲۵ و فولادهای فریتی تشکیل می‌دهند. در بررسی پروفیل‌های ضایعات سطح مقطع نمونه، برخی از آلیاژها حداکثر اتلاف را در موقعیت ۹۰ درجه نشان دادند، جایی که جریان گاز به آن برخورد کرد، در حالی که برخی دیگر حداکثر هدر رفت را در حدود ۴۵ درجه از هر طرف از موقعیت ۹۰ درجه نشان دادند.

در آزمایش میدانی دیگری که در یک واحد RDF در ایستگاه الک انجام شد که در نتیجه بهترین عملکرد مربوط به آلیاژ ۶۲۵ بود. نتایج در شکل ۱۲/۲۶ و ۱۲/۲۷ خلاصه شده است.

نرخ هدر رفت حدود ۲/۸ میلیمتر در سال برای فولاد کربنی و ۴۶٪ میلیمتر در سال برای پوشش آلیاژی ۶۲۵ بود. بر اساس این داده‌ها، فاصله زمانی جایگزینی مورد انتظار برای لوله‌های فولادی کربنی و لوله‌های پوششی آلیاژی ۶۲۵ به ترتیب ۱/۴ و ۵/۸ سال است (جدول ۱۲/۷). در هلند لوله‌های پوششی آلیاژی ۶۲۵ به طور گسترده برای کاربردهای سوپرهیتر در بویلرهای WTE استفاده شده است.

در بسیاری از موارد نتیجه رضایت بخش بوده در برخی دیگر از بویلرها، محیط آنقدر خورنده بود که روکش آلیاژ ۶۲۵ تنها حدود ۱ سال دوام آورد. به عنوان مثال، در بویلرهای بخار با دمای بخار فوق گرم بین ۴۰۰ تا ۴۵۵ °C روکش آلیاژی ۶۲۵ طیف وسیعی از نرخ هدر رفتن را از نرخ ناچیز تا ۷/۵ میلیمتر در سال نشان می‌دهد.

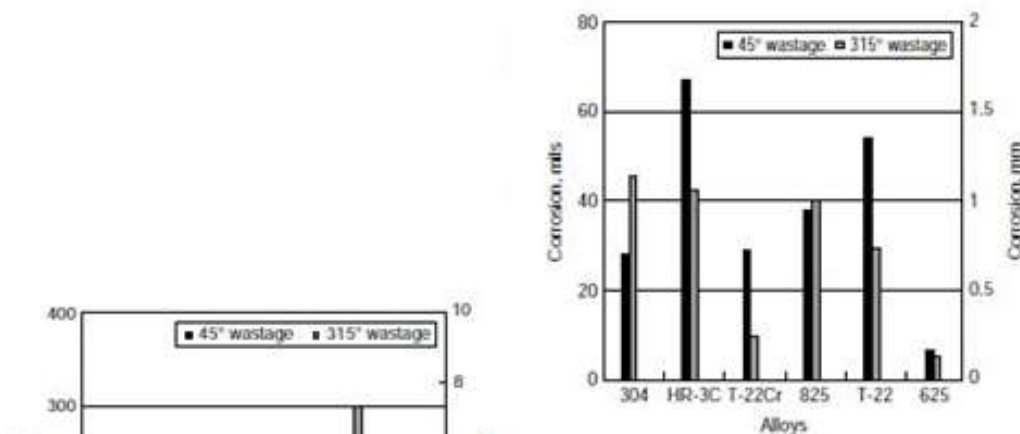


Fig. 12.26 Tube metal loss of various alloys tested at 500 °C (935 °F) for 1180 h in an RDF unit at Elk River Station. T-22CR represents the chromized T-22 tube sample. The chromized layer (on T-22) was found to be consumed in a large area. Source: Ref 37

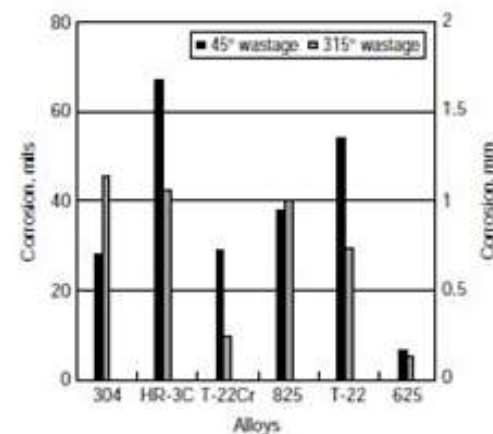


Fig. 12.27 Tube metal loss of various alloys tested at 470 °C (880 °F) for 1180 h in an RDF unit at Elk River Station. T-22CR represents the chromized T-22 tube sample. The chromized layer (on T-22) was found to be consumed in a large area. Source: Ref 37

Table 12.7 Wastage rates for the carbon steel tube and the alloy 625 overlay tube in a side-by-side test as part of a finishing superheater in a boiler in New York

Tube construction	Wastage rate		Expected tube life, years
	mm/yr	mpy	
Carbon steel	2.8	110	1.4
625 overlay	0.46	18.3	5.3(a)

(a) Overlay (0.080" thick) + steel tube. Source: Ref 24

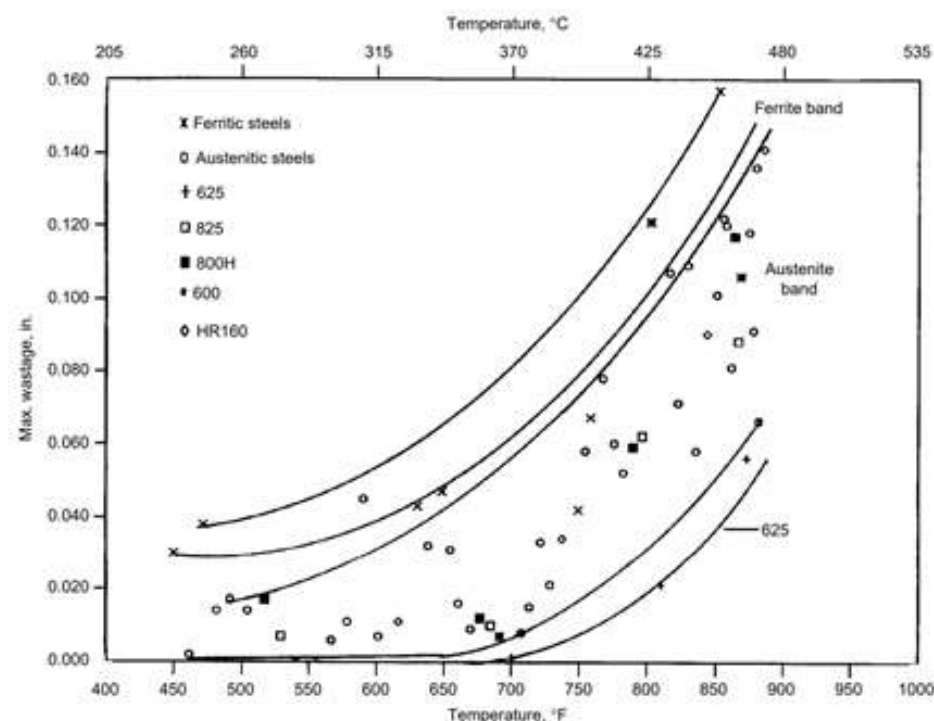


Fig. 12.25 Results of corrosion probe tests for various alloys in a boiler at Charleston Resource Recovery. The corrosion probes were installed in the convection path with the exposure time of 4492 h. Ferritic steels included carbon steel, T-22, and T-91. Austenitic steels included Type 304, 347, 310, and 27Cr-31Ni-3.5Mo (N08028). Source: Ref 36

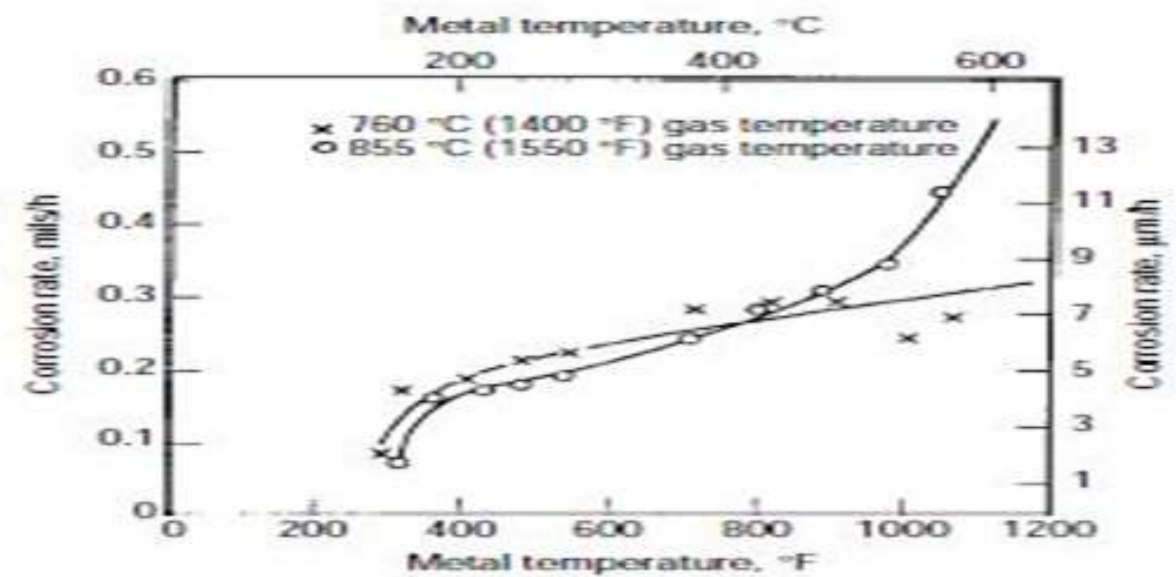


Fig. 12.28 Effect of flue gas temperature on the corrosion rate of carbon steel in short-time corrosion probe tests (10 h exposure) in an operating boiler. Source: Ref 29

داده‌های در شکل ۱۲/۲۸ نشان داده شده است. اثر دما را نشان می‌دهد که وقتی گاز دودکش دما از ۷۶۰ به ۸۴۵ °C افزایش یافت، سرعت خوردگی فولاد کربنی با افزایش دمای فلز از ۴۳۰ °C شتاب گرفت.

