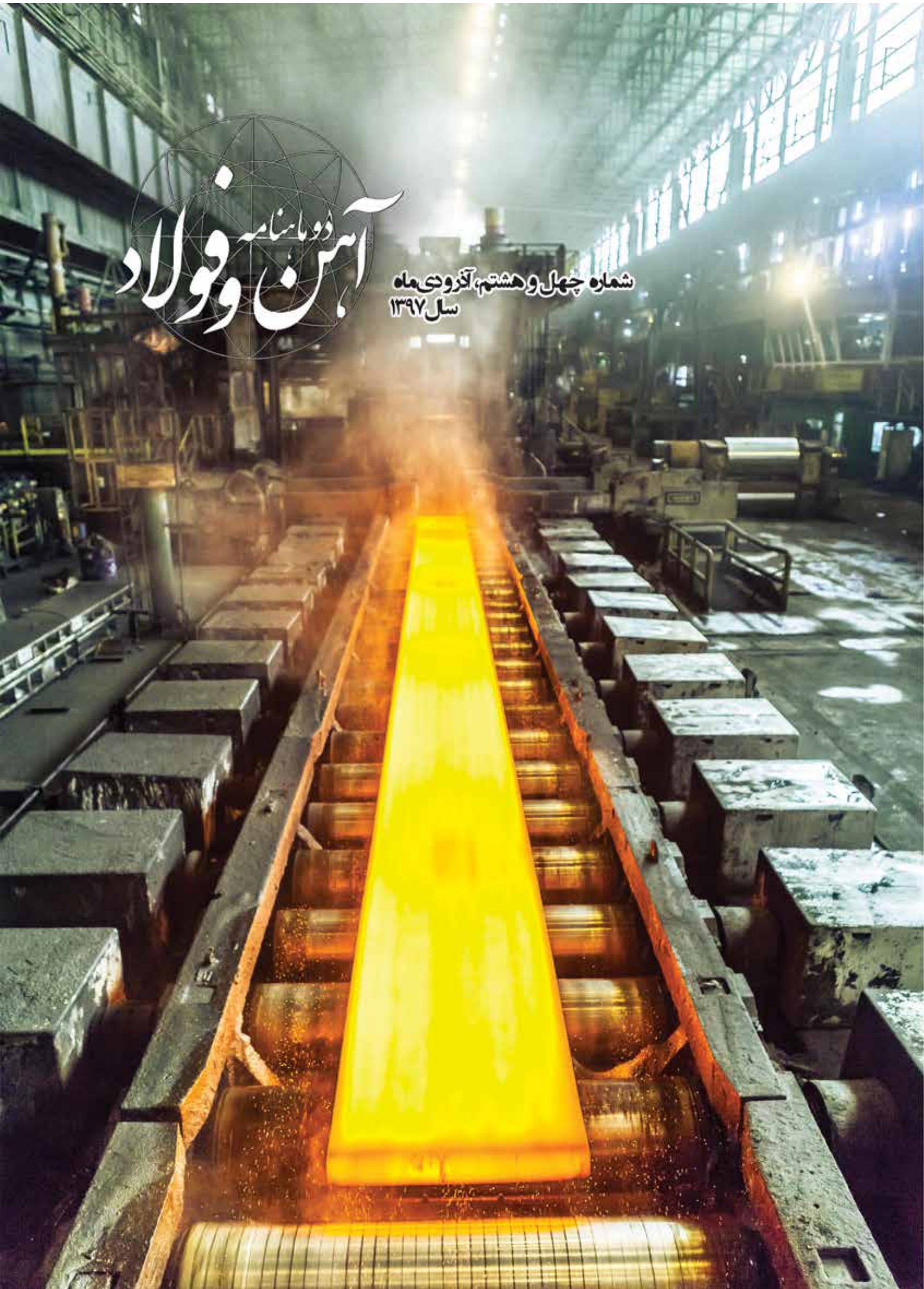


دو ماهنامه آهن و فولاد

شماره چهل و هشتم، آذر دی ماه
سال ۱۳۹۷





مجمع
فولاد
مبارک



دوماهنامه آهن و فولاد
شماره چهل و هشتم، آذر و دی ماه
سال ۱۳۹۷



فهرست

اهمیت بررسی خواص مغناطیسی در فولاد و بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر آن
با نگاه ویژه به تولید فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا (HSLA)



محسن علیزاده ۲

تکنولوژی های جدید در صنعت تولید آهن و فولاد و راه های بهبود آنها



علی شعبانی ۱۴

بررسی اثر نشر پوشش سرامیکی بر پایه کاربید سیلیسیم و اکسید مولیبدن
بر روی پانل سقف کوره قوس شرکت فولاد مبارک اصفهان



مجید جعفری، رضا حریری، بهنام پورنصیر ۲۶

الگوی بلوغ نوآوری در شرکت فولاد مبارک اصفهان



مژده میرعنایت، سیامک شجاعی، محمد ناظمی هرنندی، ۳۶

طراحی و ساخت سامانه تشخیص ورق گرم (HMD) به روش راداری



شروین امیری، مجید طیرانی، رضا وزیری، مهدی برهانی ۵۴

راهنمای تهیه و تدوین مقالات دوماهنامه آهن و فولاد



۶۴

صاحب امتیاز: شرکت فولاد مبارک اصفهان
مدیر مسئول: در حال تغییر
سردبیر علمی: مسعود هراتیان

سردبیر اجرایی: رسول مهماندوست
دبیر اجرایی: سجاد امیری فارسانی

هیات تحریریه:

شهرام عباسی

محمد ناظمی هرنندی

طهمورث جوانبخت

غلامرضا طاهری

مسعود هراتیان

علی مالکی

ابوذر طاهری زاده

نشانی:

اصفهان، شرکت فولاد مبارک اصفهان

تلفن: ۰۳۱-۵۲۷۳۳۴۵۰

دورنگار: ۰۳۱-۵۲۷۳۳۷۸۰

آدرس اینترنتی:

<http://ironandsteel.msc.ir>

نشریه در حکم و اصلاح مطالب ار سالی آزاد است.
مقالات ار سالی برگشت داده نخواهد شد.
مسئولیت مطالب به عهده نویسنده آن است.
اصل تصاویر و عکس ها با کیفیت مطلوب ار سال گردد.
نقل مطالب با ذکر مأخذ بلامانع است.

شمارگان: ۳۰۰۰ جلد

قیمت: ۳۰۰۰ تومان

طرح جلد و صفحه آرایی: گرافیک نقطه

۰۹۱۳۳۰۰۸۱۹۳

چاپ: آرمان نو



اهمیت بررسی خواص مغناطیسی در فولاد و بررسی تأثیر عوامل مؤثر بر آن بانگاه ویژه به تولید فولادهای کم آلیاژ استحکام بالا (HSLA)

محسن علی زاده

۱- دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی مالک اشتر اصفهان

چکیده

توسط میکروسکپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) بررسی شد. برای بررسی خواص مغناطیسی از دستگاه مغناطومتر ارتعاشی (VSM) و دستگاه اندازه‌گیری ظرفیت القای مغناطیسی (LCR) استفاده شد. مشاهده شد که فرایند پیرسازی در مقایسه با حالت سرمایش سریع، موجب کاهش کسر حجمی ریزساختار لایه‌ای و افزایش فاصله میانگین بین لایه‌ها شد. با انجام فرایند پیرسازی، نیروی وادارندگی مغناطیسی نسبت به شرایط سریع سردشده از ۴/۵ به ۳/۰ و اورستد و نفوذپذیری اولیه نسبی مغناطیسی از حدود ۷۶ به ۶۶ کاهش یافت.

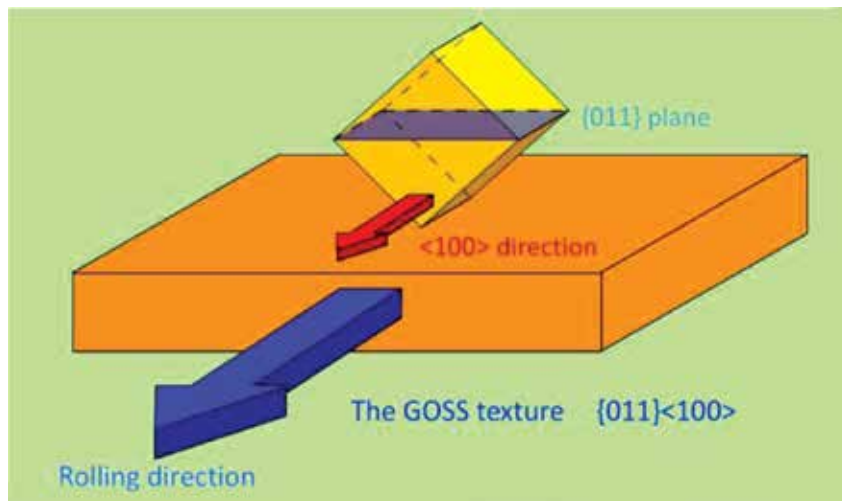
کلمات کلیدی:

فولاد، مغناطیس، وادارندگی، خواص مکانیکی، فولادهای HSLA، ریزساختار، مغناطیس نرم.

هدف از این مقاله، معرفی کلی از جایگاه فولاد در کاربردهای مغناطیسی در صنایع مختلف است. فولادها با توجه به گسترده بودن آن‌ها در سه دسته مواد فرو مغناطیس نرم، سخت و پادمغناطیس تقسیم‌بندی می‌شوند که به معرفی هر یک از آن‌ها پرداخته شده است. علاوه بر این سعی شده عوامل مؤثر بر خواص مغناطیسی فولادها به صورت اجمالی شرح داده شود. به منظور بررسی دقیق‌تر و آشنایی با تجهیزات ارزیابی خواص مغناطیس به طور نمونه خواص مغناطیسی فولاد HSLA-100 ساخت داخل بررسی شده است. برای نشان داده تغییرات مغناطیسی در فولاد از عملیات حرارتی پیرسازی بهره گرفته شد. به این منظور، فرایند آستنیت‌دهی در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه و سرمایش سریع در آب سرد انجام شد. سپس فرایند پیرسازی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۶۰ دقیقه صورت گرفت. ریزساختار

مقدمه

فولادها به دلیل اینکه عنصر پایه آن از آهن (که یک ماده فرومغناطیس است)، تشکیل شده دارای خاصیت مغناطیسی می باشد [۱]. علاوه بر این با توجه به قیمت پایین و استحکام بالا نسبت به سایر مواد مغناطیسی از آن ها در برخی از کاربردهای مغناطیسی استفاده می شود. فولادها بر اساس ترکیب شیمیایی و ساختار فاز اصلی جز مواد فرومغناطیس نرم، سخت و پادمغناطیس قرار می گیرند [۲]. کربن عامل اصلی در فولاد است که فولاد را در مواد فرومغناطیس نرم و یا سخت قرار می دهد. عمدتاً فولادهای با کربن بالا دارای خواص مغناطیسی سخت هستند که در آهنرباهای دائم کاربرد دارند. فولادهای با حضور کربن اندک نیز جزء مواد فرومغناطیس نرم محسوب می شوند. در کاربردهایی که نیازی به خواص مغناطیسی عالی نیست، گاهی اوقات فولادهای کم کربن مثل ۱۰۰۸، ۱۰۱۰، ۱۴L، ۱۲ و غیره به کار می رود. فروش اینگونه فولادها بر اساس مشخصات مغناطیسی قرار ندارد و ممکن است بسته به روش ذوب و وضعیت فیزیکی محصول، تغییرات قابل ملاحظه ای در کیفیت آن ها وجود داشته باشد. اگر قطعات ساخته شده از این فولادها بر طبق روش های توصیه شده برای فولادهای کم کربن مغناطیسی نرم با کیفیت بالا آنیل شوند، ویژگی مغناطیسی نرم آن ها بهبود می یابد. البته دارای درجه بهبود تضمین شده نیست و قطعه ممکن است با گذشت زمان در معرض پیری قابل ملاحظه ای قرار گیرد. این فولادها به علت قیمت پایین، در دسترس بودن و قابلیت ماشین کاری به عنوان قطعات قطب در الکترومگنت ها مورد استفاده قرار می گیرند. اما فولادهایی نیز وجود دارند که با توجه به طراحی ترکیب شیمیایی آن عمدتاً در کاربردهای مغناطیسی خاص استفاده می شوند. این فولادها تحت عنوان فولادهای مغناطیسی یا سیلیسمی در بازار شناخته می شود. همان طور که از اسم این دسته فولادها مشخص است عنصر قابل توجه در آن ها سیلیسم است. حضور سیلیسم باعث افزایش مقاومت الکتریکی، کاهش انرژی آنیزوتروپی مگنتو کریستالی و تنگش مغناطیسی می شود. لذا در فولادهای سیلیسمی نفوذ مغناطیسی بالا و اتلاف هیستریزس پایین حاصل می گردد. البته با افزودن سیلیسم به آهن، دمای کوری و اشباع مغناطیسی کاهش می یابد. این آلیاژها بر اساس خواص مغناطیسی معین به خصوص اتلاف هسته فروخته می شوند. مقدار سیلیسم در عین حال که باعث افزایش خاصیت مغناطیسی می شود به دلیل وجود مراحل نورد سرد می تواند موجب تردی ورق و یا پارگی آن حین تغییر شکل گردد. بنابراین انتخاب میزان سیلیسم در فولاد اهمیت زیادی پیدا می کند. امروزه مهم ترین پارامترهای مورد تحقیق در رابطه با فولادهای مغناطیسی عمدتاً تغییر ترکیب شیمیایی، امکان ایجاد بافت مناسب در ورق و کنترل داشتن بر اندازه حوزه های مغناطیسی را در بر می گیرند. هر یک از این موارد به ترتیب موضوعات تحقیقاتی وسیعی را تشکیل می دهند که اساساً رقابت در بهبود کیفیت محصول تولید شده بستگی کامل به آن ها دارد. یکی از کاربردهای ویژه فولادهای سیلیسمی استفاده در ساخت ترانسفورمورها است. در این قطعات از ورق هایی به صورت لایه لایه در هسته آن استفاده شده که از فولاد سیلیسم دار حدود ۳٪ سیلیس با کربن خیلی پایین به شکل ورق نورد تولید می گردد. خواص نهایی در واقع خواص مغناطیسی، سهولت در مغناطیس شدن در یک جهت کریستالی خاص، تلفات هیستریزس کم و تلفات جریان گردابی کم می باشند. دو مورد اول متأثر از ترکیب شیمیایی و بافت و خلوص فولاد می باشد و مورد آخر در واقع بیش تر تابع اندازه دانه ها،



شکل ۱- طرح‌واره بافت گوس ایجادشده در فولادهای مغناطیسی سیلیسیمی [۲].

پایدار موجود کاملاً پارامغناطیس هستند. فاز آستنیت فولاد در بالای دمای AC₁ ایجاد می‌شود که تقریباً دمای بحرانی AC₁ به دمای کوری نزدیک است. قابلیت نفوذ مغناطیسی در فولادهای آستنیتی با فرایند کار سرد افزایش می‌یابد زیرا مقداری مارتنزیت ایجاد می‌گردد که یک ساختمان فرومغناطیس است. برای بعضی انواع مانند ۳۰۴ و ۳۰۲ AISI افزایش در قابلیت نفوذ مغناطیسی می‌تواند قابل ملاحظه باشد. در نتیجه این فولادها در فرایند کار سرد شدید می‌توانند تا حدودی فرومغناطیسی باشند.

با پیشرفت تکنولوژی فولادهایی وارد بازار شدند که با توجه به ترکیب شیمیایی آن‌ها خاصیت مغناطیسی بسیار نرمی در آن‌ها ایجاد شده است که تحت عنوان فولادهای کم‌آلیاژ استحکام بالا^۱ (HSLA) هستند. البته طراحی این فولادها به جهت کاربرد آن‌ها از خواص مغناطیسی بسیار نرم

ضخامت ورق و تنش‌های داخلی است. گونه‌ای خاصی از دسته این فولادها، فولادهای سیلیسیمی دارای بافت ترجیحی است. بیش‌ترین خاصیت مغناطیسی شدن در این گونه فولادها در جهت کریستالی <۱۰۰> دیده شده است [۲]. بنابراین سعی زیادی بر آن است که دانه‌های که جهت <۱۰۰> آنها موازی با جهت نور ورق باشد تولید شود. در عمل بافتی که ضمن پروسه‌های پیچیده تولید این ورق‌ها (شامل نور گرم، نور سرد و آنیل‌های نهایی و میانی) ایجاد می‌شود، دارای جهت کریستالی مرجح <۱۰۰> {۰۱۱} (یا بافت GOSS) می‌باشد (شکل ۱). در جدول ۱ برخی از فولادهای سیلیکونی با ذکر خواص مغناطیسی آن مشخص شده است [۲].