افزایش نرخ خوردگی نتیجه تشکیل $FeCl_3$ فرار است، زیرا در دمای زیر ۴۳۰ °C محصول خوردگی عمدتاً $FeCl_2$ است که در این دماها تبخیر نمی‌شود. این افزایش دمای گاز دودکش به احتمال زیاد بر میزان خوردگی آلیاژ ۶۲۵ که یک پایه نیکل است تأثیر قابل توجهی ندارد. احتمال تشکیل $FeCl$ یا $FeCl_3$ وجود ندارد. دمای فلز می‌تواند به طور قابل توجهی بر نرخ خوردگی آلیاژ تأثیر بگذارد در حالی که واکنش خوردگی یک فرآیند حرارتی فعال است، بنابراین افزایش دمای فلز می‌تواند منجر به نرخ خوردگی بالاتر شود. علاوه بر این، افزایش دمای فلز می‌تواند دامنه نمک‌های مختلف کلرید را که مذاب می‌شوند افزایش دهد (شکل ۱۲/۱۰).

افزایش مقادیر نمک‌های کلرید مذاب نیز می‌تواند نرخ خوردگی را افزایش دهد. علاوه بر این، افزایش دما می‌تواند فشار بخار نمک‌های کلرید را افزایش دهد و در نتیجه منجر به افزایش خوردگی توسط بخارات کلرید شود. غلظت رسوبات کلرید و نوع کلریدها می‌تواند از بویلر به بویلر دیگر متفاوت باشد علت این امر تغییر در میزان مواد خوارک می‌باشد. غلظت نمک‌های کلرید و نوع کلریدها معمولاً در Plant کنترل نمی‌شوند. علاوه بر این، سرعت گاز می‌تواند عامل مهمی در کاهش ضخامت سوپرهیتر باشد. در برخی موارد، کاهش ضخامت سوپرهیتر می‌تواند در نتیجه فرسایش/خوردگی باشد. تنها راه برای قضاوت در مورد شدت مسئله کاهش ضخامت سوپرهیتر در یک بویلر خاص، بررسی داده‌های تاریخی آن بویلر بخار خاص است.

نتیجه

در این مقاله عوامل اصلی خوردگی سطوح بیرونی بررسی شده، با توجه به بررسی‌های به عمل آمده گازهای اسیدی موجود در محصولات احتراق به طور کلی بر روی برخی از فلزات مانند stainless steel موثر هستند و عامل اصلی برای خوردگی مواد این نوع بویلرها نمی‌باشند. تحقیقات نشان داده است میزان خوردگی گازی بسیار ناچیز است. حمله خوردگی اصلی توسط کلریدهای نقطه ذوب پایین یک حالت اصلی خوردگی مواد بویلر بخار در WTE است صورت می‌گیرد. راهکار موثر برای جلوگیری این امر استفاده از روکش آلیاژ ۶۲۵ می‌باشد. پوشش آلیاژ ۶۲۵ حمله فرورفتگی سطحی خفیفی را نشان داد، اما هیچ حمله خوردگی دندریتی داخلی نداشته است. اعتقاد بر این است که مورفولوژی این نفوذ خوردگی دندریتیک داخلی نتیجه واکنش‌های خوردگی گازی است. کاهش رطوبت که عاملی تسریع کننده برخوردگی موجب افزایش طول عمر این بویلرهای می‌گردد.

- [۱] H.H. Krause, Historical Perspective of Fireside Corrosion Problems in Refuse- Fired Boilers, Paper No. 200, Corrosion/93, NACE, 1993
- [۲] G.Sorell, The Role of Chlorine in High Temperature Corrosion in Waste-To-Energy Plants, Mater. High Temp., Vol 14 (No. 2) 1997, (3/), p 137
- [۳] S.C. Stultz and J.B. Kitto, Ed., Steam and Its Generation and Use, 40th ed., Babcock & Wilcox, 1992
- [۴] C.F. Knights, I.W. Cavell, and B.A. Phillips, Corrosion During Incineration of a Sulfur and Chlorine Bearing Mixture of Rubbers and Plastics, Werkst. Korros., Vol 40, 1989, p 163
- [۵] E.A. Bretz, Energy from Wastes, Power, March 1990, p S-1
- [۶] P. Rademakers, W. Hesselings, L.A. Tange, and R. Montaigne, "Review on Corrosion in Waste Incinerators, and Possible Effect of Bromine," CEF-12, Laan van Westenenk, The Netherlands, 2002 P.Z. Kubin, Materials Performance and Corrosion Control in Modern Waste-To-Energy Boilers Applications and Experience, Paper No. 90, Corrosion/99, NACE International, 1999
- [۷] L. Strach and D.T. Wasyluk, Experience with Silicon-Carbide Tiles in Mass-Fired Refuse Boilers, Paper No. 219, Corrosion/ 93, NACE, 1993
- [۸] R.L. Anderson, Wheelabrator Technologies Inc., private communication, 2006
- [۹] A. Wilson, U. Forsberg, M. Lundberg, and L. Nylof, Composite Tubes in Waste Incineration Boilers, Stainless Steel World 99 Conference on Corrosion-Resistant Alloys (Conf. Proc.), Book 2, KCI Publishing BV, The Netherlands, 1999, p 669
- [۱۰] F. Soutrel, C. Rapin, P. Steinmetz, and G. Pierotti, Corrosion of Fe, Ni, Cr and Their Alloys in Simulated Municipal Waste Incineration Conditions, Paper No. 428, Corrosion/98, NACE International, 1998
- [۱۱] M. Spiegel, Salt Melt Induced Corrosion of Metallic Materials in Waste Incineration Plants, Mater. Corros., Vol 50, 1999, p 373
- [۱۲] M. Noguchi et al., Experience of Superheater Tubes in Municipal Waste Incineration Plant, Mater. Corros., Vol 51, 2000, p 774
- [۱۳] P.L. Daniel, L.D. Paul, and J. Barna, Fire- Side Corrosion in Refuse-Fired Boilers, Mater. Perform., May 1988,
- [۱۴] J.G. Singer, Ed., Combustion Fossil Power, 4th ed., Combustion Engineering, Inc., Windsor, CT, 1991
- [۱۵] I.G. Wright, H.H. Krause, and R.B. Dooley, A Review of Materials Problems and Solutions in U.S. Waste-Fired Steam Boilers, Paper No. 562, Corrosion/95, NACE International,
- [۱۶] A.J. Licata, L.A. Terracciano, R.W. Herbert, and U. Kaiser, Design Features for Superheater Corrosion Control in Municipal Waste Combustors, Materials Performance in Waste Incineration Systems, G.Y. Lai and G. Sorell, Ed., NACE, 1992, p 51-
- [۱۷] H.H. Krause and I.G. Wright, Boiler Tube Failures in Municipal Waste-To-Energy Plants: Case Histories, Paper No. 561, Corrosion/
- [۱۸] A. Pourbaix, Corrosion of a Waste Incinerator: Effects of Design and Operating Conditions, Werkst. Korros., Vol 40, 1989,
- [۱۹] A.L. Plumley, W.R. Rocznik, and E.C. Lewis, Materials Performance of Heat Transfer Surfaces in A MSW-Fired Incinerator, Materials Performance in Waste Incineration Systems, G.Y. Lai and G. Sorell, Ed., NACE, 1992, p 71-
- [۲۰] W.G. Schuetzenduebel, I.E. Johnson, and C.W. Clemons, Accelerated Tube Metal Chapter 12: Waste-to-Energy Boilers and Waste Incinerators / 357 Wastage in Municipal Solid Waste Fired Furnaces, Materials Performance in Waste Incineration Systems, G.Y. Lai and G. Sorell, Ed., NACE, 1992, p 101-
- [۲۱] Welding Services Inc., unpublished data, Norcross, Georgia
- [۲۲] P.N. Hulsizer, Problems and Solutions in Applying Weld Overlay to Waste Boiler Incinerators, Materials Performance in Waste Incineration Systems, G.Y. Lai and G. Sorell, Ed., NACE, 1992, p 111-

روش های پرداخت در تجارت بین الملل



رضا عراقی و محمدعلی محمدی

چکیده

یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در زنجیره تامین کالا، روش پرداخت وجه معامله در تجارت بین الملل می باشد. در صورتیکه روش پرداخت به درستی انتخاب نگردد، می تواند موجب بروز بسیاری از هدررفت ها از جمله تاخیر در تامین کالا، تاخیر در پرداخت وجه سفارش، از بین رفتن وجه سفارش و مشکلات عدیده دیگری مابین خریدار و فروشنده گردد.

به طور کلی روش پرداخت در تجارت بین الملل، بیانگر میزان اعتماد و شناخت طرفین قرارداد از یکدیگر می باشد. به عبارت دیگر هرقدر فروشنده و خریدار یکدیگر را بشناسند و اعتماد داشته باشند، از روش های ساده تر، سریع تر و کم هزینه تری جهت پرداخت وجه سفارش می توانند استفاده نمایند. روش های پرداخت در تجارت بین الملل به ۵ دسته حساب باز، پیش پرداخت کامل، وصولی(برات)، اعتبار اسنادی و روش پرداخت ترکیبی تقسیم بندی می شوند. در این مقاله تلاش شده است تا ضمن تعریف و ارائه مفاهیم مرتبط با هر یک از این روش های پرداخت، مزایا و معایب هر روش مورد بررسی قرار گیرد.

واژه های کلیدی

زنجیره تامین، تجارت بین الملل، روش پرداخت، اعتبار اسنادی

مقدمه

یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در زنجیره تامین کالا، روش پرداخت وجه معامله در تجارت بین الملل می باشد. در صورتیکه روش پرداخت به درستی انتخاب نگردد، می تواند موجب بروز بسیاری از هدررفت ها از جمله تاخیر در تامین کالا، تاخیر در پرداخت وجه سفارش، از بین رفتن وجه سفارش و مشکلات عدیده دیگری مابین خریدار و فروشنده گردد. روش های پرداخت در تجارت بین الملل به ۵ دسته حساب باز، پیش پرداخت کامل، وصولی(برات)، اعتبار اسنادی و روش پرداخت ترکیبی تقسیم بندی می شوند که به اختصار به توضیح هر یک پرداخته می شود.

روش های پرداخت در تجارت بین الملل:

در این بخش به بررسی کامل انواع روش های پرداخت در تجارت بین الملل و مزایا و معایب هریک پرداخته می شود.

حساب باز:

در این روش پرداخت، فروشنده بالاترین اعتماد را به خریدار دارد و پذیرفته است مبلغ سفارش را پس از ارسال کالا به خریدار و همچنین تحویل اسناد حمل، دریافت نماید. در این روش پرداخت، بیشترین ریسک مربوط به فروشنده می باشد که کالا و اسناد حمل را تحویل خریدار نموده است و منتظر پرداخت وجه سفارش توسط خریدار می ماند.

پیش پرداخت کامل^۱:

در این روش پرداخت، فروشنده هیچ گونه اعتمادی به خریدار ندارد و ارسال کالا را منوط به پرداخت کامل وجه سفارش نموده است. در این روش پرداخت، بیشترین ریسک مربوط به خریدار می باشد که کل مبلغ سفارش را پیش از ارسال کالا به فروشنده پرداخت می نماید و منتظر ارسال کالا و اسناد حمل توسط فروشنده می ماند.

وصولی/برات^۳:

در این روش پرداخت، فروشنده نسبت به ارسال کالا اقدام می نماید و به همراه اسناد حمل، برات به میزان مبلغ سفارش نیز به خریدار ارسال می نماید که خریدار(برات گیر)، می بایست نسبت به قبولی برات به نفع فروشنده(برات کش) اقدام نماید. فروشنده در حالتیکه برات مدت دار می باشد مثلاً یکساله، می تواند جهت تسریع در دریافت وجه، نسبت به تنزیل آن با نرخ کمی پایین تر اقدام نماید. این روش پرداخت به نفع خریدار است و در صورتی استفاده می شود که فروشنده به خریدار اعتماد و اطمینان لازم را داشته باشد.

شایان ذکر است برات نوعی سند مالی تجاری محسوب می شود که توسط خواهان پول (طلبکار) برای شخص بدهکار صادر می شود. چنانچه شخص بدهکار این سند یا همان برات را قبول و تایید نماید ملزم می شود در تاریخ مشخص وجه برات را به طلبکار یا نماینده وی پرداخت نماید.

روش پرداخت وصولی به دو دسته وصولی ساده و وصولی اسنادی تقسیم بندی می گردد:

وصولی ساده^۴:

در این روش، فروشنده نسبت به ارسال کالا اقدام می نماید و اصل اسناد را نیز مستقیماً به خریدار تحویل می دهد. فروشنده، برات به میزان سیاهه تجاری نیز به بانک اعلام شده توسط خریدار ارسال می نماید تا خریدار نسبت به قبولی آن اقدام نماید. در این روش این ریسک وجود دارد که خریدار از قبولی برات و یا پرداخت مبلغ سفارش به بانک خودداری نماید.

وصولی اسنادی^۵:

در این روش، فروشنده نسبت به ارسال کالا اقدام می نماید ولی اصل اسناد حمل را که به نام بانک می باشد به همراه برات اسنادی، به بانک خریدار ارسال می نماید. بانک پس از دریافت وجه سفارش از خریدار در حالت برات دیداری و یا قبولی برات اسنادی توسط خریدار در حالت برات مدت دار، نسبت به ظهنویسی اسناد به نام خریدار اقدام می نماید. روش پرداخت وصولی از منظر زمان پرداخت وجه نیز به دو دسته دیداری و مدت دار تقسیم بندی می گردد.

برات دیداری^۶ (D/P):

روش پرداخت D/P مربوط به برات اسنادی دیداری می باشد که خریدار به محض رویت برات، می بایست نسبت به پرداخت وجه سفارش به بانک اقدام نماید. سپس بانک نسبت به ظهنویسی اسناد به نام خریدار اقدام و اصل اسناد حمل را تحویل خریدار می نماید و پول فروشنده را نیز واریز می نماید.

برات مدت دار^۷ (D/A):

روش پرداخت D/A مربوط به برات اسنادی مدت دار می باشد که خریدار نسبت به قبولی برات و ارسال آن برای فروشنده اقدام می نماید و وجه سفارش را در سررسیدهای عنوان شده در برات اسنادی، پرداخت می نماید. در این حالت فروشنده می تواند برات مدت دار را پیش از سررسید، ظهنویسی و تنزیل کند و زودتر به نقدینگی مورد نیاز خود برسد. البته طبیعی است که فروشنده برای تنزیل برات باید مبلغ اندکی از آن را کسر کند و به عنوان سود سرمایه به بانک و یا هر فردی که برات را تنزیل می کند واگذار نماید. مبلغ کسر شده با عواملی چون تاریخ سررسید برات، اعتبار برات گیر و بانک تضمین کننده ارتباط دارد.

اعتبار اسنادی^۸:

پرداخت به روش اعتبار اسنادی، رایج ترین روش پرداخت در تجارت بین الملل می باشد و عبارت است از تعهد مشروط بانک گشاینده برای پرداخت وجه اعتبار به ذینفع اعتبار اسنادی. بانک قبل از گشایش اعتبار اسنادی، می بایست بررسی ها و اعتبارسنجی لازم را در خصوص خریدار انجام دهد. زیرا پس از گشایش اعتبار اسنادی، این بانک است که مستقلاً متعهد مشروط به پرداخت وجه اعتبار به ذینفع تا زمان سررسید اعتبار اسنادی می باشد.

این روش پرداخت، به دلیل آنکه بانک ها در آن دخیل می باشند، ریسک پایینی برای خریدار و فروشنده دارد. در این روش پرداخت، فروشنده پس از ارسال کالا و ارائه اصل اسناد حمل مطابق با شرایط اعتبار به بانک، نسبت به دریافت وجه سفارش از بانک گشاینده اعتبار اسنادی اقدام می نماید. واردکننده نیز پس از تسویه حساب با بانک، نسبت به دریافت اصل اسناد ظهنویسی شده و ترخیص کالا از گمرک اقدام می نماید.

مطابق توضیحات فوق، در این روش پرداخت، فروشنده وجه معامله را دیگر از خریدار مطالبه نمی نماید بلکه مستقیماً از بانک گشاینده اعتبار اسنادی دریافت می نماید. بانک گشاینده در اعتبار اسنادی، نقش واسطه را بین خریدار و فروشنده بازی نمی کند، بلکه یکی از ارکان اصلی و مستقل معامله است که متعهد مشروط به پرداخت وجه اعتبار اسنادی به ذینفع می باشد.

۳	Collection
۴	Clean Draft
۵	Documentary Draft
۶	Documents Against Payment
۷	Documents Against Acceptance
۸	Letter Of Credit

۱	Open Account Trade
۲	Full Advance Payment

اعتبار اسنادی دارای دو رکن اساسی به شرح ذیل می باشد که با آن معنا می یابد :

بانک گشاینده^۹: بانک گشاینده بانکی می باشد که واردکننده جهت گشایش اعتبار اسنادی، به آن مراجعه می نماید. بانک نیز قبل از گشایش اعتبار اسنادی، می بایست بررسی ها و اعتبارسنجی لازم را در خصوص خریدار انجام دهد. زیرا پس از گشایش اعتبار اسنادی، این بانک است که مستقلاً متعهد مشروط به پرداخت وجه اعتبار تا زمان سررسید اعتبار اسنادی به ذینفع می باشد.

ذینفع^{۱۰}: ذینفع اعتبار اسنادی همان فروشنده می باشد که می بایست اعتبار اسنادی گشایش شده به نفع ایشان را تایید نماید.

در واقع بانک گشاینده و ذینفع اعتبار اسنادی به مثابه پدر و مادری می باشند که اعتبار اسنادی را می توان فرزند آنها تلقی نمود.