در دسته جامع و کامل انواع فولادها، فولادهایی زنگ‌نزن آستنیتی نیز حضور دارند که جزء مواد پادمغناطیس قرار می‌گیرند. فولادهای زنگ‌نزن آستنیتی به دلیل فاز آستنیت

جدول ۱- معرفی برخی از فولادهای سیلیکونی با ذکر خواص مغناطیسی آن‌ها [۲]

Category	ASTM no.	Thickness, 0.001 inch	Thickness, mm	Maximum B, kG	Loss, W/lb	Loss, W/kg
Lamination steel	47D175	18.5	0.47	15	1.75	3.85
	79D610	31	0.79	15	6.10	13.4
Grain-oriented (GO) electrical steel	18G041	0.007	0.18	15	0.41	0.90
	35G066	0.0138	0.35	15	0.66	1.46
GO high-permeability electrical steel	23P060	0.009	0.23	17	0.60	1.32
	27P066	0.106	0.27	17	0.66	1.46
GO high-permeability laser-scribed electrical steel	23Q054	0.009	0.23	17	0.54	1.19
	27Q057	0.106	0.27	17	0.58	1.28

آن‌ها نبوده است [۳]. فولادهای کم‌آلیاژ استحکام بالا (HSLA) دسته از فولادها هستند که از فولادهای کم‌کربن توسعه پیدا کرده‌اند [۴]. یکی از شاخص‌ترین نوع از این دسته، فولاد HSLA-100 است [۵]. در ترکیب شیمیایی این فولاد، کربن کم‌تر از ۰/۰۶ درصد وزنی وجود دارد. حضور کربن بسیار کم، موجب افزایش مقاومت به خوردگی یکنواخت، شکل‌پذیری و جوش‌پذیری شده است. با وجود درصد کربن بسیار پایین، این فولاد دارای استحکام تسلیم بالایی است. یکی از دلایل اصلی استحکام تسلیم بالا در این فولاد، اندازه کوچک دانه‌های آستنیت است (حدود ۱۰ میکرومتر). حضور عناصر میکروآلیاژ کاربیدساز و فرایند حرارتی مکانیکی موجب کاهش اندازه دانه‌ها نسبت به فولاد ساده کم‌کربن شده است. علاوه بر این، به واسطه حضور عناصری هم‌چون مس، عملیات حرارتی پیرسازی^۱ به افزایش استحکام تسلیم کمک می‌کند. سرمایش سریع فولاد پس از آستنیت‌شدن، باعث ایجاد یک محلول فوق‌اشباع از مس می‌شود. زمانی که فولاد تحت فرایند پیرسازی قرار می‌گیرد، مس از حالت فوق‌اشباع خود خارج و در زمینه رسوب می‌نماید [۶]. نوع فصل‌مشتک و اندازه رسوبات مس به شدت به دما و زمان پیرسازی بستگی دارند. علاوه بر این، اندازه و نوع فصل‌مشتک رسوبات مس، بر خواص مکانیکی و مغناطیسی مؤثر است. فولادهای حاوی مس، مانند فولاد HSLA-100 به دلیل مقاومت به خوردگی اتمسفری بالا، کاربرد وسیعی در صنایع دریایی از جمله ساخت بدنه زیردریایی دارند. جهت ساخت بدنه زیردریایی

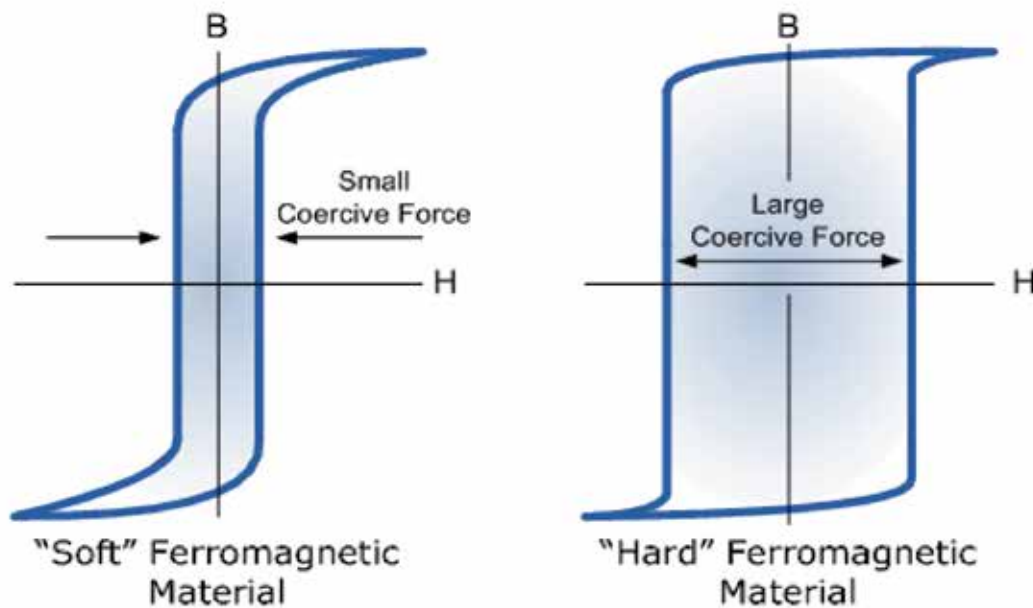
باید از فولادهایی استفاده شود که علاوه بر مقاومت به خوردگی بالا، تنش ناشی از فشار آب در عمق دریا را تحمل کند. ابتدا در آمریکا جهت ساخت زیردریایی از فولاد استحکام بالای^۲ HY استفاده شد. مشکل اساسی فولادهای HY در عملیات جوشکاری بود. در جوشکاری فولادهای HY، به منظور جلوگیری از ایجاد ترک ناشی از حضور کربن معادل بالا، نیاز به پیش‌گرم بود. پیش‌گرم هزینه ناشی از ساخت بدنه کشتی و زیردریایی‌ها را افزایش می‌داد [۷]. برای کاهش هزینه ناشی از ساخت بدنه زیردریایی باید کربن موجود در ترکیب شیمیایی کم می‌شد. به این منظور با کاهش کربن در فولادهای HSLA-80 و HSLA-100، جوش‌پذیری افزایش و هزینه ناشی از ساخت بدنه زیردریایی کاهش یافت. در سال ۱۹۸۴ فولاد HSLA-80 وارد بازار شد و پس از آن در سال ۱۹۹۰ فولاد HSLA-100 تولید انبوه شد. علاوه بر این، فولاد HSLA-100 با توجه به خاصیت مغناطیسی نرم (نیروی وادارندگی پایین) و نفوذپذیری مغناطیسی^۳ و مغناطش اشباع بالا جایگزین مناسبی برای فولادهای سیلیسیوم‌دار است و می‌توان از آن‌ها در ساخت ترانسفورماتورها بهره برد [۸]. مواد فرومغناطیس نرم دارای نیروی وادارندگی مغناطیسی^۴ (HC) پایینی نسبت به مواد سخت مغناطیسی هستند (شکل ۲). به عبارتی منحنی هیستریزس مغناطیسی فولادهای HSLA لاغر است. عوامل مختلفی بر نیروی وادارندگی اثر گذار هستند که مهم‌ترین آن‌ها نواقص شبکه و ناهمسانگردی هستند. یک ماده فرومغناطیس دارای حوزه‌های مغناطیسی است. بین هر



1- aging
2- high yield
3- permeability
4- coercivity

حوزه مرز ظخیمی (حدود ۲۰ الی ۵۰ نانومتر) وجود دارد که به آن دیواره حوزه^۱ (DW) می‌گویند. زمانی که به یک ماده فرومغناطیس میدان مغناطیسی اعمال شود، حوزه‌ها با بردار مغناطش هم‌جهت با میدان شروع به رشد و حرکت می‌کنند. نواقص شبکه مانند نابجایی، مرزدانه، فاز ثانویه (رسوب) و حفره مانع از حرکت دیواره حوزه‌های مغناطیسی می‌شوند. عواملی که حرکت دیواره حوزه‌های مغناطیسی با مشکل رو به رو می‌سازد، موجب افزایش نیروی وادارندگی می‌شوند. علاوه بر این، عامل دیگری که باعث افزایش نیروی وادارندگی می‌شود، ناهمسانگردی شبکه است. فولادهای HSLA به‌دلیل ساختار فریتی با شبکه بلوری BCC اثر ناهمسانگردی بر نیروی وادارندگی جزئی دارند. به‌عبارتی

بردار مغناطش در جهت آسان مغناطیسی به‌راحتی در جهت میدان قرار می‌گیرد. این ویژگی ناشی از اختلاف کم تعداد اتم‌ها در جهت‌های مختلف شبکه BCC است. علاوه بر این، عناصر مانند آلومینیم یا سیلیسیم در فولاد هستند که نه تنها بر نیروی وادارندگی بلکه بر جریان‌های گردابی^۲ یا توان تلف‌شده^۳ اثر گذار هستند. در ترانسفورماتورها که انرژی الکتریکی را به مکانیکی تبدیل می‌نماید، جریان‌های گردابی مانع از کارکرد مناسب آن‌ها می‌شوند. عناصری که مقاومت الکتریکی فولاد را افزایش می‌دهند (مانند آلومینیم، سیلیسیم و منگنز) باعث کاهش ایجاد جریان‌های گردابی می‌شوند. در قسمت زیر مروری مختصر بر اثر انواع عناصر آلیاژی بر خواص مغناطیسی فولادها ذکر شده است [۹].



شکل ۲- منحنی پسماند مغناطیسی برای مواد با خاصیت مغناطیسی نرم و سخت.



- 1- domain wall
- 2- eddy current
- 3- core loss

کربن

کربن به میزان ۰/۰۲ درصد وزنی تا زیر دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد در آهن حل می‌شود [۱۰]. غلظت‌های بیش‌تر کربن به‌صورت فاز دوم سمنتیت در فولاد تشکیل می‌شوند. سمنتیت‌ها مانعی برسر حرکت دیواره‌های حوزه‌های مغناطیسی محسوب می‌شوند. به‌عبارت دیگر سمنتیت انرژی دیواره حوزه‌های مغناطیسی را کاهش می‌دهد [۱۰].

گوگرد و منگنز

برای جلوگیری از تشکیل FeS در فولاد منگنز به فولاد افزوده می‌شود. اما گوگرد و منگنز هر یک به‌طور متفاوت بر خواص مغناطیسی و الکتریکی فولاد مؤثر هستند. با کاهش گوگرد در فولاد میزان توان تلف‌شده (جریان گردابی) کم می‌شود. با کم‌شدن گوگرد در فولاد میزان MnS کاهش می‌یابد. MnS مانع حرکت حوزه‌های مغناطیسی می‌شود. علاوه بر این با کاهش MnS دانه‌های زمینه فولاد رشد می‌کنند و مرزدانه کاهش می‌یابد. مرزدانه نیز خود یک مانع برسر حرکت دیواره حوزه مغناطیسی محسوب می‌شود [۱۱]. افزایش منگنز موجب کاهش جریان گردابی از طریق افزایش مقاومت الکتریکی و به همین دلیل باعث کاهش توان تلف‌شده می‌شود. عناصر آلیاژی مانند آلومینیم و سیلیسیم که موجب افزایش مقاومت الکتریکی می‌شوند شبیه منگنز عمل می‌کنند.

تیتانیوم

با افزایش میزان تیتانیوم رسوبات کربونیتزیدی و آهن-تیتانیوم-فسفر تشکیل می‌شود. رسوبات مانع از حرکت دیواره‌های حوزه‌های مغناطیسی می‌شود. همچنین حضور رسوبات در مرزدانه‌های فریتی باعث خواهد شد که در تبلور مجدد دانه‌ها به‌صورت هم‌محور رشد نکنند و علاوه بر این اندازه دانه‌ها کوچک‌تر می‌شود. کاهش اندازه دانه‌ها،

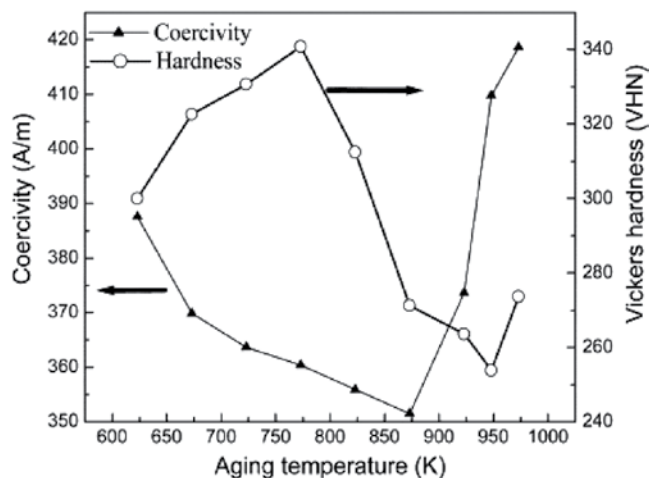
افزایش مرزدانه‌ها در ساختار میکروسکوپی را به‌همراه دارد. با افزایش مرزدانه‌ها موانع برسر حرکت دیواره‌ها زیاد و القای مغناطیسی کم می‌شود [۱۲]. عناصر آلیاژی کاربرد/نیتزیدزا دیگر مانند وانادیم، نیوبیم و تنگستن این گونه عمل می‌کنند.

آلومینیم

در ورق‌های فولادهای کم‌کربن، توان تلف‌شده با افزایش میزان آلومینیم کاهش می‌یابد [۱۳]. کاهش توان تلف‌شده با افزایش آلومینیم در فولاد در اثر افزایش مقاومت الکتریکی و کاهش جریان گردابی است. تغییرات میزان آلومینیم در ترکیب شیمیایی فولاد باعث تغییر اندازه دانه، بافت، میزان رسوبات AlN و مقاومت الکتریکی می‌شود.

مس

فولادهای HSLA-80 و HSLA-100 دو نوع از شاخص‌ترین فولادهای کم‌آلیاژ استحکام بالا هستند. این فولادها دارای عنصر مس بیش از ۱ درصد وزنی در ترکیب شیمیایی خود هستند. این فولادها، پس از عملیات ترمومکانیکی، آستنیت به سربع سرد می‌شوند. با انتخاب دمای پیرسازی پایین ناشی از رسوبات نانواندازه و کوه‌رنتی مس، می‌توان در کنار افزایش استحکام و سختی، نیروی وادارندگی را کنترل نمود. شکل ۳ تغییرات سختی و نیروی وادارندگی فولاد HSLA-100 را بعد از هر دمای پیرسازی نشان می‌دهد [۱۴]. افزایش سختی و کاهش نیروی وادارندگی در دماهای پایین پیرسازی به‌ترتیب ناشی از ایجاد رسوبات کوه‌رنتی مس و کاهش تنش‌های باقی‌مانده در فولاد است. رسوبات مس ایجاد شده در دمای پایین به‌علت اندازه کوچک مانعی جدی بر دیواره حوزه‌های مغناطیسی محسوب نمی‌شوند. با افزایش دمای پیرسازی سختی و نیروی وادارندگی به‌ترتیب کم و زیاد می‌شوند. کاهش سختی ناشی از پدیدهای فرآیندی و افزایش نیروی وادارندگی به‌علت بزرگ شدن رسوبات مس است [۱۴].



شکل ۳- تغییرات سختی و نیروی وادارندگی با دمای پیرسازی فولاد HSLA-100 [۱۴].

جدول ۲- ترکیب شیمیایی فولاد HSLA-100 در مقایسه با استاندارد NAVSEA T9074

Fe	P	S	V	Nb	Cr	Mo	Cu	Ni	Mn	Si	C	عناصر آلیاژی
۹۲/۸۹	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۰۵	۰/۰۳	۰/۵۶	۰/۶۴	۱/۵۵	۳/۹۱	۰/۸۸	۰/۰۳	۰/۰۴	فولاد مورد تحقیق
۹۱/۹۴ - ۹۳/۶۰	۰/۰۲ Max	۰/۰۰۴ Max	۰/۰۳ Max	۰/۰۲ - ۰/۰۶	۰/۴۵ - ۰/۶۵	۰/۵۵ - ۰/۶۵	۱/۱۵ - ۱/۷۵	۳/۳۵ - ۳/۶۵	۰/۷۵ - ۱/۱۵	۰/۰۴ Max	۰/۰۴ - ۰/۰۶	محدوده استاندارد

می‌شود که چگالی نایجایی‌ها افزایش یابد. حضور جنگلی انبوه از نایجایی‌ها که در یک قفل شده‌اند، حرکت دیواره حوزه‌های مغناطیسی را دچار مشکل می‌کند. به عبارتی نورد سرد باعث تغییر خواص مغناطیسی می‌شود که این تغییر خواص مغناطیسی ناشی از چگالی نایجایی‌ها است.

بنابراین می‌توان بیان کرد که یکی از کاربردهای آشنایی با خواص مغناطیسی فولادها، بررسی غیرمخرب آن‌ها است. بررسی غیرمخرب مواد به کاهش هزینه‌ها و سرعت تولید کمک فراوانی می‌کند [۱۵].

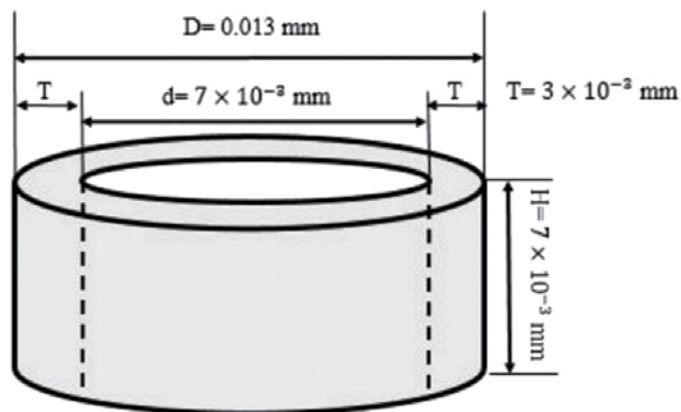
روش تحقیق

به منظور آشنایی با نحوه بررسی خواص مغناطیسی فولاد در این مطالعه به ارزیابی خواص مغناطیسی فولاد HSLA-100 ساخت داخل پرداخته شده است. فولاد HSLA-100 توسط صنعت بومی‌سازی مواد فلزی در شرکت فولاد

علاوه بر ترکیب شیمیایی، تاریخچه تهیه فولاد به شدت بر خواص مغناطیسی مؤثر است. خواص مغناطیسی همانند خواص مکانیکی فولاد وابسته به ریزساختار است. به عبارتی تغییرات در ریزساختار فولاد بر خواص مغناطیسی محصول اثر می‌گذارد. یکی از خواص ویژه مغناطیسی فولاد نیروی وادارندگی یا همان H_c است. نیروی وادارندگی وابستگی شدیدی به دیواره‌های حوزه دارد. دیواره حوزه‌های مغناطیسی در اثر اعمال میدان مغناطیسی حرکت می‌کنند و حرکت DW به ریزساختار فولاد وابسته است. مرزخانه‌ها، فاز دوم، چگالی نایجایی‌ها، حفره‌ها و جاهای خالی از جمله موانع موجود بر سر حرکت دیواره حوزه‌های مغناطیسی است. حضور موانع موجود در ریزساختار موجب افزایش H_c شده است. بنابراین عملیات حرارتی، کار مکانیکی و جوش کاری در فولادها موجب تغییرات در ریزساختار فولاد و بالطبع آن خواص مغناطیسی می‌شود. مثلاً دمای پایین در فرایند نورد سرد موجب

شماره چهارم و هشتم، سال ۱۳۹۷



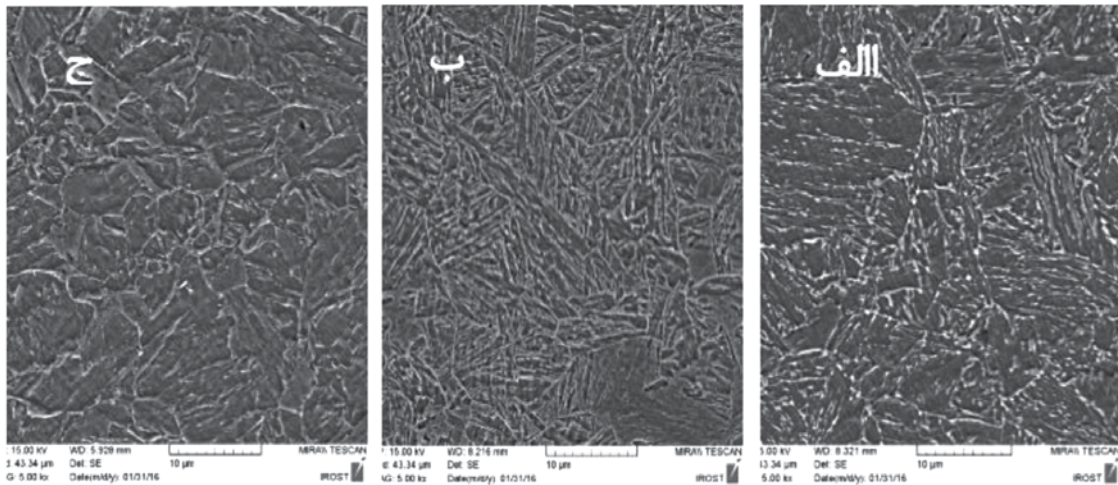


شکل ۴- نمای سه‌بعدی نمونه اندازه‌گیری نفوذپذیری مغناطیسی.