ویژگی اعتبار اسنادی :

۱. مهمترین ویژگی و وجه تمایز اعتبار اسنادی با سایر روش های پرداخت، آن است که ذینفع، وجه اعتبار اسنادی را از واردکننده مطالبه نمی نماید بلکه از بانک گشاینده اعتبار درخواست پرداخت وجه را دارد.
۲. اعتبار اسنادی تنوع بالایی از جمله اعتبار اسنادی برگشت ناپذیر، اعتبار اسنادی تایید شده، اعتبار اسنادی قابل انتقال، اعتبار اسنادی اتکایی و ... دارد.
۳. اتاق بازرگانی بین الملل (ICC^{۱۱})، مقرراتی تحت عنوان «مقررات متحدالشکل اعتبار اسنادی» یا به اختصار UCP وضع نموده است. این مقررات در نشریه شماره ICC 600 منتشر شده است لذا به UCP 600 معروف است و وظایف و تکالیف بانک ها در قبال یکدیگر و در قبال ذینفع اعتبار اسنادی را مشخص می سازد. در واقع می توان گفت مقررات متحدالشکل اعتبار اسنادی(UCP 600^{۱۲})، ناظر بر ناگفته هاست و اولویت با متن اعتبار اسنادی می باشد.
۴. اعتبار اسنادی هم در تجارت کالا و هم خدمات کاربرد دارد.
۵. اعتبار اسنادی نسبت به سایر روش های پرداخت، گرانتر است.
۶. اعتبار اسنادی یک مکانیزم تامین مالی^{۱۳} می باشد و نیاز وارد کننده و صادر کننده به منابع مالی را مرتفع می کند. برای مثال در اعتبار اسنادی مدت دار، بانک فرصت لازم را به خریدار می دهد که پس از اینکه کالای خود را دریافت و به فروش رساند، نسبت به پرداخت وجه آن به بانک اقدام نماید. همچنین فروشنده نیز به اتکای اعتبار اسنادی که به نفع ایشان گشایش شده است، می تواند نسبت به دریافت تسهیلات از بانک ها اقدام نماید. در کشور خودمان نیز بر اساس مصوبه شورای پول و اعتبار، صادرکنندگان ایرانی می توانند به اتکای اعتبار اسنادی، نسبت به دریافت تسهیلات تحت عنوان مضاربه صادراتی اقدام نمایند و با وجه دریافت شده، مواد اولیه، نیروی انسانی و ... را جهت تولید و تدارک کالایی که قرار است در آینده صادر کنند فراهم نماید. همچنین صادر کننده می تواند به اتکای اعتبار اسنادی گشایش شده به نفع او، اقدام به گشایش اعتبار اسنادی دیگری به نفع فروشنده دیگری نماید که به اعتبار اسنادی اتکایی^{۱۴} معروف است.
۷. اعتبار اسنادی در خصوص ارائه اسناد تقلبی آسیب پذیر است. در مواردی مشاهده شده است که ذینفع اعتبار اسنادی با ارائه اسناد جعلی مخصوصاً در اعتبار اسنادی دیداری، وجه اعتبار را از بانک دریافت نموده است بدون آنکه کالایی تحویل نماید.طبق ماده ۳۴ UCP 600، بانک ها مسئولیتی در خصوص ارائه اسناد جعلی ندارند. لذا شناسایی درست فروشنده بر عهده خریدار می باشد.
۸. در کشوری مثل ایران که نظام کنترل ارزی جاری می باشد، دولت با مکانیزم اعتبار اسنادی، بهتر می تواند سیاست های ارزی خودش را به منصفه ظهور برساند.
- ۹.

اعتبار اسنادی از منظر ترم پرداخت به موارد ذیل تقسیم می شود :

دیداری^{۱۵}: به محض اینکه ذینفع قبل از انقضای سررسید اعتبار اسنادی، اسناد خواسته شده مطابق متن اعتبار و بدون مغایرت را به بانک گشاینده اعتبار تحویل دهد، بانک گشاینده بلافاصله نسبت به بررسی و پرداخت وجه اعتبار به ذینفع اقدام می نماید. بهترین ترم پرداخت از منظر فروشنده، همین اعتبار اسنادی دیداری می باشد.

مدت دار^{۱۶} : در این نوع اعتبار اسنادی، ذینفع، کالا یا خدمات را به خریدار بصورت نسبه فروخته است و مبلغ آن را در سررسیدهای قید شده در اعتبار اسنادی (مثلاً ۶ ماه پس از تاریخ بارنامه و ...)دریافت می نماید.

قبولی^{۱۷}: همان اعتبار اسنادی مدت دار می باشد با این تفاوت که فروشنده به همراه اسناد، برات به مبلغ سیاهه تجاری

نیز ارسال می نماید. برات کش^{۱۸}، ذینفع و برات گیر^{۱۹}، بانک گشاینده می باشد و بانک گشاینده می بایست در سررسید برات، نسبت به تامین وجه برات و ایفای تعهد اقدام نماید و این مزیت را برای ذینفع دارد که چنانچه قبل از سررسید برات، نیاز به وجه نقد پیدا کند می تواند برات را در بازار تنزیل نماید. به علاوه ذینفع یک سند بانکی در اختیار دارد. مطابق مقررات UCP ۶۰۰، تایید و قبولی برات به عهده بانک گشاینده است و نه خریدار.

قابل معامله^{۲۰} : همانند اعتبار اسنادی دیداری می باشد با این تفاوت که مطابق ماده دو UCP ۶۰۰، این اختیار به بانک تعیین شده داده شده است که با مسئولیت و ریسک خود، اسناد را از ذینفع خریداری و وجه اعتبار را به ذینفع پرداخت نماید و بعداً وجه خود را مثلاً « طی یک هفته از بانک گشاینده دریافت نماید. در این حالت بانک تعیین شده، کارمزد خود را نیز از ذینفع دریافت می نماید.

روش پرداخت ترکیبی

در این روش پرداخت معمولاً بخشی از مبلغ سفارش بصورت پیش پرداخت و بخشی پس از تحویل کالا و با ترم های پرداخت دیداری و مدت دار می تواند انجام شود.

مطابق توضیحات فوق، انواع روش های پرداخت در تجارت بین الملل به اختصار توضیح داده شد وعنوان گردید که یکی از پارامترهای اصلی و تاثیرگذار در تامین به موقع کالا، تعیین روش پرداخت با توجه به شرایط و روابط بین خریدار و فروشنده می باشد. در صورتیکه روش پرداخت به درستی انتخاب نگردد، می تواند موجب بروز بسیاری از هدررفت ها از جمله تاخیر در تامین کالا و مشکلات عدیده دیگری مابین خریدار و فروشنده گردد.

نتیجه گیری

در این مقاله بطور خلاصه به انواع روش های پرداخت در تجارت بین الملل و مزایا و معایب هر یک اشاره گردید. روش پرداخت، همواره یکی از موثرترین عوامل در زنجیره تامین کالا می باشد که اگر به درستی انتخاب نگردد، می تواند موجب تاخیر در تامین کالا، تاخیر در دریافت وجه سفارش، از بین رفتن وجه پرداخت شده به فروشنده و مشکلات عدیده دیگری هم برای خریدار و هم برای فروشنده گردد.

در اینجا لازم می باشد به اهمیت منبع یابی^{۲۱} به عنوان یکی از عوامل موثر در مدیریت زنجیره تامین نیز اشاره نمود. در واقع هر چقدر منابع تامین، تحت پایش و بررسی مداوم و دقیق تری قرار بگیرند، می توان از بسیاری از هدررفت ها و بروز بسیاری از مشکلات و ضرر و زیان های مادی و معنوی بین فروشنده و خریدار جلوگیری نمود. بنابراین پیشنهاد می گردد در مقالات و پژوهش های آتی، به روشهای علمی و موثر گزینش و انتخاب منبع^{۲۲} های مجرب تامین به عنوان یکی از عوامل تاثیرگذار در زنجیره تامین کالا پرداخت گردد.

فهرست منابع

۱. کتاب بانکداری خارجی جلد دوم نوشته مجتبی زمانی فراهانی چاپ ششم سال ۱۳۹۵
۲. کتاب خرید و واردات کالا با روش اعتبارات اسنادی نوشته مجتبی زمانی فراهانی
۳. کتاب مجموعه مفاهیم پولی، بانکی و بین المللی «گردآوری فیروزه خلعت بری.
۴. نشریه مقررات متحد الشکل اتاق بازرگانی بین المللی برای پوشش اعتبارات اسنادی ترجمه فریده تذهیبی از انتشارات کمیته ایرانی اتاق بازرگانی بین المللی.

۹	Issuing Bank
۱۰	Beneficiary
۱۱	International Chamber of Commerce - ICC
۱۲	Uniform Customs and Practice for Documentary Credits
۱۳	Finance
۱۴	Back To Back L/C
۱۵	Sight
۱۶	Deferred
۱۷	Acceptance

۱۸	drawer
۱۹	drawee
۲۰	Negotiable
۲۱	Sourcing
۲۲	Source

چارچوب نظری مدل بلوغ CSR



سامان صاحب‌جلال

چکیده

در این مقاله مدل بلوغ مسئولیت اجتماعی در دو بعد فرهنگی و استراتژیکی و پنج مرحله، تبیین می‌شود. هر بعد ویژگی‌هایی را در بر می‌گیرد که سطوح متفاوتی نیز دارد. در بعد فرهنگی به سطح پذیرش و فرهنگ ذینفعان پراخته خواهد شد. بعد دوم که همان بعد استراتژیک است، شامل دو بعد فرعی است:

اول CSR یا مسئولیت اجتماعی شرکتی و بعد فرعی دوم مفهوم حوزه نفوذ یا محدودیت‌های مسئولیت شرکتی است که بسته به فرهنگ ذینفعان شرکت، نوع مسئولیت اجتماعی انتخابی شرکت و حوزه نفوذ انتخابی، می‌تواند در یکی از این پنج سطح بلوغ قرار گرفت باشد: سطح مقدماتی یا ابتدایی، مشارکتی، نوآورانه، یکپارچه یا تحول‌آفرین.

واژه های کلیدی

مقدمه

CSR را می‌توان به عنوان یک موضوع حاشیه‌ای برای فرایندها یا به عنوان یک بازوی استراتژیک هم‌راستا با مدل کسب و کاری که برای شرکت ساخته شده است، در نظر گرفت. در واقع از یک منظر می‌توان آن را به عنوان یک انتخاب دانست یا اینکه به عنوان یک تلاشی که در صورت امکان با سیاست، فرایندهای سیستماتیک، ساختار و عملکرد کسب و کار شرکت سازگار باشد. مدل بلوغ CSR ابزاری است که به رده‌های مدیریتی کمک می‌کند استراتژی شرکت را با مسائل محیطی سازگار کنند. لازم به ذکر است که نیازی نیست تا در آینده به بالاترین سطح بلوغ رسید چرا که یک استاندارد جهانی مسئولیت اجتماعی متناسب برای همه سازمان‌ها وجود ندارد. نمایش گزینه‌های مختلف به مدیریت شرکت اجازه می‌دهد تا با در نظر گرفتن شرایط محلی و ماهیت خاص کسب و کار، انتخاب آگاهانه‌تری از شیوه‌های ویژه و مناسب یا کسب و کار خود داشته و مسیر مشخصی از توسعه را تعیین کند.

نیاز به توسعه یک مدل تکاملی CSR شکی نیست که ما امروزه به وضوح شاهد نهادهای شدن ترقی و اعتلای CSR هستیم. شاهد این ادعا هم جهانی شدن استانداردهای گزارش‌دهی بین‌المللی (مانند GRI) و استانداردهای مدیریتی (مانند ISO۲۶۰۰۰)، توسعه رتبه‌بندی‌ها و سطح‌بندی‌های مختلف برای تخمین شهرت شرکت‌ها، افزایش سریع سازمان‌های غیردولتی که مشکلات اجتماعی و زیست‌محیطی را مدیریت می‌کنند، محبوبیت اقدامات اجتماعی و زیست محیطی (همچنین در زنجیره تحویل)، توسعه صندوق‌های سرمایه‌گذاری مسئولیت‌پذیری اجتماعی و قوانین و مقررات مستمر برای حفاظت از محیط زیست و تشویق شرکت‌ها به رعایت اصول اخلاقی و قوانین حاکمیت شرکتی است. در زمینه کاهش منابع طبیعی، آلودگی فزاینده محیط زیست، تغییرات آب و هوایی و مشکلات اجتماعی جهانی (فقر، سوءتغذیه، جنگ)، باید به این مفهوم به عنوان یک ابر روند تجاری فکر کنیم [لوبین و استی، ۲۰۱۰]. در دهه ۱۹۷۰ و ۸۰ مدیریت کیفیت (TQM) ابرروند آن روزگار بود، در دهه ۹۰ دیجیتال‌سازی (IT) و به نظر می‌رسد امروزه با روند مدیریت پایداری سروکار داریم. مهمترین نکته از دیدگاه شرکت این واقعیت است که نمی‌توان چنین «ابر روندی» را نادیده گرفت - این قطعا از نظر

«استراتژیکی» اجتناب ناپذیر است، زیرا در بلند مدت به عنوان یک مزیت رقابتی و عامل اصلی در تصمیم‌گیری تبدیل می‌شود [لوبین و استی]، ۲۰۱۰، ۳.S].

ماهیت چنین ابرروندهای تجاری این است که تغییرات اساسی و طولانی مدتی در نحوه رقابت شرکت‌ها ایجاد می‌کنند. منابع این تغییرات می‌تواند نوآوری‌های تکنولوژیکی (مانند فناوری اطلاعات)، تغییرات آگاهی اجتماعی (مانند سبک زندگی سالم) یا روش‌های جدید اداره کسب و کار (مانند جهانی شدن، شبکه سازی) باشد.

به منظور تصمیم‌گیری عاقلانه در حوزه مسئولیت اجتماعی شرکتی و برنامه‌ریزی برای اقدامات آتی باید از آنچه قبلاً انجام شده است، و آنچه می‌توان به دست آورد و اقداماتی که باید انجام داد، آگاهی وجود داشته باشد و برای انجام این کار، دانش لازم است. در این وضعیت، استفاده از چارچوب بلوغ می‌تواند کمک کند تا متوجه شد شرکت در چه مرحله‌ای قرار دارد و چه چالش‌هایی پیش روی خود دارد. این ابزار می‌تواند به آن‌ها در ایجاد برخی چارچوب‌های استراتژیک برای تصمیم‌گیری‌های آینده کمک کند. البته شایان ذکر است توصیف شیوه‌های رایج در هر سطح از چارچوب بلوغ معمولاً دقیقاً با واقعیت شرکت مطابقت ندارد؛ معمولاً مشخص می‌شود که برخی شیوه‌های مورد نیاز اجرا می‌شوند، اما برخی دیگر نه. به عبارت دیگر، در برخی جوانب واقعیت شرکت می‌تواند از الزامات یک سطح فراتر رود، اما در جوانب دیگر کاملاً برعکس، عقب بماند.

انواع مدل بلوغ مسئولیت اجتماعی

در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان فعال در این حوزه تلاش کرده‌اند تا جنبه‌های مختلف مسئولیت اجتماعی شرکتی را یکپارچه کنند و بر اهمیت ترک جستجوی بهترین روش برای تحقق CSR تأکید کنند. آن‌ها پیشنهاد می‌کنند که ابتکارات مختلف را در سطح استراتژیک ادغام کرده و راه‌های صحیح تعیین اولویت‌ها و پیاده‌سازی ابزارهای مدیریتی مؤثر را شناسایی می‌کنند. در این روند «یکپارچه‌سازی مفاهیم» تمایز بنیادی خاصی بین انواع مسئولیت اجتماعی وجود دارد که به‌عنوان گزینه‌هایی برای شرکت‌ها مطرح می‌شود. این گزینه‌ها البته به‌طور کامل یکدیگر را نفی نمی‌کنند (بلکه برعکس، می‌توانند یکدیگر را تقویت کرده و اثر هم‌افزایی ایجاد کنند) و همچنین به‌طور تنگاتنگی به یکدیگر مرتبط نیستند (بنابراین نیازی نیست که هم‌زمان دنبال شوند).

نخستین تقسیم‌بندی از این نوع توسط نویسندگان فنلاندی ارائه شد که تمایزی بین سه نوع مختلف مسئولیت اجتماعی بر اساس رویکرد عملیاتی و مبتنی بر تحقیق تجربی پیشنهاد کردند [کوروولا و هالمه، ۲۰۰۸]. در این حالت، تأثیری که CSR بر عملکرد شرکت و جامعه دارد، به‌عنوان مبنای تحلیل در نظر گرفته می‌شود؛ به عبارتی دیگر، این رویکرد بر اساس مدل غالب اقداماتی است که توسط شرکت انجام می‌شود. کوروولا و هالمه با ترکیب سه بعد مختلف، سه نوع اصلی CSR را شناسایی کردند که در ابعاد مشخص شده تفاوت دارند. این سه نوع شامل: خیریه، ادغام با اقدامات عملیاتی و نوآوری‌ها هستند [کوروولا و هالمه، ۲۰۰۸، ص. ۵۵۹]. این تقسیم‌بندی بر اساس رابطه با کسب‌وکار اصلی؛ اهداف اقدامات انجام‌شده و مزایای مورد انتظار انجام شده است.

رگان، چیس و کریم مفهوم کوروولا و هالمه را توسعه دادند و ایده «سه پرده مسئولیت اجتماعی شرکتی» (CSR) را معرفی می‌کنند. هدف این برنامه‌ها تقویت موقعیت رقابتی درازمدت شرکت و ایجاد ارزش اجتماعی حیاتی است [رگان و همکاران، ۲۰۱۲].