چک مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی منحنی پسماند مغناطیسی، از دستگاه مغناطومتر ارتعاشی (VSM) مدل ۷۴۰۰ ساخت شرکت کویرمگنت کاشان استفاده شد. آزمون VSM در دمای محیط با حداکثر میدان اعمالی ۱۰۰۰۰ اورستد انجام شد. برای انجام آزمون مغناطومتر ارتعاشی، نمونه‌ای به ابعاد $۴ \times ۴ \times ۰/۲$ میلی‌متر مکعب تهیه شد. نمونه به انتهای یک میله غیرمغناطیسی که در بین دو آهنربای الکتریکی است، وصل و انتهای دیگر میله به یک ارتعاش‌کننده مکانیکی بسته شد. میدان مغناطیسی نمونه متحرک، یک پتانسیل (emf) در سیم‌پیچ‌های آشکارساز القاء می‌کند که بزرگی آن متناسب با گشتاور مغناطیسی نمونه است و در نتیجه مغناطش را اندازه‌گیری می‌کند. برای ارزیابی نفوذپذیری اولیه نسبی مغناطیسی از دستگاه اندازه‌گیری ظرفیت القای مغناطیسی (LCR meter) مدل HM 8118 ساخت شرکت هامگ آلمان استفاده شد. جهت اندازه‌گیری ظرفیت القای مغناطیسی لازم بود نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شود که نمای سه‌بعدی آن در شکل ۴ نشان داده شده است.

اسفراین ریخته‌گری و در شرکت اکسین اهواز نورد و عملیات حرارتی شده است. عملیات حرارتی شامل دو مرحله بوده است؛ مرحله اول آستنیت‌شدن در دمای ۹۰۰ الی ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶۰ دقیقه و مرحله دوم، پیرسازی در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶۰ دقیقه. ترکیب شیمیایی توسط دستگاه نشر جرقه‌ای (کوانتومتری) مدل IERC ساخت شرکت اسپکتروم مکس آلمان، اندازه‌گیری و با استاندارد NAVSEA T9074 مقایسه شد (جدول ۲). همان‌طور که مشخص است اکثر عناصر تشکیل‌دهنده در محدوده استاندارد قرار دارند و فاصله گرفتن میزان عناصری همچون نیکل و گوگرد از محدوده استاندارد قابل اغماض است [۱۶]. به‌منظور انجام فرایند عملیات حرارتی، فولاد در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶۰ دقیقه آستنیت‌ه و پس از سرمایش سریع در آب با دمای محیط، پیرسازی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۶۰ دقیقه صورت گرفت. ریزساختار توسط میکروسکپ الکترونی روبشی گسیل میدانی (FESEM) مدل MIRA LMU ساخت شرکت تسکن جمهوری





شکل ۵- تصویر میکروسکوپی الکترونی روبشی الف) فولاد اولیه، ب) سریع سردشده و ج) بعد از پیرسازی.

از رابطه $l = \frac{d+D}{4} \times 2\pi$ برابر با 0.31 متر محاسبه شد. L_{eff} ظرفیت القای مغناطیسی مؤثر هسته فولادی بر حسب میکرو هانری (μH) که برای هر نمونه سه مرتبه اندازه گیری و میانگین آن بدست آمد. L_w ظرفیت القای مغناطیسی سیم پیچ با هسته هوا که برابر با $0.07 \mu H$ اندازه گیری شد. μ_0 نفوذپذیری فضای آزاد، معادل $4\pi \times 10^{-7}$ (H/m) است [۱۱]. N تعداد دور سیم پیچ که برابر با 10 دور پیچیده شد. A مساحت مقطع هسته که از رابطه $A=T \times H$ برابر با 8×10^{-6} متر مربع محاسبه شد.

ظرفیت القای مغناطیسی حالت اولیه، پس از سرمایه‌ش سریع و پیرسازی در بسامد یک کیلوهرتز در دمای محیط اندازه گیری شد. ارتباط نفوذپذیری اولیه نسبی با ظرفیت القای مغناطیسی در رابطه (۱) نشان داده شده است:

$$\mu_{ir} = \frac{l(L_{eff} - L_w)}{\mu_0 N^2 A}$$

در این رابطه، μ_{ir} نفوذپذیری اولیه نسبی در سامانه SI (بدون واحد)، l طول میانگین مسیر مغناطیسی هسته که

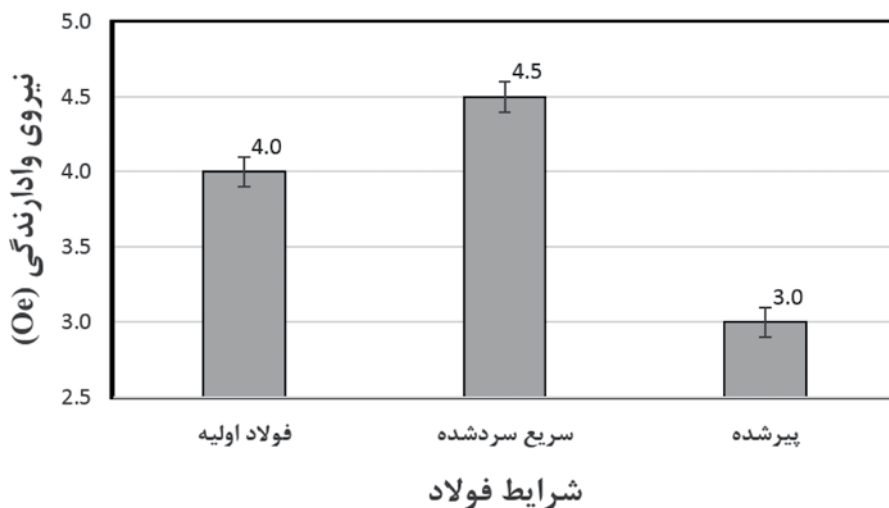


نتایج و بحث

در شکل ۵ تصویر FESEM فولاد HSLA-100 در شرایط اولیه (الف)، سریع سردشده (ب) و پس از پیرسازی (ج) را نشان می‌دهد. در ریزساختار حالت اولیه (شکل ۵-الف) که در فرایند تولید، تحت فرایند پیرسازی در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته است، ساختار لایه‌ای مارتنزیتی مشخص است. در حالت سریع سردشده (شکل ۵-ب) کسر حجمی ریزساختار لایه‌ای بیش‌تری نسبت به ریزساختار حالت اولیه مشاهده می‌شود. تصویر شکل ۵-ج مربوط به شرایط پس از فرایند پیرسازی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است که نشان می‌دهد ریزساختار لایه‌ای در مقایسه با حالت سریع سردشده کاهش یافته است. همان‌طور که مشخص است، ریزساختار در حالت اولیه، سریع سردشده در آب و بعد از پیرسازی عمدتاً مارتنزیت لایه‌ای است. با مقایسه شکل ۵-الف و ج با ب به نظر می‌رسد که با انجام فرایند پیرسازی، کسر حجمی ریزساختار لایه‌ای کاهش یافته است. کاهش کسر حجمی ریزساختار لایه‌ای در اثر پیرسازی، ناشی از بازپخت شدن فاز مارتنزیت است. علاوه بر این، با مقایسه تصاویر ۵-الف و ج مشاهده می‌شود که ریزساختار حالت اولیه و پیرشده که هر دو تحت فرایند پیرسازی قرار گرفته‌اند، متفاوت است. مشخص است که ریزساختار لایه‌ای در فولاد اولیه‌ای که در دمای ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد پیرشده، بیش‌تر از حالت پیرسازی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد است. علت این امر در اثر تشکیل فازهای جدید در دماهای بالای پیرسازی است. به‌دلیل حضور برخی از عناصر آلیاژی، دمای تحول AC1 فولاد HSLA-100 نسبت به فولاد ساده کم‌کربن از ۷۲۸ درجه سانتی‌گراد به حدود ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یافته است. دمای پیرسازی ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد که بیش‌از دمای تحول AC1 است، باعث تشکیل شدن آستنیت جدید که در ادامه در اثر سردشدن به جزایر مارتنزیت تبدیل می‌شوند. تشکیل فاز جدید مارتنزیت باعث افزایش کسر حجمی ریزساختار لایه‌ای می‌شود [۱۷].

شکل ۶ نیروی وادارندگی مغناطیسی فولاد اولیه، سریع سردشده و بعد از پیرسازی را نشان می‌دهد که به‌ترتیب با ۴/۰، ۴/۵ و ۳/۰ اورستد است. بیش‌ترین نیروی وادارندگی مربوط به شرایط پس از سرمایه‌ش سریع است. این امر ناشی از حضور فاز مارتنزیت با چگالی بالای نابجایی و ریزساختار لایه‌ای با فواصل اندک بین لایه‌ها است (شکل ۵). چگالی بالای نابجایی و میدان‌های تنش حاصل از آن‌ها در مارتنزیت و همچنین حضور ریزساختار لایه‌ای، مانع از حرکت آسان DW می‌شود و نیروی وادارندگی را افزایش می‌دهد. کاهش نیروی وادارندگی در فرایند پیرسازی ناشی از کاهش چگالی نابجایی در





شکل ۶- نیروی وادارندگی فولاد اولیه، سریع سردشده و بعد از پیرسازی.

کاهش نفوذپذیری در شرایط پیرشده ناشی از راسب شدن مس در زمینه است. رسوبات مس که به عنوان یک فاز ثانویه دیامغناطیس در زمینه توزیع شده اند، موجب کاهش نفوذپذیری مغناطیسی شده است. افزایش نفوذپذیری نسبی اولیه در فولاد اولیه که طی مراحل اصلی در دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد پیرشده است، ناشی از نیروی وادارندگی بالا، بزرگ شدن رسوبات مس و کاهش تعداد مس در زمینه فولاد اولیه است

نتیجه گیری

عناصر کاربیدزا و نیتريدزا مانند تیتانیم، نیوبیم و تنگستن به دلیل ایجاد ممانعت بر حرکت دیوارهای حوزه های مغناطیسی، موجب افزایش نیروی وادارندگی مغناطیسی

مارتنزیت و افزایش میانگین فواصل لایه ها است (شکل ۵). مشاهده می شود که نیروی وادارندگی پس از فرایند پیرسازی، کم تر از فولاد اولیه است. افزایش نیروی وادارندگی در شرایط اولیه که در دمای ۶۵۰ درجه سانتی گراد پیر شده، ناشی از خشن شدن رسوبات مس و ایجاد مارتنزیت جدید است. در دمای پیرسازی ۶۰۰ درجه سانتی گراد رسوبات مس وجود دارند ولی اندازه آن ها کوچک تر از ضخامت DW است و مانع حرکت DW نمی شوند [۱۸، ۱۹].

شکل ۷ نفوذپذیری اولیه نسبی مغناطیسی را بر اساس نوع عملیات حرارتی نشان می دهد. نفوذپذیر اولیه در فولاد اولیه، سریع سردشده در آب و پس از پیرسازی به ترتیب برابر با ۷۶، ۷۳ و ۶۶ بدست آمده است. همان طور که مشخص است نفوذپذیری در فولادهای پیرشده کاهش یافته است.



شکل ۷- نفوذپذیری اولیه نسبی فولاد در شرایط مختلف.



می شوند. عناصر آلیاژی که باعث افزایش مقاومت الکتریکی فولاد می شوند، مانند سیلیسیم، آلومینیوم و منگنز موجب کاهش نیروی وادارندگی و توان تلف شده می شوند. با توجه به تصاویر الکترونی روبشی، پیرسازی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد موجب کاهش کسر حجمی ریزساختار لایه‌ای شد.

نیروی وادارندگی مغناطیسی فولاد اولیه، سریع سرد شده و پس از پیرسازی به ترتیب برابر با ۴/۵، ۴/۵ و ۳/۵ اورستد به دست آمد. نفوذپذیری اولیه نسبی مغناطیسی فولاد اولیه، سریع سرد شده و پس از پیرسازی به ترتیب برابر با ۷۲، ۷۶ و ۶۶ اندازه گیری شد. پیرسازی در دمای ۶۰۰ درجه سانتی گراد باعث کاهش نیروی وادارندگی و نفوذپذیری اولیه نسبی شد.

منابع مراجعه

- [1] N.A. Spaldin, *Magnetic materials (fundamental and application)*, Cambridge University Press, New York, 2011.
- [2] B.D. Cullity, C.D. Graham, *Introduction to magnetic materials*, second ed., Institute of Electrical and Electronics Engineers, USA, 2th Edition, 2009.
- [3] S.K. Das, S. Tarafder, A.K. Panda, S.C.a.A. Mitra, *Magnetic and mechanical properties of Cu-strengthened aged HSLA-100 steel*, *Philosophical Magazine* 87 (2007) 5065-5078.
- [4] M.S. Rashid, *High strenght, low alloy*, *Science* 208 (1980) 862-869.
- [5] P.K. Ray, R.I. Ganguly and A.K. Panda, *Optimization of mechanical properties of an HSLA-100 steel through control of heat treatment variables*, *Materials Science and Engineering A346* (2003) 122-131.
- [6] Q. Liu and S. Zhao, *Cu precipitation on dislocation and interface in quenched-aged steel*, *MRS Communications* 2 (2012) 127-132.
- [7] S. Thompson, *A transmission electron microscopy investigation of re-austenitized-and-cooled HSLA-100 steel*, *Metallography Microstructure Analysis* 1 (2012) 131-141.
- [8] S.P. Narayan, V. Rao, S. Das and O. Mohanty, *Microstructural and magnetic studies on thermomechanically treated HSLA steel*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 88 (1990) 71-78.
- [9] M. Tarafder, I. Chatteraj, M. Nasipuri and A. Mitra, *Magnetic characterization of HSLA steel by power-law decay exponents of Barkhausen emission signal*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials* 321 (2009) 1034-1038.
- [10] S. Habermehl, D.C. Jiles, C.M. Tellert, *Influence of heat treatment and chemical composition on the magnetic properties ferromagnetic steels*, *IEEE Transactions on Magnetics*, 21 (1985) 1909-1911.
- [11] T. Nakayama, N. Honjou, T. Minaga, H. Yashiki, *Effects of manganese and sulfur contents and slab reheating temperatures on the magnetic properties of non-oriented semi-processed electrical steel sheet*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, 23 (2001) 55-61.
- [12] T. Nakayama, T. Tanaka, *Effects of titanium on magnetic properties of semi-processed non-oriented electrical steel sheets*, *Journal of Materials Science*, 32 (1997) 1055-1059.
- [13] C.K. Hou, C.T. Hu, S. Lee, *The effect of aluminum on the magnetic properties of lamination steels*, *IEEE Transactions on Magnetics*, 27 (1991) 4305-4309.
- [14] A.K. Panda, S.K. Das, A. Mitra, D.C. Jiles, C.C.H. Lo, *Evaluation of deformation behaviour of HSLA-100 steel using magnetic hysteresis technique*, *IEEE Transactions on Magnetics* 42 (2006) 3264-3266.
- [15] S.K. Dhua, A. Ray and D.S. Sarma, *Effect of tempering temperatures on the mechanical properties and microstructures of HSLA-100 type copper-bearing steels*, *Materials Science and Engineering A* 318 (2001) 197-210.
- [16] T9074-BD-GIB-010_0300 rev 2, *Base materials for critical applications: requirements for low alloy steel plate-forgings, casting, shapes, bars and heads of HY-80/100/130 and HSLA80/100*, NAVSEA Standards, Naval Sea System Command, United States, 2012.
- [17] L. Hu, S.J. Zhao and Q. Liu, *The effect of size of Cu precipitation on the mechanical properties of microalloyed steel*, *Materials Science & Engineering A* 556 556 (2012) 140-146.
- [18] A.N. Bhagat, S. Ranganathan and O.N. Mohanty, *Electrical resistivity studies in low carbon and HSLA-100 steels*, *Materials Science and Technology* 19 (2003) 343-346.
- [19] S.K. Das, S. Tarafder, A.K. Panda and S.C.A. Mitra, *Magnetic and mechanical properties of Cu-strengthened aged HSLA-100 steel*, *Philosophical Magazine* 87 (2007) 5065-5078.