اولین پرده مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) را می‌توان خیریه نامید. این نوع فعالیت می‌تواند به شکل‌های مختلفی از جمله اهدای مستقیم به سازمان‌های غیرانتفاعی، حمایت از پروژه‌های اجتماعی و غیره باشد. فلسفه خیریه شرکتی بر این باور استوار است که شرکت به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از جامعه، وظیفه دارد که به برخی از نیازهای آن پاسخ دهد، هزینه‌های اجتماعی کسب‌وکار خود را متقبل شود و در حل مشکلات اجتماعی مشارکت کند و کمک‌های صورت‌گرفته غالباً بازتابی از ارزش‌های مالکان یا مدیران است. این نوع فعالیت تنها می‌تواند در مورد مزایای غیرملموس صحبت کنند □ تقویت شهرت شرکت و کاهش ریسک مرتبط. با گذشت زمان، خیریه تجاری می‌تواند به سوی خیریه استراتژیک حرکت کند که به‌طور قابل توجهی با اولویت‌های تجاری در ارتباط است و می‌تواند منافع قابل اندازه‌گیری را در افق زمانی بلندمدت به همراه داشته باشد (به‌عنوان مثال، تقویت سرمایه اجتماعی - آموزش یا بازآموزی افراد محلی برای نیازهای آینده نیروی انسانی). علیرغم امکان حمایت از استراتژی کسب‌وکار و تأثیر مثبت احتمالی بر نتایج، ابتکارات پرده اول مسئولیت اجتماعی شرکتی بر تحقق هیچ هدف تجاری متمرکز نیستند و باید تنها از دید منافع اجتماعی ارزیابی شوند. دومین اثر CSR - مهندسی مجدد زنجیره ارزش - می‌تواند عملیات نامیده شود. در مقابل خیریه، این حوزه هم بر افزایش سودآوری و بهبود نتایج کسب‌وکار و هم بر ایجاد مزایای اجتماعی و زیست‌محیطی تمرکز دارد. عملیات در این حوزه بر بهبود اثربخشی عملیاتی در کل زنجیره ارزش شرکت تکیه دارد، از تأمین‌کنندگان تا کانال‌های توزیع. انگیزه اصلی که در انجام اقدامات در این پرده وجود دارد، ایده منافع متقابل یا مفهوم «ارزش مشترک» است. آن‌ها می‌گویند که شرکت‌ها باید به دنبال ایجاد محصولاتی باشند که هم به شرکت و هم به جامعه سود برسانند. این شامل، راه‌حل‌های نوآورانه تولیدی و تکنولوژیکی است که هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد و در عین حال تأثیر منفی بر محیط‌زیست را کاهش می‌دهد. با این حال، می‌توان گفت که ابتکارات این حوزه CSR عمدتاً از منظر بهبود نتایج شرکت ارزیابی می‌شوند.

پرده سوم مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) - «دگرگون‌سازی اکوسیستم» - می‌تواند به عنوان «نوآوری‌ها» نام برده شود. این حوزه از اقدامات CSR بر تغییرات رادیکال و وسیعی در مدل کسب‌وکار تأکید دارد که در وهله اول به حل یک مشکل

اجتماعی می‌پردازد و در افق بلندمدت به دستیابی به نتایج مالی خوب و تقویت موقعیت بازار شرکت می‌انجامد. این حوزه از فعالیت‌های CSR تغییری بنیادی و گسترده در مدل کسب‌وکار است که در ابتدا به حل برخی مشکلات اجتماعی معطوف است و تنها در درازمدت شرکت به نتایج مالی مناسب و تقویت موقعیت خود در بازار خواهد رسید. این ممکن است نیازمند تغییرات اساسی در مدل کسب‌وکار باشد و حتی توسعه مهارت‌های جدید را به همراه داشته باشد، که این امر نیز مستلزم سطح بالایی از ریسک است.

هر یک از سه گزینه ذکر شده انگیزه‌ها و نتایج واضح و متفاوتی خلق می‌کند؛ جنبه‌های خیریه تجاری عمدتاً به منافع «نرم» و غیرملموس اشاره دارد، مانند بهبود وضعیت اجتماعی شرکت، افزایش اعتبار برند شرکت و افزایش انگیزه کارکنان. نوع دوم CSR - مهندسی مجدد زنجیره ارزش - بیشتر به امکان کسب درآمد یا بهبود کارایی هزینه متصل است که این امکان را برای تعیین سه بعدی (Triple Bottom Line) فراهم می‌آورد. در این مورد، شرکت‌ها عمدتاً به دنبال منافع مرتبط با بهبود تأثیرات محیطی شرکت، توانایی ایجاد فرصت‌های کسب‌وکار جدید و تأثیرگذاری بر بازار مشتریان حساس اجتماعی هستند، و همچنین حفاظت از منابعی که شرکت به آن وابسته است.

در نوع سوم CSR، که شامل دگرگون‌سازی اکوسیستم است، مقدار قابل توجهی از انگیزه ناشی از امید به مزایای بلندمدت است که از طریق تغییرات چشمگیر در محیط کسب‌وکار و تحقق مأموریت اجتماعی تعریف شده توسط هیئت مدیریت به دست می‌آید. از میان این مزایا، می‌توان به ایجاد راه‌حل‌های ارزنده برای مسائل اجتماعی و زیست‌محیطی و همچنین عمل به بازارهای جدید و مهم اشاره کرد.

مدل بلوغ مسئولیت اجتماعی اوا گلوژک

مدل توسعه مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) که توسط اوا گلوژک شامل دو بعد اصلی: فرهنگی و استراتژیک، و پنج سطح بلوغ است: ابتدایی، درگیر، نوآورانه، یکپارچه و تحولی. هر یک از این ابعاد شامل فهرستی از ویژگی‌ها است که آن‌ها را توصیف می‌کند و هر مرحله با یکدیگر تفاوت دارند. بعد اول، بعد فرهنگی به مفهوم فرهنگ ذینفعان اشاره دارد. این بعد شامل یک متغیر است: نوع فرهنگ ذینفعان. در این بُعد - بر اساس مفهوم جونز - پنج نوع فرهنگ ذینفعان تمایز داده شده است که با پنج سطح مختلف بلوغ مطابقت دارند. این پنج نوع در سه فاز تقسیم می‌شوند: بی‌تفاوتی اخلاقی، اخلاق محدود و اخلاق گسترده. فاز بی‌تفاوتی اخلاقی شامل یک نوع فرهنگ به‌نام نوع عاملیت است؛ فاز اخلاق محدود شامل دو نوع فرهنگ است: خودخواه شرکتی و ابزاری، مشابه با فاز اخلاق گسترده که نیز دو نوع فرهنگ ذینفعان دارد - که به‌نام‌های اخلاقی و نوع‌دوست شناخته می‌شوند. هر یک از این نوع فرهنگ‌ها با استفاده از چهار معیار زیر مشخص می‌شوند: رویکرد به مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) - پاسخگویی اجتماعی، رهبری - حمایت مدیریت عالی، هدف از تعهد به مسئولیت اجتماعی شرکتی و تأثیر CSR بر اهداف سازمان.

دوم، بعد استراتژیک دارای دو بعد فرعی (جنبه فرعی) است: نوع CSR و حوزه نفوذ. اولین مورد از آنها واگرایی در مورد نوع مسئولیت اجتماعی شرکتی است. این جنبه دوباره شامل پنج نوع CSR است که با پنج سطح بلوغ مطابقت دارد: ناآگاهی، بشردوستی، بشردوستی استراتژیک، مهندسی مجدد زنجیره ارزش و دگرگونی اکوسیستم. انواع CSR با پنج ویژگی کلیدی توصیف می‌شوند: استراتژی خلق ارزش، رابطه با سهامداران، ساختار ابتکارات CSR، هماهنگی مسائل CSR و شفافیت. دومی از ابعاد فرعی مربوط به حوزه های نفوذ یک شرکت است، به معنای مرزهای مسئولیتی که آماده است به آن متعهد شود. پنج حوزه نفوذ، که دوباره با پنج مرحله بلوغ مطابقت دارند، متمایز شده اند:

مسئولیت مبتنی بر تأثیر داخلی؛ مسئولیت منفی مبتنی بر تأثیر؛ مسئولیت مثبت و منفی مبتنی بر تأثیر؛ مسئولیت مثبت و منفی مبتنی بر تأثیر و مسئولیت مثبت و منفی مبتنی بر تأثیر و مسئولیت منفی مبتنی بر اهرم. مسئولیت مثبت و منفی مبتنی بر تأثیر و مسئولیت مثبت و منفی مبتنی بر اهرم. زیربعد مرزهای مسئولیت با دو شاخص مشخص می‌شود: شرکت به چه چیزی اهمیت می‌دهد و شرکت بر چه کسانی تأثیر می‌گذارد.

اولین سطح از مدل بلوغ مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) - ابتدایی - سطح پایه‌ای است که در واقع هیچ‌گونه فعالیت واقعی مطابق با قوانین مسئولیت اجتماعی به‌خصوص در آن وجود ندارد. مرحله اول از جنبه فرهنگی نمایانگر فاز بی‌اخلاقی در فرهنگ ذینفعان است که با نادیده گرفتن جنبه‌های مسئولیت اجتماعی یا به‌صراحت انکار آن‌ها مشخص می‌شود. در این حالت، CSR به‌عنوان محدودیت فعالیت‌های شرکتی در نظر گرفته می‌شود که باید به هر قیمتی از آن اجتناب شود. در جنبه استراتژیک، این سطح هیچ‌نوع مسئولیت اجتماعی شرکتی را نمایان نمی‌سازد زیرا روابط با ذینفعان صرفاً قراردادی است. در جنبه حوزه تأثیر، شرکت‌های حاضر در این مرحله ابتدایی معمولاً تنها مایل به پذیرش مسئولیت داخلی از نوع اقتصادی هستند - برای ایجاد سود، خلق نقاط شغلی و ارتقاء کیفیت محصول.