تکنولوژی های جدید در صنعت تولید آهن و فولاد و راه های بهبود آنها

نویسنده: علی شعبانی - پژوهشکده فولاد - دانشگاه صنعتی اصفهان



چکیده

CO₂ در صنعت آهن و فولاد توسعه یافته اند. ابزار توسعه یافته برای جلوگیری از انتشار CO₂، G-CAPTM نام دارد و ابزار توسعه یافته برای بهبود بهره وری انرژی En-MAPTM نامیده می شود. ارزیابی های اولیه نشان داده است که اکثر نواحی خط تولید دارای قابلیت کاهش GHG و مصرف انرژی هستند؛ از سوی دیگر، در برخی از نواحی ممکن است حتی با صرف هزینه زیاد قابلیت زیادی برای کاهش کم خطر حجم CO₂ وجود نداشته باشد. از این رو مهم است که این موارد حساس برای فناوری های جایگزین تولید آهن و فولاد، ارزیابی شوند. این مقاله یک ارزیابی تطبیقی از نظر بهره وری انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای را برای برخی از فناوری های تولید آهن و فولاد که جدیداً مورد توجه قرار گرفته اند، ارائه می کند. در این مسیر، از ابزارهای G-CAPTM و En-MAPTM که با هدف تعیین کمیت و کیفیت شرایط صرفه جویی انرژی و کاهش CO₂ در صنعت آهن و فولاد توسعه داده شده اند، استفاده شده است.

با توجه به تغییرات بازار جهانی مواد خام در صنعت فولاد، تکنولوژی فرایندهای آهن و فولادسازی به منظور بهینه سازی و اقتصادی کردن فرایند فولاد سازی در حال توسعه هستند. علاوه بر این، صنعت فولاد با توجه به تغییرات اقلیمی، بر کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای (GHG) تمرکز دارد. تغییرات اقلیمی باعث افزایش ریسک برای صنایع با مصرف بالای انرژی و یا تولید بالای کربن، شده است. صنعت باید نسبت به کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای برای مقابله با تغییرات اقلیمی توجه بیشتری از خود نشان دهد. توسعه و بهبود فناوری های تولید آهن و فولاد می تواند گزینه های اقتصادی را در مقابل شرکت های فولاد برای تولید پایدار قرار دهد. برای مدیریت ریسک های ناشی از تغییرات اقلیمی، ابزارهای مدل سازی توسط Hatch به منظور تعیین کیفیت و کمیت کاهش مصرف انرژی و میزان انتشار

۱. مقدمه

انتظار می رود که تغییرات اقلیمی ریسک تولید فولاد را افزایش دهد. قانون گذار پیشنهاد می دهد که با افزایش هزینه های تولید CO₂ مانند قرار دادن مالیات بر تولید CO₂، تولید GHG^۱ را کاهش دهد. در این حالت برای فولادسازها مهم است که از برخورد با ریسکهای مربوط به تغییرات اقلیمی اجتناب کنند و در عین حال بتوانند موقعیت های جدیدی نیز ایجاد کنند. بنابراین نیاز است که با استراتژی خاص ریسکهای مربوط به تغییرات اقلیمی مدیریت شود. گام های کلیدی در مدیریت استراتژیک این ریسک ها به صورت خلاصه در جدول ۱ ارایه شده است [۱].

صنعت آهن و فولاد همچنان خود را با تغییرات ایجاد شده در بازار جهانی همراه می کند - مواد اولیه این صنعت از نظر کمیت و کیفیت در حال تغییر است. در بازارهای جهانی و محلی رقابت تنگاتنگی در صنعت فولاد وجود دارد و از طرف دیگر این صنعت برای مد نظر قرار دادن تغییرات اقلیمی تحت فشار می باشد زیرا که صنعت فولاد مصرف کننده قابل توجه انرژی و تولید کننده مهم گازهای گلخانه ای می باشد. تولید فولاد در کشورهای در حال توسعه مانند چین و هند از اهمیت بالایی برخوردار است و این بدان معناست که صنعت فولاد شکل دهنده آینده صنعت در این کشورها است.

جدول ۱: گام های کلیدی در مدیریت استراتژیک ریسک های مربوط به تغییرات اقلیمی

No.	Steps Involved	Details
1	Quantity Your Carbon "Footprint"	Quantify the sources and sinks of CO ₂ within the business in order to commence the process of emissions management
2	Assess your Carbon Related Risks and Opportunities	Review the impact or opportunity within the following risks: regulatory, supply chain, product or technology, Litigation, Reputatio and physical. Understanding the risk is fundamental to managing the risk
3	Adapt your Business	Develop and implement activities to reduce energy consumption and carbon emissions. Identify how to seize new opportunities
4	Do it Better than Rivals	Take the lead in reducing exposure to climate change risk and realising opportunities. Promote success to the market and legislators



1- Green-house gas

هزینه های سرمایه گذاری و برآورد هزینه عملیاتی می باشد. در این مرحله، بر مبنای تکنولوژی های پیشنهادی و مسایل اقتصادی تکنولوژی های پیشنهاد شده فیلتر می شوند.

- گام دوم شامل تجزیه و تحلیل مالی دقیق از تکنولوژی های پیشنهاد شده است، که در نهایت منجر به انتخاب بهترین تکنولوژی می گردد.

در فرآیند انتخاب دو مرحله ای، نقاط ضعف و موقعیت های بازار نیز برای ارزیابی تقاضای مورد انتظار فولاد، کیفیت های مورد نیاز و روند قیمت گذاری بررسی می شود. بر این اساس، تکنولوژی مناسب (یا بهترین تکنولوژی) به واسطه ارزیابی مناسب فنی و اقتصادی از تمام تکنولوژی های بالقوه و همچنین با توجه به تاثیر متقابل فن آوری، هزینه تولید و حمل و نقل، انتخاب می شود. معیارهای ارزیابی کلیدی که معمولا در انتخاب تکنولوژی فرآیند برای یک سایت مشخص مورد توجه قرار می گیرند در جدول ۲ ارائه شده است [۲].

با توجه به اهمیت ریسک های مربوط به تغییرات اقلیمی در صنایع فولاد با مصرف انرژی و تولید کربن بالا، لازم است که جنبه های زیست محیطی نیز با توجه به تکنولوژی که برای پیاده سازی انتخاب شده است ارزیابی شوند. در این مقاله نتایج تحلیل و مقایسه ای از بهره وری انرژی و همچنین انتشار گازهای گلخانه ای در تکنولوژی های مختلف مرتبط با صنعت آهن و فولاد، ارائه شده است.

برخی از این موارد که توسط صنایع فولادی برای نشان دادن توجه آن ها به مسایل زیست محیطی مورد توجه قرار گرفته اند به شرح زیر است.

- گسترش استفاده از تکنولوژی های پربازده موجود در نواحی فولاد سازی به منظور حداقل کردن انتشار GHG و مصرف انرژی.

- توسعه تکنولوژی های جدید تولید آهن و فولاد که قابلیت کاهش قابل توجه مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای را دارند.

- بهینه سازی و افزایش سهم بازیافت قراضه در صنعت فولاد.

- افزایش حداکثری ارزش صنایع با حرکت به سمت محصولات با حداقل ضایعات و بازیافت ضایعات در نواحی مختلف.

- آسان سازی استفاده از نسل جدید فولاد ها به منظور افزایش بهره وری انرژی.

برای هر موقعیت خاص انتخاب بهترین روش آهن سازی / فولاد سازی ضروری می باشد. به منظور انتخاب بهترین گزینه آهن و یا فولاد سازی در هر موقعیت خاص دو گام مهم و تاثیر گذار وجود دارد که در رسیدن به نتیجه نهایی خوب کمک می کند [۲].

- گام نخست شامل ارزیابی گسترده ای از تمام اطلاعات مربوط به موقعیت خاص در دسترس و آرایه ۲ یا ۳ تکنولوژی بالقوه بر مبنای تجزیه و تحلیل ریسک های موجود، محاسبه دوره بازگشت سرمایه و همچنین تحلیل

جدول ۲: پارامترهای کلیدی در بررسی های اقتصادی-تکنولوژیکی [۲].

Parameters	Details of the Evaluation Metrics
Market Analysis	Requirements of final steel product
Raw Material	Raw material requirement, its quality and availability
Fuel and Energy	Fuel requirement, types of fuels, availability, related quality
Process Technology Analysis	Principles of operation, concept flow-sheet, mass and energy balance, consumption figures, scaling principles, technical (feasibility) issues
Risk Analysis	Risks assessment with respect to scaling, state of the development of the technology, and complexity of operation
Operating Cost	Estimated operating cost based on key cost drivers and best practice operating conditions
Capital Cost	Estimated complete capital cost including core process units as well as infrastructure directly associated with process technology
Financial Analysis	Detailed financial analysis including analyses of local tax and depreciation implications and analysis of sustainable maintenance—these aspects of project are evaluated utilizing an IRR/NPV estimate, based on discounted cash flow analyses and analysis of project financing impact

۲. مدلسازی فرایند و تجهیزات جهت تایید انتخاب

- (۱) ایجاد فهرستی از منابع انتشار و یا نشت گاز در هر ناحیه.
 - (۲) جدا کردن لیست های مربوط به بخش های عملیاتی مختلف.
 - (۳) بازرسی دقیق از لیست های تفکیک شده و پیاده سازی داده های حاصل.
 - (۴) ایجاد یک تعادل جامع انرژی/جرم در هر بخش.
 - (۵) جمع آوری شاخص های کلیدی عملکرد در هر بخش.
 - (۶) تعیین بهترین معیارهای عملی و علمی در هر بخش.
 - (۷) توسعه هر بخش با توجه به معیارهای تعیین شده.
 - (۸) تعیین فرصت های کاهش (انرژی/گاز)، به منظور نزدیک شدن به معیارهای تعیین شده.
 - (۹) دسترسی به پیشرفت های تعیین شده از نظر کاهش مصرف انرژی/کاهش انتشار گاز.
 - (۱۰) فیلتر کردن ریسک ها و حذف موقعیت های غیر قابل قبول در مسیر.
 - (۱۱) مدل سازی فرصت های باقی مانده و حذف چالش های رقابتی احتمالی.
 - (۱۲) تعیین هزینه های عملیاتی، الزامات سرمایه گذاری، تخمین فرصت های پیش رو و ایجاد $MACC^4$ و یا $MEEC^5$.
 - (۱۳) تعیین هزینه انتشار CO_2 .
 - (۱۴) رسم نمودار قابلیت کاهش (انرژی/گاز) بر حسب زمان با استفاده از $MACC$.
 - (۱۵) تعیین هدف از منظر کاهش هزینه ها.
- یک نمونه از $MACC$ به عنوان نمونه در شکل ۱ ارائه شده است. $MACC/MEEC$ به هر کسب و کار اجازه می دهد تا به طور دقیق مقدار کاهش انتشار CO_2 و یا
- ابزارهای مدل سازی برای اندازه گیری میزان صرفه جویی بالقوه در انرژی و کاهش CO_2 در صنعت آهن و فولاد توسط هج^۱ توسعه داده شده است [۳]. ابزار مورد استفاده جهت بررسی کاهش انتشار گازهای گلخانه ای $G-CAPT^2$ و ابزار توسعه داده شده به منظور محاسبه میزان صرفه جویی در مصرف انرژی $En-MAPT^3$ نامیده می شوند [۳]. این ابزارها بر مبنای فورمولاسیون روش های شناسایی، مشخصه یابی و رتبه بندی فرصت های موجود در نواحی مختلف فولاد سازی، جهت کاهش مصرف انرژی و یا کاهش انتشار GHG کار می کنند. بنابراین یک درک کامل و جامع پیرامون شرایط روش های کاهش مصرف انرژی/ انتشار GHG ایجاد می کند. با استفاده از این ابزارها به طور دقیق می توان مقدار کاهش مصرف انرژی و یا انتشار CO_2 را در هر ناحیه و هر زمان تعیین نمود. ابزار $G-CAPT$ حتی گزینه هایی به منظور تعیین حد مصرف انرژی و یا انتشار CO_2 در ابتدا و یا تعیین مسیر کاهش انتشار CO_2 در آینده را نیز در اختیار کابر قرار می دهد. در زمان استفاده از نتایج حاصل از این دو ابزار در قسمت های مختلف صنعت نیاز است که محاسبات با توجه به تجهیزات هر ناحیه، مواد خام مورد استفاده و عملیات مربوط به ناحیه مورد نظر تغییر داده شود. پارامترهای کلیدی در این ابزارها به صورت زیر خلاصه شده است [۳]:



1- Hatch

4- Marginal Abatement Cost Curve

2- Green-House Gas Carbon Abatement Process

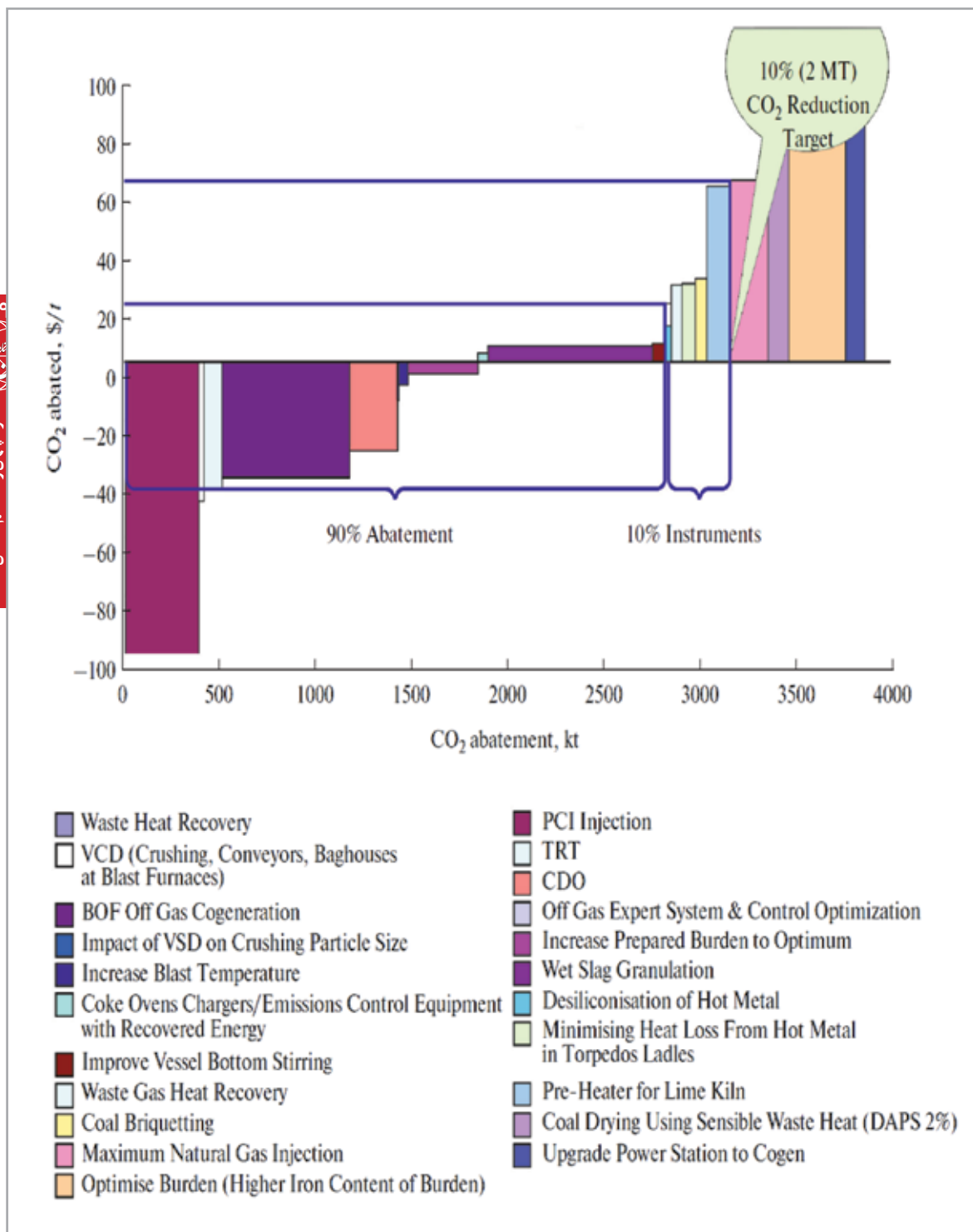
5- Marginal Energy Efficiency Curve

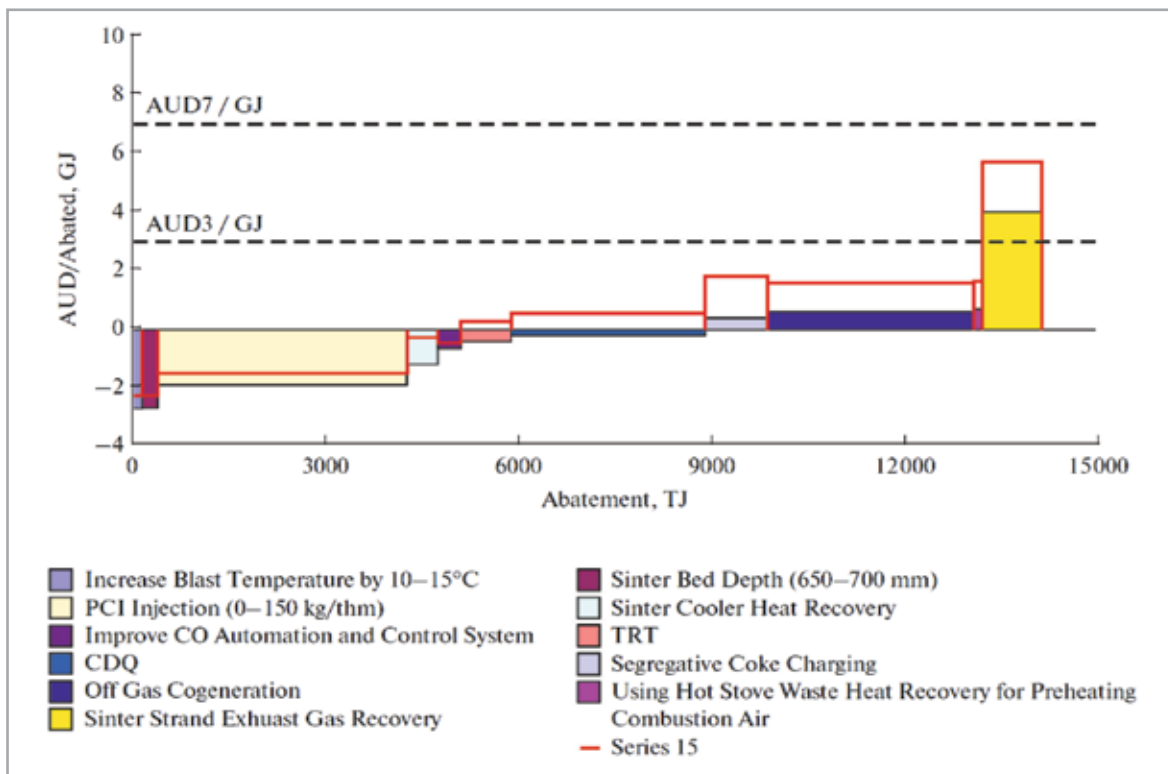
3- Energy Management Action Planning

۲ نیز یک سری محاسبات مربوط به ارزیابی کاهش مصرف انرژی در یک ناحیه تولید فولاد را نشان می دهد. ابزارهای G-CAPT/En-MAPT نیز به منظور کاهش مصرف انرژی و همچنین کاهش انتشار GHG تعدادی از خطوط تولید فولاد به صورت موفقیت آمیزی مورد استفاده قرار گرفته اند.

کاهش مصرف انرژی و در نهایت میزان هزینه ها را در بازه زمانی خاصی تعیین کند. MACC ابزاری است که برای تعیین مقدار کاهش انتشار CO₂ در ابتدای مسیر و تعیین راه حل برای کاهش انتشار گازها در آینده توسعه یافته است. این ابزار به طور مستقل می تواند برای بحث مصرف انرژی نیز به کار برده شود. شکل

شکل ۱: یک نمونه از MACC جهت کاهش انتشار CO₂ [۳].





شکل ۲: یک نمونه از MEEC به منظور کاهش مصرف انرژی [۳].

اند. فرصت های کاهش مصرف انرژی/انتشار گاز برای برخی از تکنولوژی های انتخاب شده، در محدوده های خاصی از سایت تخمین زده شده است. محدوده مورد انتظار از پیشرفت های پیش بینی شده برای برخی از فن آوری های کاهش CO₂ در جدول ۳ ارائه شده است.

۳. ارزیابی میزان مصرف انرژی و انتشار GHG

تعدادی از تکنولوژی هایی که به منظور کاهش انتشار CO₂ بهره وری انرژی توسعه داده شده اند، توسط شرکت های مختلف فولادسازی در بخش های مختلف ساخت آهن و فولاد مورد استفاده قرار گرفته

جدول ۳: بازه مورد انتظار کاهش CO₂ در برخی از تکنولوژی ها.

Technology	Plant	Savings in CO ₂ kg/t (ls)		Constraint
		low	high	
Pulverised Coal Injection	BF	25	66	Oxygen requirements, Energy Balance
Maximise natural gas injection	BF	25	140	Asabove
Increase Blast Temperature	BF	1.5	6	Stove design
Top Gas Recovery Turbine	BF	10	40	BF design, top temperature
BOS off-gas recovery	BOS	60	160	Off-gas system, plant utilisation
BOS waste heat boiler	BOS	6.5	20	Off-gas system
Upgrade power station	ES	20	45	Operational security
Sinter cooler waste heat recovery	SP		33	Corrosion, impact on sinter quality
Coke Dry Quenching	CO	15	360	High maintance costs, offsets acceptable?
Coal drying	CO	16	60	Steam requirements, maintance

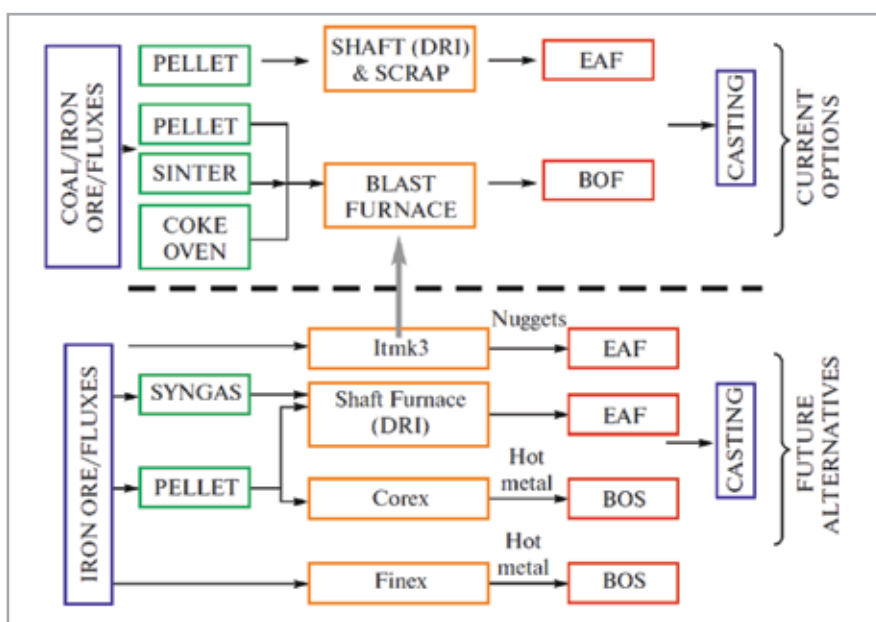
جدول ۴: وضعیت فعلی برخی از تکنولوژی های تولید آهن [۲]

Ironmaking Process Technologies	Current Status
Blast Furnace Process	Most proven ironmaking technology with more than 1000 installations in the world. Capacity of blast furnace ranges from 300000 to 4400000 tpy of hot metal/pig iron
COREX® Process	Capacity range from 800000 to 1 500000 tpy 6 installations in the world; hot metal, pig iron
Finex® Process	One plant in operation at Posco, South Korea with 1 500000 tpy hot metal capacity
Gas Based DRI Technologies (Midrex® and HYL®)	Numerous installations exist in the world up to 1 900000 tpy DRI
Coal Based DRI Technologies (Midrex® and HYL®)	Only one prototype operating—utilizing a reducing gas with similar composition to the proposed synthetic gas from coal gasification—at Saldana Steel (ArcelorMittal), South Africa, Midrex® Megamodule. This plant uses reducing gas produced in a Corex® melter-gasifier One plant is in operation and 2 more are in construction capacity up to 1 900000 tpy
Rotary Kiln/Smelter Combination	Several industrial installations in the world. Examples include New Zealand Steel and Highveld (South Africa)
Rotary Hearth/Smelter Combination	Several installations in the world. Examples include Iron Dynamics (Indiana, USA) and Inmetco (USA). Three rotary hearth furnaces are in operation in Japan for waste treatment
ITmk3® Process	The first industrial ITmk3® process plant is in commissioning stage and is expected to start routine operation in the summer of 2011. Two other plants are in the engineering and construction stages in USA and Kazakhstan. Capacity—500000 (nugget) tpy
Tecnored® Process	Tecnored® Process is currently at demonstration plant stage (in Brazil) The plant has an annual design capacity of 30000 tpy; <i>not yet proven on an industrial scale</i>
HIs melt® Process	The first and the only HIs melt® process industrial plant in Kwinana, Western Australia has been at ramp-up stage over the past several years; <i>not yet proven on an industrial scale</i>
Romelt® Process	First industrial Romelt® plant (in Burma) is currently being constructed and is expected to have a design annual capacity of 200000 tpy; <i>not yet proven on an industrial scale</i>

آهن در جدول ۴ خلاصه شده است [۲].

علاوه بر تکنولوژی های کاهش CO₂ بهره وری انرژی که توسط شرکت های فولاد استفاده می شوند، تعدادی تکنولوژی تولید آهن جایگزین نیز وجود دارد که گزینه های ارزشمندی به شرکت های فولاد برای مقابله با مسائل جاری ارائه می دهند. در حالی که فرآیند تولید آهن در کوره بلند معمولی هنوز به طور گسترده ای اجرا می شود، تعدادی از این فرایندهای ساخت آهن جایگزین برای پیاده سازی در نظر گرفته شده اند. وضعیت فعلی برخی از تکنولوژی های تولید

شکل ۳، نمونه هایی از گزینه های پیش رو، در صنعت فولاد سازی و همچنین گزینه های فعلی را نشان می دهد. فن آوری گاز زغال سنگ اجازه می دهد تا با استفاده از زغال سنگ با کیفیت پایین یک گاز مصنوعی برای استفاده در فرایند تولید DRI^۱؛ بدست آورد. این گزینه به ویژه در کشورهایی مانند هند که در آن مقدار زیادی زغال سنگ در دسترس است و در مورد مصرف گاز طبیعی محدودیت وجود دارد، مفید است.



شکل ۳: گزینه های فعلی و موارد پیش رو برای صنعت تولید آهن و فولاد.

1- Direct reduced iron

جدول ۵: تخمین شدت انرژی برای تکنولوژی های مختلف تولید فولاد از نظر GJ به ازای هر تن تولید آهن

Energy Intensity (GJ/t Iron Product)	Process Technologies
<15.0	Gas-based DRI (Midrex and HyL); Romelt
>15.0 to 17.5	Itmk3; Coal-based DRI (Midrex and Hyl); Blast Furnace
>17.5 to 20.0	Corex with Power Generation; Hismelt
>20.0 to 22.5	Corex with DRI Production; Technored; Finex
>22.5 to 25.0	Rotary Hearth with Smelter
>25.0	Rotary Kiln with Smelter

در این کار، شدت انرژی-گیگا ژول به ازای هر تن محصول (GJ/t) - با توجه به مقدار مصرف و فاکتورهای موثر بر مصرف انرژی، در مراحل مختلف تولید آهن و فولاد برآورد شده است. این شامل تمام منابع انتشار مستقیم (مانند زغال سنگ، گاز طبیعی، نفت سنگین و سبک، و غیره) و تمام منابع خروجی (مانند خرید الکتریسیته، اکسیژن، نیتروژن، بخار، کک، و غیره) و همچنین منابع انرژی که در داخل کارخانه فولاد تولید می شوند و به خارج از مرزهای ناحیه (مانند قیر، سرباره، برق) منتقل می شود، می باشد. نتایج تجزیه و تحلیل در جدول ۵ (از نظر GJ/t محصولات آهن، DRI یا فلز داغ) و جدول ۶ (از نظر GJ/t محصول نورد گرم) ارائه شده است. لازم به ذکر است که محصول نهایی این فن آوری های تولید آهن می تواند فلز مایع گرم، DRI یا قطعات باشد. محصول نهایی کوره دوار، DRI است؛ اما در مورد گزینه گداخت، DRI ذوب می شود و محصول نهایی فلز مایع داغ است (مانند آنچه که از کوره بلند به دست می آید).

در این کار، شدت انرژی-گیگا ژول به ازای هر تن محصول (GJ/t) - با توجه به مقدار مصرف و فاکتورهای موثر بر مصرف انرژی، در مراحل مختلف تولید آهن و فولاد برآورد شده است. این شامل تمام منابع انتشار مستقیم (مانند زغال سنگ، گاز طبیعی، نفت سنگین و سبک، و غیره) و تمام منابع خروجی (مانند خرید الکتریسیته، اکسیژن، نیتروژن، بخار، کک، و غیره) و همچنین منابع انرژی که در داخل کارخانه فولاد تولید می شوند و به خارج از مرزهای ناحیه (مانند قیر،



جدول ۶: تخمین شدت انرژی برای تکنولوژی های مختلف تولید فولاد از نظر GJ به ازای هر تن محصول نورد گرم

Energy Intensity (GJ/t Iron Product)	Process Technologies
<20.0	Romelt; Technored
>20.0 to 22.5	Gas-based DRI (Midrex and Hyl); Corex with Power Generation; Blast Furnace
>22.5 to 25.0	Hismelt; Itmk3
>25.0 to 27.5	Finex; Coal-based DRI
>27.5 to 30.0	Corex with DRI Production; Rotary Kiln with Smelter
>30.0	Rotary Kiln with Smelter

انتشار CO₂ برای تکنولوژی های مختلف نیز تخمین شده است. نتایج در جدول ۷ (به صورت تن CO₂ در هر تن محصول آهن، یا فلز مایع و یا DRI) و جدول ۸ (به صورت تن CO₂ در هر تن محصول گرم نورد) ارائه شده است. بر اساس برآورد میزان انتشار CO₂، مشاهده می شود که تکنولوژی های Romelt و Technored نسبت به روش کور

شدت انرژی برآورد شده برای کوره بلند در مقایسه با تکنولوژی های فولاد سازی جدیدتر (مانند DRI، Corex و Midrex) که به طور گسترده ای مورد استفاده قرار می گیرند، نسبت قابل قبولی دارد. تنها دو تکنولوژی تولید آهن جدید، یعنی Romelt و Technored، نسبت به فرایندهای فعلی مانند کوره بلند، DRI و Corex، شدت انرژی قابل قبولی دارند.



جدول ۷: برآورد مقدار انتشار گاز CO₂ در تکنولوژی های مختلف بر اساس تن CO₂ در هر تن محصول آهن

CO ₂ Emission (t CO ₂ /t Iron Product)	Process Technologies
<1.00	Gas-based DRI (Midrex and HyL); Romelt
>1.00 to 1.25	Corex with Power Generation; Itmk3
>1.25 to 1.50	Blast Furnace; Technored
>1.50 to 1.75	Coal-based DRI (Midrex and HyL); Hismelt
>1.75 to 2.00	Finex; Rotary Hearth with Smelter; Corex with DRI Production
>2.00	Rotary Kiln with Smelter

و (HyL در سطح پایین تری قرار دارد. اگرچه فرایند DRI که بر پایه زغال سنگ می باشد، می تواند یک گزینه مناسب برای بسیاری از مناطق (مانند هند) با ذخایر زغال سنگ بزرگ باشد، اما این تکنولوژی از نظر انتشار گاز CO₂ شرایط مناسبی ندارد. به همین صورت، کوره دوار نیز انتشار گاز CO₂ بالایی دارد.

بلند وضعیت بهتری دارند. در مقایسه با تکنولوژی های جدیدتر (مانند Corex، Midrex و HyL) که به طور گسترده در صنعت مورد استفاده قرار می گیرند، عملکرد کوره بلند معمولی قابل قبول است. از سوی دیگر، عملکرد دیگر فناوری های در حال توسعه از جمله Itmk³ و HiSmelt در مقایسه با کوره بلند و یا سایر فن آوری ها (Corex، Midrex)

جدول ۸: برآورد مقدار انتشار CO₂ بر اساس تن CO₂ در هر تن محصول نورد گرم.

CO ₂ Emission (t CO ₂ /t Hot Rolled Product)	Process Technologies
<1.50	Romelt; Technored
>1.50 to 2.00	Gas-based DRI (Midrex and HyL); Corex with Power Generation; Blast Furnace
>2.00 to 2.50	Itmk3; Hismelt
>2.50 to 3.00	Finex; Rotary Hearth with Smelter; Coal-based DR; Corex with DRI Production
>3.00	Rotary Kiln with Smelter



۴- خلاصه و نتیجه گیری

تغییرات اقلیمی ریسک های جدیدی را پیش روی صنایع آهن و فولاد با مصرف بالای انرژی و تولید بالای کربن، قرار داده است. با توجه به این شرایط صنعت باید بر کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای تمرکز بیشتری داشته باشد. توسعه فناوری های نوین تولید آهن و فولاد می تواند گزینه های اقتصادی پایدار برای تولید را، در مسیر شرکت های فولاد قرار دهد. برای مدیریت مضرات تغییرات اقلیمی، ابزارهای مدل سازی جدیدی توسط هج برای اندازه گیری و تعیین کیفیت مسیرهای کاهش مصرف انرژی و انتشار گاز در صنعت آهن و فولاد توسعه داده شده است. ابزار مورد استفاده جهت بررسی کاهش انتشار گازهای گلخانه ای G-CAPTМ و ابزار توسعه داده شده به منظور محاسبه میزان صرفه جویی در مصرف انرژی En-MAPTМ می باشند. ارزیابی شرایط موجود نشان داده است که اکثر نواحی فولاد سازی قابلیت توسعه به منظور کاهش مصرف انرژی و انتشار GHG را دارند. از سوی دیگر، در برخی از نواحی ممکن است حتی با هزینه های بالا امکان کاهش انتشار CO₂ وجود نداشته باشد.

تولید فولاد به روش سنتی کوره بلند همچنان به عنوان یک فناوری عمده در صنعت فولاد جهانی مطرح خواهد بود (از آنجایی که این تکنولوژی بالغ و با سابقه طولانی بهینه سازی است). علاوه بر این، عملکرد آن را می توان با استفاده از سیستم های بروز صرفه جویی در انرژی و کاهش CO₂ بهبود بخشید.

راندمن تولید CO₂ در فرایندهای جدید و پذیرفته شده از قبیل Corex و DRI گاز سوز (Hyl, Midrex) نسبت به روش ساخت آهن در کوره بلند در وضعیت قابل قبولی قرار دارد. مشخص شد که تنها دو تکنولوژی در حال توسعه Romelt (Technored), نسبت به فناوری هایی که امروزه استفاده می شوند دارای راندمن CO₂ بهتری هستند.

در حال حاضر فناوری جایگزینی در صنعت آهن و فولاد وجود ندارد که بتواند کاهش قابل توجهی (به عنوان مثال بیش از ۲۰ درصد) در انتشار گازهای گلخانه ای در مصرف انرژی در مقایسه با بهترین حالت تولید آهن در کوره بلند ایجاد کند. فیلتر و جدا سازی کربن (CCS) در فرایندهای DRI گازسوز، به عنوان یک فناوری نو ظرفیت کاهش قابل توجه در انتشار گازهای گلخانه ای را دارد.