سطح دوم بلوغ - متعهد - مرحله‌ای از اخلاق محدود در بعد فرهنگی است که با نوع فرهنگ ذینفعان به نام «خودمحوری شرکتی» شناخته می‌شود. این مرحله با آگاهی فزاینده از هنجارهای مسئولیت اجتماعی مشخص می‌شود، به‌ویژه در زمینه مشکلات و نیازهای فزاینده جامعه که می‌توانست با پیروی از اصول CSR جلوگیری شود. در این مرحله، می‌توانیم برخی از تعهدات تصادفی از سوی شرکت را مشاهده کنیم که مایل به پذیرش برخی ابتکارات اجتماعی است، به‌خصوص از آن‌رو که مزایای اجتماعی ویژگی‌های دیگری نیز به همراه می‌آورند، مانند بهبود تصویر شرکت یا کسب تأیید جامعه

محلّی. در بعد استراتژیک، این نوع تعهد به نام «بشردوستانه یا خیریه» شناخته می‌شود. در اینجا، استراتژی مسئولیت اجتماعی شرکتی را به‌عنوان محافظ ارزش‌ها در نظر می‌گیرد، زیرا هدف آن متمرکز شدن بر کاهش هزینه‌ها و جلوگیری از اتلاف منابع است. روابط با ذینفعان به‌طور یک‌سویه‌ای شکل می‌گیرد و هماهنگی ابتکارات خیریه معمولاً از طریق بخش‌های ارتباطات یا روابط عمومی انجام می‌شود. در ارتباط با زیرجنبه دوم، این سطح بلوغ بیان می‌کند که شرکت عمدتاً بر حداقل کردن هرگونه اثر منفی ممکن از فعالیت‌های خود متمرکز است.

سطح سوم بلوغ - نوآورانه - نمایانگر مرحله اخلاق محدود در بعد فرهنگی است. نوع فرهنگ ذینفعان «ابزاری» - همان‌طور که از نامش پیداست - با رویکرد ابزاری به مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) مشخص می‌شود که بر اساس تمایل شرکت به پرداختن به مسائل اجتماعی به دلیل مزایا و فواید خاصی که با چنین رفتاری همراه است، شکل می‌گیرد. مشارکت مدیریت در این سطح بسیار قابل توجه است - مدیریت ارشد از ابتکارات CSR حمایت می‌کند، زیرا می‌داند که این ابتکارات مجوزی برای فعالیت شرکت فراهم می‌آورند و می‌توانند منافع اقتصادی قابل مشاهده‌ای به همراه داشته باشند. نوع CSR که در سطح سوم بلوغ تحقق می‌یابد، به عنوان «خیریه استراتژیک» نام‌گذاری شده است. این شامل بازطراحی برخی محصولات یا فرآیندها به گونه‌ای است که به جامعه خدمت کند (یک مشکل اجتماعی خاص را حل کند)، اما در عین حال، مزایای خاصی برای شرکت به همراه داشته باشد. در اینجا، رابطه با ذینفعان دارای ماهیتی دوطرفه و تعاملی است، ابتکارات از طریق مدیر مسئول CSR یا امور اجتماعی به‌طور بین‌وظیفه‌ای هماهنگ می‌شوند و در گزارش‌های عمومی در دسترس نوشته می‌شوند. حوزه تأثیر به حداقل رساندن عواقب منفی فعالیت‌های شرکتی و تقویت عواقب مثبت محدود می‌شود.

سطح چهارم بلوغ مسئولیت اجتماعی شرکتی (CSR) - یکپارچه - به فاز اخلاق گسترده و فرهنگ ذینفعان که به عنوان «قوه درک» تعریف شده، تغییر می‌یابد. پاسخگویی اجتماعی شرکتی به شدت پیشرو است، زیرا اهداف مسئولیت اجتماعی در اهداف استراتژیک گنجانده می‌شوند و مدیریت به تحقق آن‌ها متعهد است. انگیزه اصلی برای مشارکت شرکت در عمل CSR، تمایل به کسب مزیت رقابتی بر اساس مفهوم «ارزش مشترک» (ارزش اقتصادی-اجتماعی) است که شامل تولید ارزش اقتصادی به گونه‌ای است که به طور همزمان ارزش اجتماعی را ایجاد کند و نیازها و مشکلات جامعه را برآورده سازد. نوآوری (ارزش مشترک) به منبعی برای ایجاد ارزش جدید (و نه تنها حفاظت از آن) تبدیل می‌شود و دیگر فقط یک حاشیه تجاری نیست، بلکه هسته اصلی فعالیت‌های تجاری محسوب می‌شود. نوع CSR در این سطح از بلوغ را می‌توان «مهندسی دوباره زنجیره ارزش» نامید، که شامل پیاده‌سازی نوآوری در سرتاسر زنجیره ارزش و ادغام آن‌ها در توانمندی‌های اصلی شرکت است. این رویکرد به مسئولیت اجتماعی نه تنها به سیاست، بلکه به برنامه‌ها و سیستم‌های منسجم و از پیش طراحی شده و هماهنگی بین وظیفه‌ای نیاز دارد. حوزه تأثیر شرکت در اینجا به طور قابل توجهی از مرحله قبلی گسترش می‌یابد تا مسئولیت منفی مبتنی بر اهرم را شامل شود (فشار آوردن بر دیگر نهادهایی که در یک رابطه هستند تا از عوارض منفی یا مضر آن‌ها بر محیط اجتماعی یا طبیعی جلوگیری یا آن‌ها را کاهش دهند) - اغلب، شرکت‌ها در بالا یا پایین زنجیره ارزش (تأمین‌کنندگان، پیمانکاران فرعی، مشتریان و غیره) قرار دارند.

آخرین و پنجمین سطح بلوغ - تحول‌آفرین - نمایانگر اخلاق و فرهنگ گسترده ذینفعان است که به عنوان «نوع‌دوست» شناخته می‌شود. مسئولیت اجتماعی به عنوان یک نظریه مدیریتی کاملاً درونی‌شده در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند قواعد بازی در بازار را تغییر دهد. هدف اصلی آن ایجاد یک مدل کسب‌وکار جدید است که بر اساس ادغام سود با منافع اجتماعی باشد و این امکان را فراهم آورد که پیشرفت اجتماعی سریع‌تر صورت گیرد و به شرکت‌ها اجازه رشد بیشتری بدهد. بدین ترتیب، رونق مثبت شرکتی با رفاه یک جامعه محلّی یا جهانی همراه می‌شود و منجر به بازدهی سودآور در بلندمدت می‌گردد [Porter و Kramer، ص. ۵۴]. مسئولیت اجتماعی شرکتی در بالاترین سطح بلوغ به عنوان «تحول اکوسیستم» نامیده می‌شود. این سطح نیاز به ادغام کامل با فعالیت‌های کلیدی کسب‌وکار و هماهنگی شیوه‌های مختلف دارد، که این امر نیازمند تغییر ساختار سازمانی و تعهد به بالاترین سطوح مدیریت است. دامنه تأثیر تحت تأثیر یک دایره دیگر قرار می‌گیرد - مسئولیت مثبت مبتنی بر اهرم (فشار مثبت بر بازیگران در شبکه روابط شرکت) به منظور ایجاد تأثیر مثبت بر جامعه یا طبیعت.

مراجع:

۱. [Baumol W.J., [red (۱۹۷۰)، دلیل جدیدی برای سیاست اجتماعی شرکتی، نیویورک: کمیته توسعه اقتصادی (CED)
۲. Berger I.E., Cunningham P., Drumwright M.E. (۲۰۰۷)، «جای دادن مسئولیت اجتماعی شرکتی: توسعه بازارهای فضیلت»، بررسی مدیریت کالیفرنیا، ۴۹
۳. Garriga E, Mele D. (۲۰۰۴)، «نظریه‌های مسئولیت اجتماعی شرکتی: نقشه‌برداری از قلمرو»، مجله اخلاق کسب و کار، ۳ (۱۰۲)
۴. Goldenson R., Gibson D. (۲۰۰۳)، نمایش تأثیر و مزایای CMMI®: آپدیت و نتایج مقدماتی، گزارش ویژه. www.ralphyoung.net/articles/PI_Results_SEI.pdf
۵. Jones T., Felps W., Bigley G. (۲۰۰۷)، «نظریه اخلاقی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با ذینفعان: نقش فرهنگ ذینفعان»، بررسی آکادمی مدیریت، جلد ۳۲، شماره ۱
۶. Kania K. (۲۰۱۳)، بهبود مدیریت فرایندهای کسب و کار در سازمان با استفاده از مدل‌های بلوغ و فناوری‌های اطلاعاتی و ارتباطی، PN دانشگاه اقتصادی کاتوویس، کاتوویس

گزارش پروژه‌ها

آرپو



چابهار

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت تولید نیروی جنوب شرق صبا

وقایع مهم پروژه

تحويل موقت شده است

خرم آباد

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت مولد نیروی خرم آباد

وقایع مهم پروژه

تحويل موقت شده است

آب شیرین کن مجتمع چارک

EPC

۵۱٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

گروه مینا (توسعه آب لیان)

کارفرمای اصلی: شرکت آب و فاضلاب استان هرمزگان

وقایع مهم پروژه

در ادامه فعالیت های طراحی و تامین، تجهیزات و اقلام زیر تامین و به

سایت ارسال شده است:

RO Rack, Pressure Vessels

سفارش گذاری سایر اقلام و تجهیزات نیز انجام شده و در مرحله تامین و ارسال می باشند.

فعالیت های اجرای آبگیر و اجرای عملیات عمرانی در حال اجرا می باشد.