مراجع

- [1]. Lash, J. and Wellington, F., Competitive advantage on a warming planet, Harvard Business Review, 2007.
- [2]. Gordon, Y., Freislich, M., and Els, J., Ironmaking technology selection for site specific conditions, Proc. AISTech 2010, vol. 1, pp. 519–528.
- [3]. Kumar, S., Freislich, M., Mysko, D., Westfall, L.A., and Bachenheimer, S., Addressing climate change—a novel greenhouse gas carbon abatement process (GCAPT) for the iron and steel industry. Proc. AISTech 2010, vol. 1, pp. 227–248.
- [4]. Gordon, Y., Freislich, M., and Brown, R., Selection of ironmaking technology for existing specific conditions of European part of Russian Federation, Proc. AISTech Conference, Atlanta, GA, USA. 2012.
- [5]. Gordon, Y. and Howey, C., Implementation of new alternative ironmaking technologies: Experience and risk, Proc.17th CIS Metals Summit, Moscow, Russia, 2012.
- [6]. Wheeler, F., TwiggMolecey, C., and McLean, L., Managing the risk of implementing new technologies, Proc. 36th Mechanical Working and Steel Processing Conference, Baltimore, Maryland, USA. 1994.
- [7]. Gordon, Y., Role of an engineering consultancy in the transformation of a technology idea to a working process plant, Proc. AISTech Conference, Cleveland, OH, USA. 2015.

بررسی اثر نشر پوشش سرامیکی بر پایه کاربید سیلیسیم و اکسید مولیبدن بر روی پانل سقف کوره قوس شرکت فولاد مبارکه اصفهان

مجید جعفری*، رضا حریری، بهنام پور نصیر

دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد، دانشکده مواد

* نویسنده و عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد M_jafari@iaun.ac.ir و

مجری پروژه در شرکت فولاد مبارکه اصفهان



چکیده:

نمونه پوشش داده شده در دیواره کوره ارزیابی گردید. میزان نشر و جذب امواج الکترومغناطیس به وسیله FTIR و ریزاختر آن با میکروسکوپ الکترون روبشی مطالعه گردید. همچنین از FTIR برای تعیین طول موج نشر پوشش استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که اکسید مولیبدن نشر انرژی تشعشعی بیشتری نسبت به SiC دارد ولی سیلیکون کاربید جذب بهتری را از خود نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی:

پوشش سرامیکی، نشر، جذب، MoO_3 ، SiC، امواج الکترومغناطیس

در طی چند سال گذشته خواص نشری مواد برای کاربردهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. طیف الکترومغناطیس دارای امواج نشری شامل ماورای بنفش، نور مرئی، اشعه ایکس، امواج رادیویی و دیگر امواج می‌باشد. در این مطالعه پوشش با ضریب نشر مختلف بر پایه SiC و اکسید مولیبدن بر روی نسوز به وسیله اسپری پوشش داده شد و رفتار حرارتی آن در طول موج مادون قرمز مورد بررسی قرار گرفت. ابتدا پوشش بدون ترک و عیب با ضخامت حدود $300\ \mu m$ اعمال و سپس تشعشع منعکس شده از سطح در طول موج $2500-25000$ نانومتر اندازه‌گیری شد. همچنین دمای هدایت حرارتی با قرار دادن

در مطالعه و تحقیق فعلی که در بر روی پانل‌های سقف کوره قوس شرکت فولاد مبارکه در واحد فولادسازی انجام شد؛ نمونه‌هایی از کوره شامل آجر نسوز، جرم ریختنی و لوله فولادی پانل سقف مورد بررسی قرار گرفت و با ایجاد فرمولاسیون مناسب بر پایه کاربرد سیلیسیوم و اکسید مولیبدن خواص فیزیکی پوشش در دماهای مختلف مورد ارزیابی و تجزیه تحلیل قرار گرفت.

۱-۱- ویژگی‌های نشری و جذبی اجسام

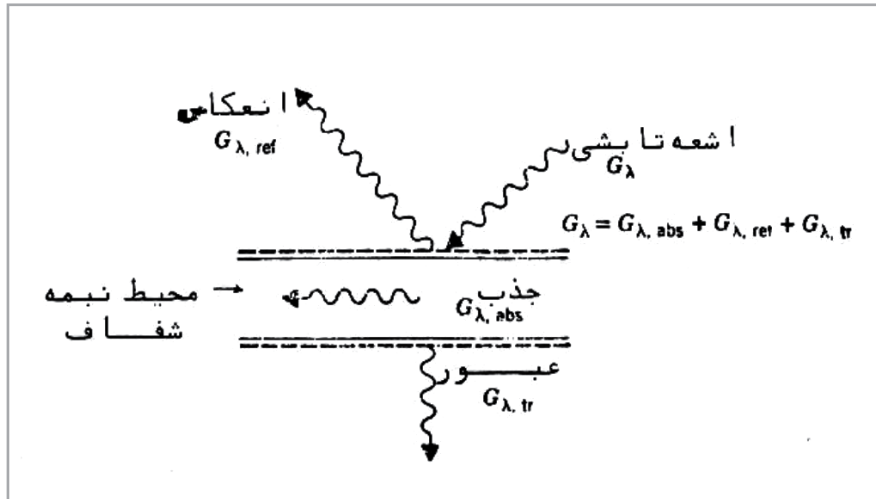
هنگامی که انرژی تشعشعی به سطح یک جسم برخورد می‌کند، مطابق شکل ۱ قسمتی از آن منعکس، قسمتی جذب و بقیه از جسم عبور می‌کند. به کسری از اشعه که منعکس شده، ضریب انعکاس (p)، به کسری از اشعه که جذب شده ضریب جذب (a) و به کسری از آن که عبور کرده، ضریب عبور (t) اطلاق می‌گردد. بنابراین:

$$p+a+t=1 \quad 1-1$$

کلیه انرژی تابشی در قشری به ضخامت تقریبی ۰/۰۰۰۰۵ اینچ زیر سطح اجسام هادی الکتریکی جذب یا منتشر می‌گردد. در مورد اجسام غیر هادی، ضخامت این لایه حدود ۰/۰۵ اینچ می‌باشد. خواص نشری و جذبی، زیاد تحت تأثیر تغییرات دما بر روی سطح و عمود بر آن نمی‌باشد؛ زیرا ناحیه نفوذ بسیار کوچک است. اکثر اجسام جامد، تشعشع حرارتی را از خود عبور نمی‌دهند. لذا در مورد اجسام کدر

در سال‌های اخیر به دلیل افزایش بهای سوخت و آلودگی‌های زیست‌محیطی، توجه زیادی بر افزایش راندمان کوره‌های مورد استفاده در صنعت نفت شده است. یکی از روش‌های کاهش مصرف انرژی در کوره‌ها، استفاده از پوشش‌های نسوز با ضریب نشر بالا می‌باشد. این نوع پوشش‌ها باید دارای خواص مهمی نظیر چسبندگی مناسب، سختی بالا و مقاومت به فرسایش فیزیکی و شیمیایی در مقابل جریان گازها در داخل کوره باشند. [۱، ۲] روش‌های مختلفی جهت پوشش دهی مانند پاشش (spattering) [۳]، سل-ژل (sol-gel) [۴] و اسپری حرارتی (thermal spray) [۶] وجود دارد؛ ولی در برخی موارد روش‌های سنتی پاشش مانند اسپری دوغاب سرامیکی کاربردی و از هزینه کمتری برخوردار می‌باشد. پوشش دهی از طریق اسپری نیاز به آماده نمودن شرایط مناسب و اسکوزیته از طریق کنترل نسبت پودر به محلول مورد استفاده دارد و پس از بدست آمدن مشخصه‌های مناسب فیزیکی و شیمیایی، دوغاب حاصله با استفاده از تجهیزات پاششی رنگ مانند رنگ پاش بدون استفاده از هوا (Airless painting) اعمال می‌گردد. کاربرد سیلیسیوم یکی از موادی است که ضریب نشر بالایی دارد و به دلیل نسوزندگی و مقاومت به خوردگی و سایش می‌تواند کاندید مناسبی در اعمال پوشش به بدنه نسوز کوره و حتی لوله‌های فولادی داخل کوره باشد [۶، ۷].





شکل ۱- جذب، انعکاس و عبور در یک جسم نیمه شفاف [۱].

به نظر می‌آیند. البته بعضی از اجسام مانند برف تازه و برخی رنگ‌های سفید، با وجود سیاه نبودن، بیشتر انرژی تابشی را در طول موج‌های بالا جذب می‌نمایند.

اجسام سیاه همچنین در تمام طول موج‌ها تشعشع را منتشر می‌کنند. قدرت نشر جسم سیاه E_d مستقل از ویژگی‌های سطحی بوده و فقط به دمای سطح بستگی دارد. قدرت نشر میزان تشعشعی است که هر جسم در دمای معین از واحد سطح خود منتشر می‌نماید.

نسبت قدرت نشر یک جسم به قدرت نشر جسم سیاه در همان درجه حرارت را ضریب نشر نامیده و آن را با ϵ نمایش می‌دهند و توسط رابطه ۱-۳ محاسبه می‌شود. ضریب نشر با دما و طول موج تشعشع تغییر می‌کند.

$$\epsilon = \frac{E}{E_b} \quad 1-3$$

جسم سیاه را می‌توان با تقریب خوبی توسط یک فضای خالی با جداره‌های هم‌دما و یک سوراخ کوچک نشان داد. آشکار است که فقط کسر کوچکی از انرژی ورودی پس از انعکاسات متوالی از سوراخ خارج می‌شود؛ از این‌رو فضای خالی تقریباً مانند یک جسم سیاه عمل می‌کند.

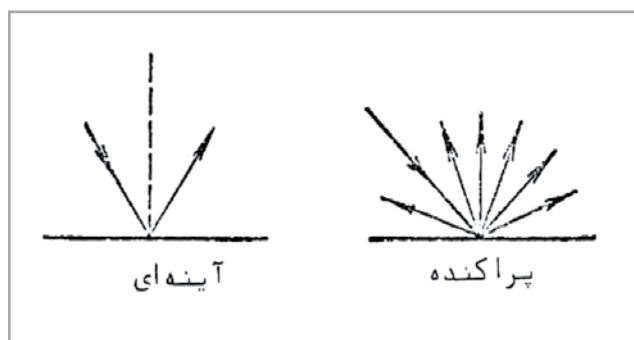
رابطه ۱-۲ به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$p = 1 - a \quad 2-1$$

برای برخورد امواج تشعشعی با یک سطح، نوع انعکاس را آینه‌ای و اگر شعاع تابشی بعد از انعکاس در تمام جهات به طور یکنواخت توزیع شود، انعکاس را پراکنده گویند. این دو نوع انعکاس در شکل ۲ مشاهده می‌شوند. سطوح صیقلی معمولاً خصوصیات آینه‌ای و سطوح ناهموار خصوصیت پراکنده را از خود نشان می‌دهند.

به طور کلی سطوح فلزی که هادی‌های الکتریکی خوبی هستند، ضریب جذب کمی دارند؛ در صورتی که سطوح غیر هادی و اکسید شده، از ضریب جذب بالایی برخوردارند. بنابر تعریف، جسم سیاه جسمی است که کلیه اشعه تابیده شده بر آن را جذب نماید. برای چنین جسمی، $p=0$, $a=1$ می‌باشد. به واسطه سادگی قوانین حاکم بر تابش اجسام سیاه، کاربرد مفهوم جسم سیاه شایع بوده و بسیاری از اجسام حقیقی را با تقریب می‌توان جسم سیاه فرض نمود. با وجود اینکه هیچ جسمی سیاه واقعی نمی‌باشد، ولی در صورتی که ضریب جذب جسم زیاد باشد، می‌توان شرایط جسم سیاه را در مورد آن بکار برد.

اغلب اجسامی که تمام انرژی تابشی را جذب می‌کنند، سیاه



شکل ۲- انعکاس پراکنده و آینه‌ای [۱].

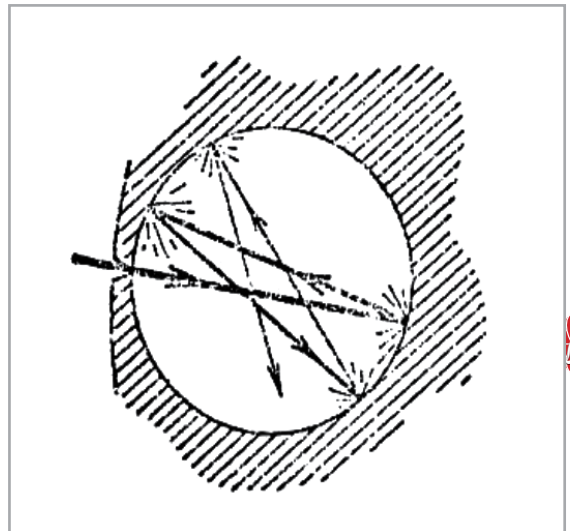
شماره چهل و هشتم، سال ۱۳۹۷



البته اگر انعکاس را آینه‌ای فرض کنیم مطلب فوق بهتر توجیه می‌گردد.

مطابق شکل ۳ انرژی منتشر شده از بخشی از سطح محفظه برابر با ϵE_b می‌باشد. پس از یک انعکاس این انرژی برابر $p\epsilon E_b$ پس از دو انعکاس برابر $p^2\epsilon E_b$ و خواهد بود. انرژی خروجی از سوراخ مجموع انرژی شعاع‌های است که مستقیماً تأیید شده و چندین بار منعکس گردیده است؛ از این‌رو انرژی که از سوراخ منتشر می‌گردد برابر است با:

$$E = \epsilon E_b (1 + p + p^2 + p^3 + \dots) = \epsilon E_b \frac{1}{1-p} = E'_b \quad 1-4$$



شکل ۳- تقریب جسم سیاه [۱].

در روابط اخیر چون دمای سطوح یکسان است، $\epsilon = a = 1 - p$ بنا بر این انرژی خروجی از سوراخ به صورت تشعشع جسم سیاه است.

۱-۲- توزیع طیفی انرژی

هنگامی که تشعشع حرارتی از یک منشور عبور می‌کند، ایجاد طیف پیوسته‌ای می‌نماید. شکل ۴ توزیع انرژی یک جسم سیاه را نشان می‌دهد. سطح زیر هر منحنی هم‌دمای انرژی کل منتشر شده از واحد سطح را نمایش می‌دهد.

$$E_b = \int_0^{\infty} E_{b,\lambda} d\lambda \quad 1-5$$

$E_{b,\lambda}$ ، قدرت نشر نور تک‌رنگ می‌باشد. معادله پلانک، $E_{b,\lambda}$ را به صورت تابعی از دما و طول موج بیان می‌کند:

$$E_{b,\lambda} = \frac{c_1}{\lambda^5 [\exp(c_2 / \lambda T) - 1]}$$

$$c_1 = 2\pi^5 h c_0^2 = 3.742 \times 10^8 \quad w.\mu m^4 / m^2 \quad 1-6$$

$$c_2 = \frac{hc_0}{k} = 1.439 \times 10^4 \quad \mu m.k$$

$$\lambda_{\max} T = 2897.6 \mu\text{m} \cdot \text{K} \quad 1-8$$

تغییر مکان نقاط حداکثر منحنی‌های هم‌دما شاخص تغییرات رنگ بر اثر گرما می‌باشد. هنگامی که جسمی را حرارت دهیم، شدت تشعشع حداکثر به سمت طول موج‌های کم تغییر مکان می‌دهد. اولین علامت افزایش دما، رنگ قرمز تیره است. اگر دما بیشتر شود، جسم به رنگ قرمز روشن، سپس زرد روشن و عاقبت سفید به نظر می‌آید. در دماهای بالاتر جسم روشن‌تر خواهد شد، زیرا قسمت اعظم تشعشع در محدوده قابل رویت قرار دارد.

این نکته حائز اهمیت است که توزیع طیف تشعشع جسم حقیقی با توزیع پلانک برای جسم سیاه متفاوت می‌باشد. ضریب نشر یک جسم حقیقی با دما، طول موج، جهت انتشار تشعشع میزان زیری سطح و در مورد فلزات با میزان اکسیداسیون سطحی متناسب است [۹].

ضریب نشر فلزات خالص کم بوده و تقریباً متناسب با دمای مطلق آن‌هاست. کوچک‌ترین مقادیر اکسید بر روی سطح فلزات باعث افزایش ضریب نشر می‌گردد. ضریب نشر اجسام غیرهادی عموماً بیشتر از ضریب نشر هادی‌ها بوده با افزایش دما مقدار آن کاهش می‌یابد. ضریب جذب اجسام نیز نه تنها به عوامل مؤثر بر ضریب نشر بلکه به تشعشع تابیده شده از نظر توزیع طیفی وابسته است [۹].

۳-۱- تشعشع گازها

گازها برخلاف سطوح جامد، در محدوده کوچکی از طول موج‌ها تشعشع را جذب و منتشر می‌نمایند. به‌طور کلی مولکول‌های ساده (مانند N_2 , O_2 , H_2 , H_2O) اساساً نسبت به تشعشع شفاف‌اند. در بین گازهایی که در دستگاه‌های انتقال حرارت یافت می‌شوند، HCl , NH_3 , SO_2 , H_2O , CO_2 , CO و هیدروکربن‌ها انرژی قابل ملاحظه‌ای را منتشر می‌نمایند [۹].

۲- روش آزمایش:

۲-۱- پوشش سرامیکی بر روی آجر، جرم نسوز و سطح فلز

مواد اولیه متناسب با خواص فیزیکی و شیمیایی نسوز کوره و لوله‌های فولادی پانل بر پایه سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن تهیه گردید و پس از تنظیم فرمولاسیون مناسب بر روی نمونه‌های داخل کوره شامل آجر و جرم و همچنین لوله فلزی مورد آزمایش قرار گرفت و پارامترهای فیزیکی و شیمیایی مشخص گردید. در این آزمایش بررسی ضریب جذب قطعات پوشش داده شده و عکس‌العمل پوشش و سطح قطعه در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفت. در حقیقت با پوشش سرامیکی بر روی مواد می‌توان از اتلاف انرژی و حرارت در موارد مختلف بر روی مواد گوناگون جلوگیری کرد. در این آزمایش‌ها، فاکتورهای همچون

C_0 = سرعت نور ، 3×10^8 m/sec

h = ثابت پلانک ، 6.6256×10^{-34} j.sec

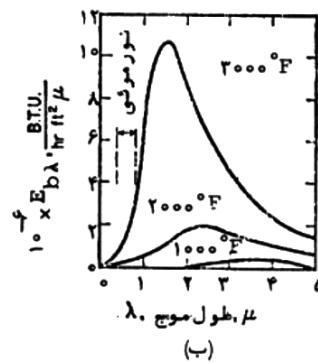
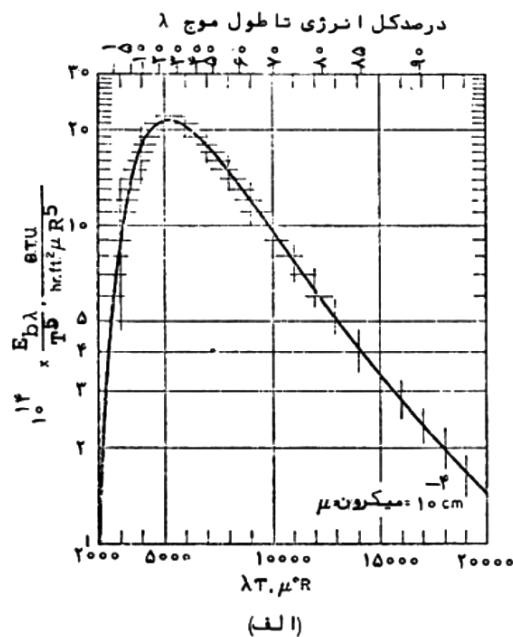
K = ثابت بولتزمن ، 1.3805×10^{-23} j/k

λ = طول موج ، μm

T = دمای مطلق ، k

توسط قانون دوم ترمودینامیک می‌توان نشان داد که قدرت نشر جسم سیاه متناسب با توان چهارم دمای مطلق است. اشتغال گیری معادله ۱-۵ نیز این مطلب را نشان می‌دهد:

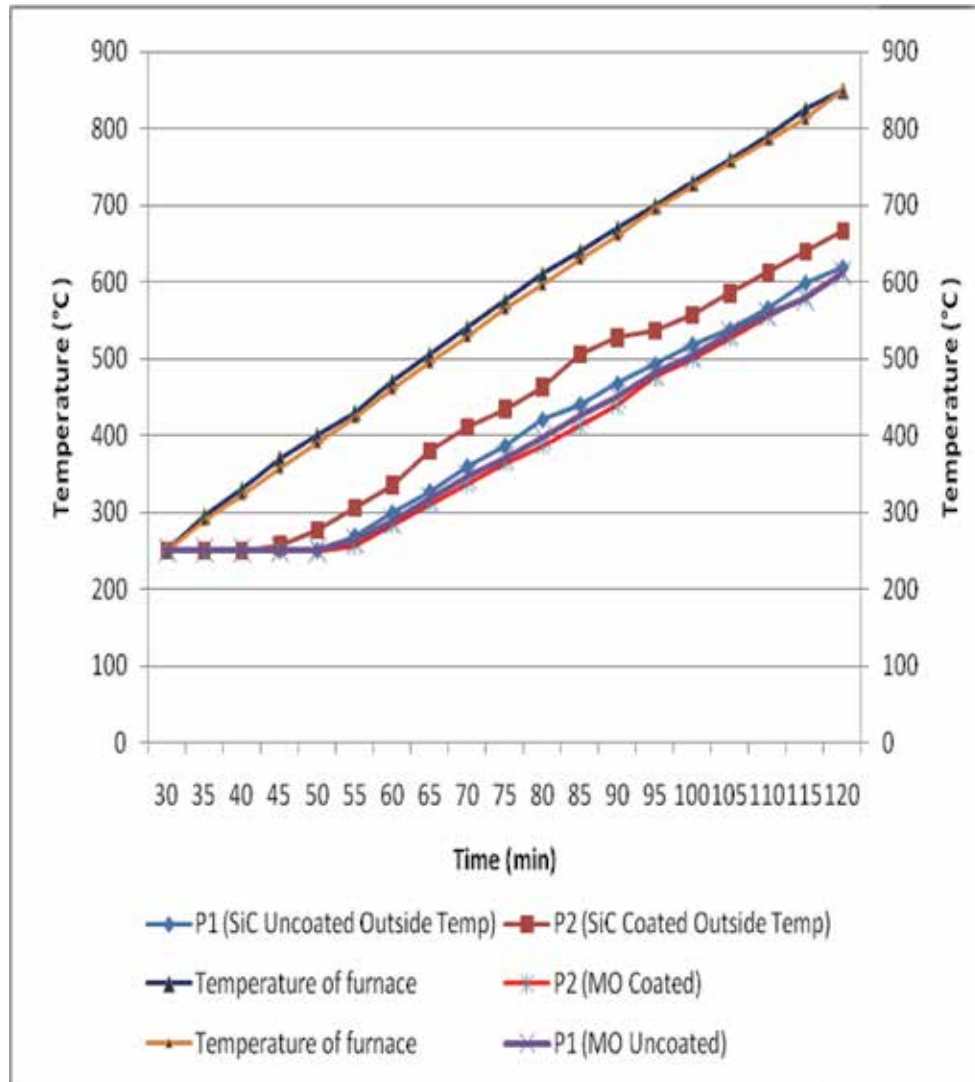
$$E_b = \Sigma \epsilon^4 \quad 1-7$$



شکل ۴- توزیع انرژی طیفی جسم سیاه [۹].

در شکل (۴ ب) مشاهده می‌شود که طول موج حداکثر قدرت نشر متناسب با عکس دمای مطلق است. نقاط حداکثر و طول موج متقابل آن‌ها توسط قانون جابجایی وین مطابق رابطه ۱-۸ بدست می‌آیند.





شکل ۵- مقایسه نمونه SiC و MoO3

۳- بحث و نتیجه گیری:

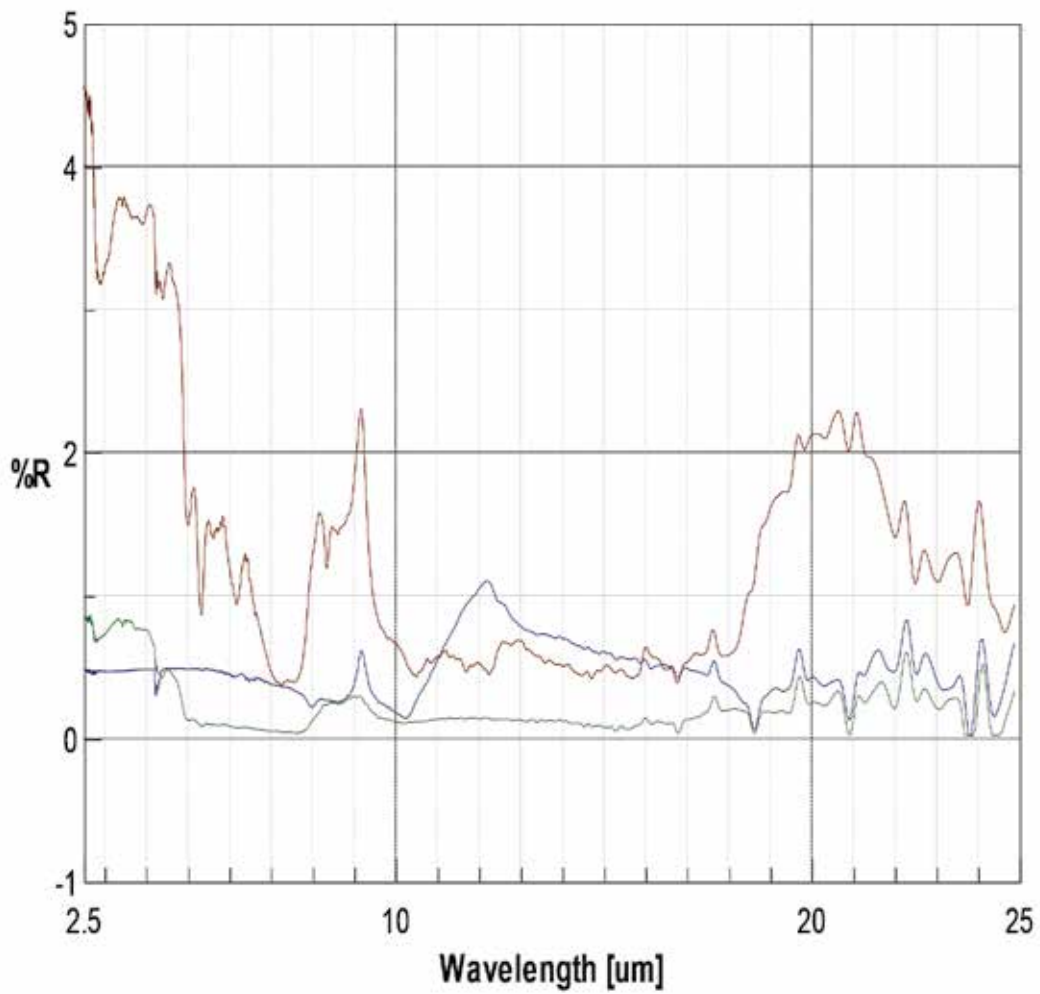
۳-۱- تفاوت پوشش سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن

برای ارزیابی پوشش‌ها بر پایه سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن، مقایسه دمای نشر در کوره آزمایشگاهی انجام گردید که نتایج آن در منحنی ۵ مشاهده می‌شود. در این آزمایش، تفاوت چشمگیری مابین نشر پوشش سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن وجود دارد، به این مفهوم که اکسید مولیبدن نشر انرژی تشعشعی بیشتری نسبت به SiC داشته ولی سیلیکون کاربید جذب بهتری را از خود نشان می‌دهد. برای درک بهتر این مسئله FTIR نمونه‌های سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن با نمونه بدون پوشش مقایسه گردید، که در شکل ۶ مشاهده می‌شود. این نمودار نشان دهنده نشر بیشتر اکسید مولیبدن نسبت به سیلیکون کاربید می‌باشد. بنابراین سیلیکون کاربید جاذب انرژی و اکسید مولیبدن نشر کننده انرژی می‌باشد.

ضریب جذب و نشر و چسبندگی پوشش در دماهای مختلف (۲۵۰-۸۵۰ °C) بررسی می‌شوند. نمونه‌های سینتر شده در دمای مختلف تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد بررسی‌های پرتو اشعه ایکس، میکروسکوپ الکترون روبشی و FTIR قرار گرفت و نتایج تجزیه و تحلیل شد.

۲-۲- آماده‌سازی قطعات آجر نسوز و ورق فلزی:

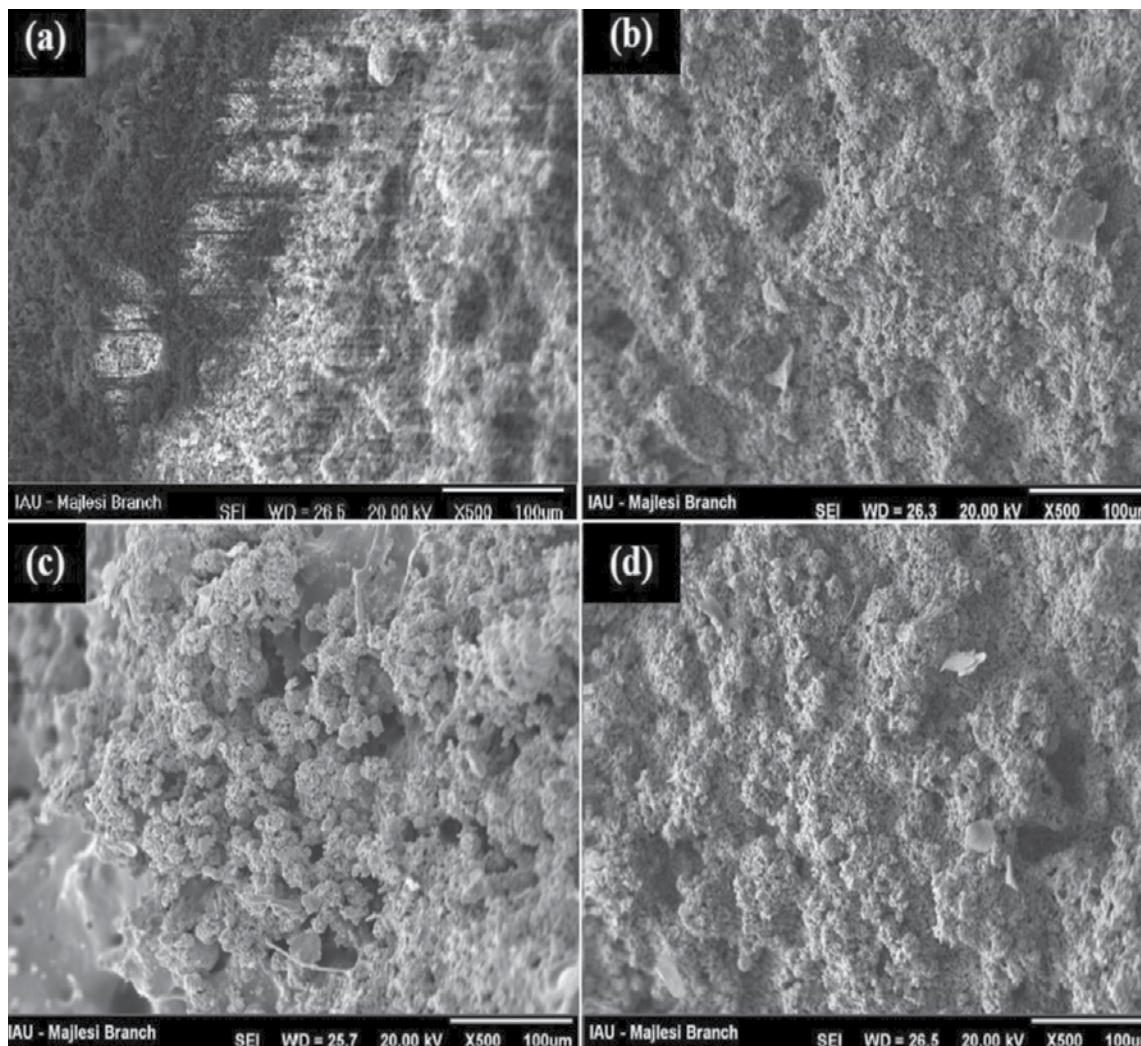
لازم به ذکر است که برای آماده‌سازی قطعات آجر نسوز، ابتدا باید سطوح فلزی و نسوز برای پوشش را از هر گونه مواد ناخالصی‌ها عاری نمود تا به خوبی پوشش بر روی سطح قرار گیرد. زیرا وجود ناخالصی بر روی سطح به خصوص اکسیدهای فلزی باعث می‌شود تا پس از ایجاد پوشش در نواحی حضور آلودگی پیوندها ضعیف‌تر شود و پوشش بعد از پخت در کوره آسیب‌پذیر شود. در مورد ورق فلزی بایستی سطح ورق را سمباده و یا سند بلاست کرد تا از هر گونه ناخالصی عاری گردد.



Green: Brick without coating, Red: MoO₃, Blue: SiC

شکل ۶ - منحنی FTIR مقایسه نمونه‌های بر پایه اکسید مولیبدن و سیلیکون کاربید با نمونه بدون پوشش .





شکل ۷- میکروسکوپ الکترونی سطح پوشش دارد شده با (a, b) SiC, (c, d) MoO₃.

SiC بوده و در تصاویر c و d پوشش اکسید مولیبدن مشاهده می شود.

برای تعیین میزان انرژی نشر شده از نمونه‌ها با سطح ۵×۵ cm نتایج محاسبات در جدول‌های ۱ و ۲ ارائه شده و انرژی نسبت به سطح ۵×۵ cm محاسبه شده است.

۲-۳- ریزساختار پوشش با سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن

پوشش‌های اعمال شده بر روی پایه فولادی و نسوز پس از سینترینگ تحت آنالیز SEM قرار گرفت. نتایج حاصل در شکل ۷ مشاهده می‌گردد. در تصویر a و b پوشش بر پایه

جدول ۱- مقادیر انتخابی نمونه‌های پوشش داده شده با سیلیکون کاربید.

P1(Uncoated)	P2 (SiC Coated)	Q SiC (KW/m ²)	Furnace Temperature (°C)
۴۲۰	۴۶۳	۵.۳۳	۶۱۰
۴۴۰	۵۰۶	۹.۳۴	۶۴۰
۴۶۷	۵۲۷	۹.۳۳	۶۷۰
۴۹۲	۵۳۷	۷.۴۸	۷۰۰
۵۱۸	۵۵۷	۷.۰۶	۷۳۰
۵۳۷	۵۸۵	۹.۴۸	۷۶۰

جدول ۲- مقادیر انتخابی نمونه‌های پوشش داده شده با اکسید مولیبدن.