آب شیرین کن شهر دیر

EPC

۵۷٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

گروه مینا (توسعه آب لیان)

کارفرمای اصلی: شرکت آب و فاضلاب استان بوشهر

وقایع مهم پروژه

در ادامه فعالیت های طراحی و تامین، تجهیزات و اقلام زیر تامین و به

سایت ارسال شده است:

RO Rack, Pressure Vessels, Dosing Skids

سفارش گذاری سایر اقلام و تجهیزات نیز انجام شده و در مرحله تامین و ارسال می باشند.

فعالیت های اجرای آبگیر و اجرای عملیات عمرانی در حال اجرا می باشد.

غرب کارون

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت تولید برق غرب کارون مینا

وقایع مهم پروژه

در مرحله تحويل موقت

رومیله فاز ۲ مازول ۱

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت شامارا

وقایع مهم پروژه

تحويل دائم شده است

رومیله فاز ۲ مازول ۲

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت شامارا

وقایع مهم پروژه

سنکرون شده و در حال تحويل موقت می باشد

رومیله فاز ۴ مازول ۱

EP

۷۶٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت شامارا

وقایع مهم پروژه

در ادامه فعالیتهای تامین تجهیزات ۲۰ دستگاه هارپ و ۳ محموله پایپینگ حمل

کردید. ساخت اسپول ها و لینگ در کارخانه مینا بویلر به اتمام رسید.

رومیله فاز ۴ مازول ۲

EP

۴۷٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت شامارا

وقایع مهم پروژه

در ادامه فعالیت های ساخت مجموعه پایپینگ در حال انجام می باشد.

گروه انرژی گستر قشم

EP

۹۹٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

گروه انرژی گستر قشم

وقایع مهم پروژه

در ادامه فعالیت های نصب . فعالیت نصب قسمت مکانیکال رو به اتمام

بوده و قسمت پایپینگ در حال انجام می باشد

زنجان

EP

۷۲٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

توسعه انرژی شمال و جنوب

وقایع مهم پروژه

در ادامه فعالیت های تامین تجهیزات بخش قابل توجهی هارپ ساخته

شده و آماده حمل می باشد .

فعالیت ساخت مجموعه پایپینگ شروع شده است.

زنجان

EP

۷۲٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

توسعه انرژی شمال و جنوب

وقایع مهم پروژه

در ادامه فعالیت های تامین تجهیزات بخش قابل توجهی هارپ ساخته

شده و آماده حمل می باشد .

فعالیت ساخت مجموعه پایپینگ شروع شده است.

بویلر سوم پالایشگاه اصفهان

(طراحی، تامین و نصب اقلام تحت فشار)

EP+Assembly

۹۸٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

پالایشگاه اصفهان

وقایع مهم پروژه

ارسال تجهیزات باقیمانده به منظور ادامه فاز نصب

مخازن صنایع شیمیایی

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت سرمایه گذاری صنایع شیمیایی ایران

وقایع مهم پروژه

پروژه اتمام یافته است.

گل گهر ۲

EP

۴۹٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت مولد نیروگاهی گوهر سیرجان

وقایع مهم پروژه

فاز های طراحی و تامین پروژه در حال انجام می باشد.

اردکان

EP

۱۷٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت مجتمع صنعتی چادرملو

وقایع مهم پروژه

فاز های طراحی و تامین پروژه در حال انجام می باشد.

ترت حیدریه

EP

۹۸٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت تولید برق راشد ترت حیدریه

وقایع مهم پروژه

تجهیزاتی از جمله استک، داکت، اینتگرال پایپینگ و برخی مخازن به سایت ارسال شده است.

در حال ساخت وارسال تجهیزات از جمله هارپ و درام ها، کیسینگ، استراکچر می باشد، در حال تامین اهم تجهیزات من جمله پمپ ها و ولو ها و ابزار دقیق می باشد.

بویلر پتروشیمی خارک

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت پتروشیمی خارک

وقایع مهم پروژه

ترخیص و ارسال تجهیزات باقیمانده از جمله PRV ، ابزار دقیق و کانتکس CEMS و لوازم یدکی

بویلر پکیج مکران

EPC

۹۷٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت آب و نیروی مکران

وقایع مهم پروژه

فاز طراحی به پایان رسیده است.

فاز تامین پروژه رو به پایان است.

فاز نصب متوقف است.

ارومیه ۳و۲

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

گروه ماهتاب گستر

شرکت تدبیر سازان سرآمد

وقایع مهم پروژه

عملیات سنکرون و تحویل موقت و دائم مائول ۲ و سنکرون

و تحویل موقت مائول ۳ انجام شده است

لاذقیه

EP

۹۷٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

PEEG

وقایع مهم پروژه

در مراحل پایانی فاز طراحی و تامین

ارسال عمده تجهیزات به اتمام رسیده است.

پروسه تامین اقلام آیتم های باقی مانده نیز در حال انجام می باشد

لیکن به دلیل شرایط نا امنی سایت، تنها فرآیند ارسال متوقف شده است.

مخازن Scrubber شوربجه

EP

۶٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت ملی گاز

وقایع مهم پروژه

فاز های طراحی و تامین پروژه در حال انجام می باشد.

دماوند بویلر ۳

EPC

۹۹٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

پتروشیمی دماوند

وقایع مهم پروژه

عملیات Seam Blow Out انجام شده است و سایر مدارک باقی مانده در

دست صدور است

پروژه اکسیژن سازی کانتینری

EPCC

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت تبسم

وقایع مهم پروژه

پروژه اتمام یافته است.

جنوب دو

EP

۸۱٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

فولاد مبارکه اصفهان

وقایع مهم پروژه

بخش عمده تجهیزات به سایت ارسال شده است و پروسه نصب توسط پیمانکار نصب در حال انجام می باشد. و پروسه تامین اقلام آیتم های باقی مانده نیز در حال انجام می باشد.

عسلویه مدول ۱ و ۲

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

فولاد مبارکه اصفهان

وقایع مهم پروژه

مدول یک تحویل موقت شده است .
مدول دو در مرحله تحویل موقت

سمنان

EP

۲٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت مولد برق نیروگاهی سامان

وقایع مهم پروژه

فاز طراحی و تامین شروع شده است
پیمانکاران ساخت تجهیزات کیسینگ و استک و استراکچر مشخص شده اند

عسلویه مدول ۳

EP

۸۵٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت سرمایه گذاری مینا

وقایع مهم پروژه

فاز های طراحی و تامین پروژه در حال انجام می باشد.
ارسال تجهیزات باقیمانده به منظور شروع فاز نصب

فردوسی مدول ۳

EP

۸۴٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت سرمایه گذاری مینا

وقایع مهم پروژه

فازهای طراحی و تامین پروژه در حال انجام می باشد.
ارسال تجهیزات باقیمانده به منظور شروع فاز نصب

بویلرپتروشیمی هرمز

EPC

۳۶٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت پتروشیمی هرمز خلیج فارس

وقایع مهم پروژه

فازهای طراحی و تامین پروژه در حال انجام می باشد.

اندیمشک

EPC

۲٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

پتروشیمی اندیمشک

وقایع مهم پروژه

ادامه فاز طراحی، تامین و ساخت تجهیزات

بویلرهای پکیج ۳۱۰۰ NGL

EPC

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت OIEC

وقایع مهم پروژه

تحویل موقت پروژه انجام شده است

سبلان مدول ۱ و ۲ و ۳

EP

۱۰۰٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

سبلان برق امید

وقایع مهم پروژه

مدول یک تحویل دائم شده است
مدول دو تحویل موقت شده است
مدول سه در مرحله اخذ تحویل موقت

رودشور

EP

۹۹٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

تولید برق امیرکبیر

وقایع مهم پروژه

در مرحله تامین کسری های نصب

بویلر پکیج دهلران

EP

۶۵٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت پتروشیمی دهلران

وقایع مهم پروژه

تجهیزاتی از جمله استک، بنک تیوب، داکت، کیسینگ و برخی مخازن به سایت ارسال شده است .
ادامه فرایند طراحی پروژه و همچنین ادامه تامین اهم تجهیزات پروژه از جمله: ولوها ، ابزار دقیق و تجهیزات مکانیکال

WTP تربت

EP

۶٪

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

شرکت تولید برق راشد تربت حیدریه

وقایع مهم پروژه

ادامه فاز طراحی، تامین و ساخت تجهیزات

EP

WTPلاذقيه

۹۶%

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

PEEG

وقایع مهم پروژه

اسکیدها ساخته شده ولی به دلیل شرایط نا امنی سایت، فرآیند ارسال متوقف شده است.

EP

آب شیرین کن لیان

پروژه طراحی، مهندسی و تامین آب شیرین کن ۳۵۰۰۰ مترمکعب در شبانه روز لیان

۱۰۰%

درصد پیشرفت کل

کارفرمای اصلی

گروه مینا
کارفرمای اصلی: شرکت آب و فاضلاب استان بوشهر

وقایع مهم پروژه

فاز ۱ تحویل موقت و راهاندازی شده است.

گوه مینا

شرکت مهندسی و ساخت
بویلر و تجهیزات مینا



Mapnabe.com

دفتر تهران: خیابان افریقا نرسیده به بزرگراه مدرس
کوچه گلخانه، شماره ۷، کدپستی تهران: ۱۹۱۵۸۴۳۶۱۳

کارخانه: کیلومتر ۱۲ اتوبان کرج - قزوین، بلوار کاوش
کدپستی کارخانه: ۳۳۶۵۱۶۶۳۴۱