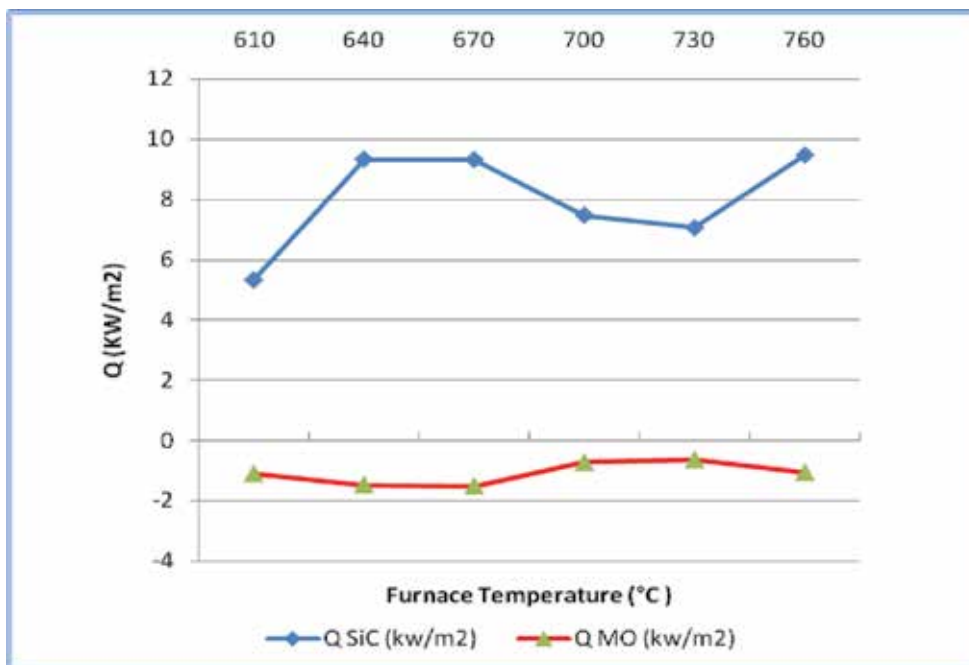
P1 (Uncoated)	P2 (Mo Coated)	Q Mo (KW/m ²)	Furnace Temperature (°C)
۳۹۷	۳۸۶	-۱.۰۹۸	۵۹۶
۴۲۶	۴۱۳	-۱.۴۶۷	۶۳۰
۴۵۱	۴۳۹	-۱.۵۱	۶۶۱
۴۸۱	۴۷۶	-۰.۷۲	۶۹۵
۵۰۴	۵۰۰	-۰.۶۳۲	۷۲۵
۵۳۳	۵۲۷	-۱.۰۵۵	۷۵۶

بوده است. آزمایش‌ها و نتایج حاصل شده نشان داد که هر ماده‌ای می‌توانند نشر و یا جذب متفاوت داشته باشد. عوامل مختلفی نظیر طول موج که ناشی از دمای سطحی نمونه‌ها می‌باشد بر روی خواص مورد نظر تأثیرگذار است. آزمایش‌ها FTIR بر روی نمونه‌های پوشش‌دار و بدون پوشش، اختلاف میزان نشر انرژی در طول موج‌های مختلف در دمای محیط را نشان می‌دهد به دلیل عدم امکان اندازه‌گیری در دماهای مختلف امکان تفسیر وسیع با استفاده از این آزمایش وجود ندارد ولی به هر حال اختلاف رفتاری این دو نوع پوشش با ماده زمینه به‌وضوح مشخص می‌باشد. نتایج حاصل از میزان انرژی در واحد سطح که در نمودار ۷ بدست آمد می‌تواند راهنمای گویایی از مقدار انرژی قابل بازیافت باشد. یا به بیان دیگر مقدار انرژی که می‌تواند از طریق نشر انرژی به داخل کوره هدایت شود، قابل محاسبه خواهد بود.

انرژی محاسبه شده در جدول‌های بالا در منحنی ۷ دیده می‌شود در این منحنی هر دو ماده سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن نمایش و مقایسه شده‌اند. این نمودار بسیار قابل توجه می‌باشد، همانطوریکه مشاهده می‌شود میزان انرژی منتقل شده از سطح پوشش داده شده که به سمت داخل کوره است، نسبت به سطح خارجی نمونه‌ها متفاوت است. نمونه پوشش داده شده با سیلیکون کاربید انرژی نشری مثبت ایجاد نموده در حالیکه نمونه پوشش داده شده با اکسید مولیبدن انرژی نشر منفی دارد. بدین معنی که جذب سطحی در این نمونه ضعیف می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری نهایی

پوشش‌های سرامیکی که در این تحقیق بررسی شد بر پایه دو ماده اولیه کاربید سیلیسیم و اکسید مولیبدن



شکل ۷ - مقایسه نمونه‌های سیلیکون کاربید و اکسید مولیبدن

مبارکه اصفهان در واحدهای نسوز و فولادسازی به دلیل
اعتماد در جهت اجرای چنین پروژه‌های تقدیر و تشکر
می‌نماید.

تقدیر و تشکر

مجری پروژه از مدیران و کارشناسان محترم شرکت فولاد



منابع:

1. Takacs, D., Sziraki, L., Torok, T.I. and Solyom, J., Surface and Coating Technology, Vol. 201, 4526-4535, (2007).
2. Shashikala, A. and Sharma, A.K., Solar Energy Material & Solar Cells, Vol. 91, pp. 629-635, (2007).
3. Valova, E., Dille, J. and Armyanov, S., Surface and Coating Technology, Vol. 190, pp. 336- 344, (2005).
4. Lin, C.K., Hsu, H.T. and Chen, C.T., Thin Solid Films, Vol. 516, 355-359, (2007).
5. Cabrera, E.S., Villalobos-Gutierrez, C. and Irausquin, I., International Journal of Fatigue, Vol. 28, 1854-1866, (2006).
6. Jappes, J.T.W. and Ramamoorthy, B., Journal of Material Science and Technology, Vol. 169, 308-313, (2005).
7. Katumba, G.L., Forbes, A. and Makiwa, G., Solar Energy Material & Solar Cells, Vol. 92, pp. 1285- 1292, (2008).
8. Sorkhabi, H.A. and Rafizadeh, S.H., Surface and Coating Technology, Vol. 176, 318-326, (2004).
9. W. A. Ellingson, R. J. Visher, DEVELOPMENT OF NONDESTRUCTIVE EVALUATION METHODS FOR CERAMIC COATINGS , Neuilly-Sur-Seine, France, April 1998.

الگوی بلوغ نوآوری در شرکت فولاد مبارکه اصفهان

نام نویسندگان:

مژده میرعنایت، کارشناس سیستم‌های مدیریت و سرآمدی شرکت فولاد مبارکه اصفهان
سیامک شجاعی، رئیس سیستم‌های مدیریت کیفیت و سرآمدی شرکت فولاد مبارکه اصفهان
محمد ناظمی هرندی، مدیر تضمین کیفیت و تعالی سازمانی شرکت فولاد مبارکه اصفهان

چکیده

ابتدا مفاهیم نظری نوآوری و الگوهای بلوغ تشریح شده سپس الگوهای نوآوری و همچنین بلوغ نوآوری، اجزا و معیارها و فرآیند تدوین آن‌ها توضیح داده خواهند شد.

کلیدواژه:

نوآوری؛ مدل؛ فولاد مبارکه اصفهان؛ نسل‌های نوآوری؛ صنعت فولاد؛ کیف نوآوری؛ بلوغ نوآوری

با توجه به اهمیت موضوع نوآوری و داشتن قابلیت انجام نوآوری مستمر برای سازمان‌ها به منظور افزایش توان رقابتی آن‌ها برای بقا در بازار دنیای امروز و همچنین توسعه الگوهای بلوغ به منظور ارزیابی این قابلیت، مقاله پیش رو با هدف معرفی «الگوی بلوغ نوآوری» در شرکت فولاد مبارکه به رشته تحریر درآمده است. در این مقاله



۱. مقدمه

امروزه مفهوم نوآوری خارج از حیطه تحقیق و توسعه صرف قرار گرفته و دامنه وسیع‌تری یافته است. این طور میشود گفت که در دنیای امروز، نوآوری شرط لازم و نه کافی برای داشتن توان رقابت با رقبای سرسخت، کسب موفقیت در بازار و بدست آوردن سهم مناسب از آن است. در واقع، بقای سازمان‌ها و بنگاه‌های امروز تنها متکی بر نوآوری نیست، بلکه وابسته به قابلیت آن برای نوآوری مستمر است. بر این اساس، برای اینکه یک سازمان یا بنگاه به طور پایدار نوآوری نماید یا توان رقابت داشته باشد، باید دارای قابلیت نوآوری باشد، قابلیتی پویا که آن را قادر می‌سازد که به طور مستمر محصولات یا خدمات خود را توسعه و بهبود دهد (بلومرد و لینچ^۱، ۲۰۱۶). از طرفی، امروزه در بسیاری از صنایع به طور عمده رقابت براساس دارایی‌های استراتژیک و توانایی در شیوه استقرار این دارایی‌ها شکل می‌گیرد. در اقتصاد جهانی نیز رقابت بر مبنای قابلیت‌ها یا مجموعه مختلفی از مهارت‌ها و دانش انباشته از طریق فرآیندهای سازمانی قرار دارد. با توجه به این رویکرد جدید در کسب و کار، فرآیندها برای سازمان به عنوان دارایی تلقی می‌شود (رنجبرفرد و جنگجو، ۱۳۹۶).

بر این اساس، الگوها و فرآیندهای سازمان به عنوان دارایی موجب ایجاد نیاز به سرمایه‌گذاری و توسعه الگو یا فرآیند برای دستیابی به بلوغ می‌شود. بنابراین، مفهوم بلوغ به طور فرآیندهای دارای اهمیت است. این امر به ویژه در حوزه نوآوری و الگوها و چارچوب‌های آن اهمیت ویژه‌ای دارد. لذا، نوآور بودن و مهم‌تر از آن داشتن قابلیت نوآوری، سازمان‌ها را بر آن داشته تا الگوهای مختص به خود را در این زمینه تدوین کرده و در پی توسعه و بهبود مستمر آنها باشند. اما، به منظور دستیابی به الگوهای اثربخش و انجام بهبودهای مستمر، سازمان‌ها نیازمند چارچوب و قالب‌هایی هستند که بتوانند بر اساس آنها ارزیابی‌های لازم را انجام داده و نقاط بهبود و توسعه را شناسایی کرده و آنها را اجرایی کنند. بنابراین، نیاز به روش‌های ارزیابی بلوغ به وجود می‌آید. الگوی بلوغ یک مسیر بهبود تکاملی را توصیف می‌کند که راهنمای سازمان‌ها برای حرکت از نابالغی و فعالیت‌های متناقض به سمت بلوغ و فرایندهای منظم است. دستورالعمل‌های الگوی بلوغ به گونه‌ای است که بهبود در هر مرحله از آن به عنوان پایه‌ای برای ایجاد بهبودهای متعهد شده در مراحل بعد است (رنجبرفرد و جنگجو، ۱۳۹۶). از این رو، فولاد مبارکه اصفهان نیز با توجه

برخی دیگر از تعاریف نوآوری عبارتند از:

- شومپیتر^۴ (۱۹۲۸) بیان می‌کند که «نوآوری موفق، انجام یک وظیفه به شیوه‌ای منحصر به فرد است».
- جین و تریاندیس^۵ (۱۹۹۰) معتقد هستند «فرآیند نوآوری شامل یکپارچه کردن فناوری‌ها و اختراعات موجود برای خلق سیستم، فرآیند یا محصولی جدید یا بهبود یافته است».
- از دیدگاه کومر و همکاران^۶ (۲۰۰۰) نوآوری را می‌توان محصولات یا خدمات ابداع شده برای اولین بار که منجر به یک موفقیت تجاری می‌شوند، نامید.
- بر اساس تعریف لی هوآ^۷ (۲۰۰۷) نوآوری با تقلید تفاوت دارد، نوآوری وقت‌گیر است و نیاز به تفکر و پیشرفت دارد. در بعضی موارد، نوآوری سازمان‌ها را ملزم می‌کند تا بودجه طرح‌های کوتاه مدت را قربانی طرح‌های بلند مدت کنند. به عبارتی دیگر نوآوری مکانیزم محرکی است که به تفکر «روز بعد از فردا» نیاز دارد نه به تفکر امروز یا فردا.
- همچنین، آقائی فیشانی (۱۳۷۷) نوآوری را فرآیند اخذ ایده خلاق و تبدیل آن به محصول، خدمات و روش‌های جدید عملیات تعریف می‌کند.
- ایبلی و موفقی (۱۳۸۶) بیان می‌کنند که نوآوری، فرآیند کسب اندیشه‌ای خلاق و تبدیل آن به محصول و خدمت و یا یک روش عملیاتی مفید است. این دو معتقدند سه مجموعه از متغیرها وجود دارند که می‌توانند نوآوری را ایجاد کنند. این مجموعه‌ها به ساختار سازمانی، فرهنگ و توانایی منابع انسانی مربوط می‌شوند.

۳. انواع نوآوری

صاحب‌نظران، نوآوری را از منظرهای گوناگون به انواع مختلفی تقسیم‌بندی نموده‌اند. به طور مثال تروت^۸ (۲۰۰۵) انواع نوآوری را به صورت زیر دسته‌بندی می‌کند (داستانی، ۱۳۸۸):

اما اصلی‌ترین نوع تقسیم‌بندی بر اساس میزان نوآوری انجام گرفته است. در این دسته‌بندی نوآوری به دو دسته

به ویژگی پیشرو بودن و سرآمدی خود اهمیت این موضوع را درک کرده و در صدد تدوین و اجرای الگوی خود در این زمینه برآمده است و در مقاله پیش رو بخشی از تلاش این شرکت در راستای تدوین الگوی بلوغ نوآوری خود و توسعه آن تشریح شده است. در این مقاله، ابتدا مفاهیم نظری نوآوری و بلوغ و الگوهای مرتبط با آنها تشریح شده و سپس به توضیح الگوهای نوآوری و بلوغ نوآوری شرکت فولاد مبارکه و چگونگی تدوین آنها پرداخته خواهد شد.

۲. تعریف نوآوری

تعریف نوآوری آسان نیست. برخی نوآوری را به عنوان اختراع به اضافه بهره‌برداری تعریف کرده‌اند. به عبارتی دیگر، نوآوری تنها عمل خلق نیست بلکه مخترع یا کسی که در حقیقت محصول خلق شده را به بازار برده و به افراد دیگر می‌فروشد را نیز در بر می‌گیرد. این مطلب بیانگر چیزی بیش از تعریف عنوان شده در خط اول است و نوآوری مفهومی فراگیرتر است. در واقع نوآوری شامل فرآیند توسعه و پیاده‌سازی اختراع است (وایت و بروتون^۱، ۲۰۱۱). روبن اشتاین^۲ (۱۹۸۹) در تعریف کامل‌تری از نوآوری عنوان می‌کند که «نوآوری فرآیندی است که در طی آن محصولات، فرآیندها، مواد و خدمات جدید یا بهبود یافته توسعه یافته و به یک کارخانه و/یا بازار، جایی که مناسب آن است، انتقال می‌یابد».

همچنین، خلیل^۳ (۲۰۰۰) در کتاب خود نوآوری را شامل خلق کالا، خدمت یا فرآیندی می‌داند که برای سازمان جدید است.

وی معتقد است که نوآوری، معرفی چیز جدید به بازار است، یا با کاربرد آن چیز جدید برای سازمان و یا با بازاریابی و تجاری کردن آن. لازم نیست برای دنیا تازه و جدید باشد، بلکه نوآوری به اولین بار استفاده کردن از یک ایده به وسیله یک سازمان گفته می‌شود، چه آن ایده پیش از این به وسیله سازمان‌های دیگر استفاده شده باشد چه نشده باشد.

جدول ۱- انواع نوآوری از دیدگاه تروت (۲۰۰۵)

انواع نوآوری	مثال
نوآوری محصول	توسعه محصول جدید یا بهبود محصول فعلی
نوآوری فرآیند	توسعه فرآیند تولید
نوآوری سازمانی	یک ریسک جدید تجاری مانند ایجاد یک رویه جدید حسابداری
نوآوری مدیریت	سیستم‌های مدیریت کیفیت جامع، مهندسی مجدد فرآیندهای تجاری
نوآوری تولید	چرخه‌های کیفیت، تولید بهنگام
نوآوری تجاری/بازاریابی	ترکیب‌های مالی جدید مانند شیوه فروش جدید
نوآوری خدمات	خدمات مالی اینترنتی

1- White and Bruton
2- Rubenstein
3- Khalil
4- Schumpeter
5- Jain & Triandis
6- Kumer et al.
7- Li Hua
8- Trott

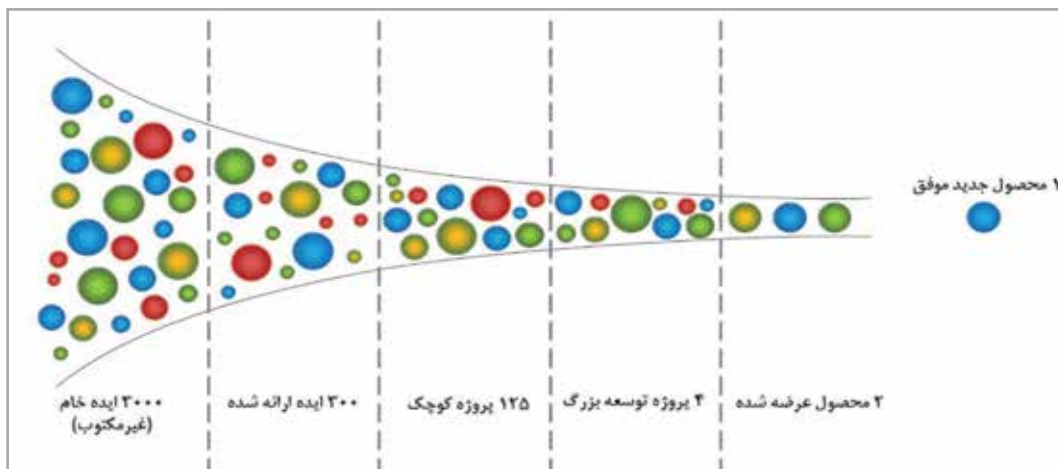
می‌شود. ظهور نسخه‌های جدیدی از وسایل الکترونیکی و یافتن روش‌های بهبود عملکرد فرآیندی که منجر به بهره‌وری بهتر یا هزینه کمتر باشد نمودی از این نوع نوآوری است.

۴. اهمیت نوآوری

نوآوری می‌تواند منجر به مزیت رقابتی گردد. نوآوری از طرق مختلف می‌تواند برای شرکت مزیت‌آفرین باشد. نوین بودن محصول یا خدمت که می‌تواند منجر به جذب مشتریان به سوی محصول و خدمت سازمان گردد. نوآوری در فرآیندها نیز در نهایت با عملکرد بهتر، قیمت مناسب‌تر و سرعت سریع‌تر در تولید محصولات منطبق بر بازار

نوآوری اساسی یا رادیکال^۱ و نوآوری تدریجی^۲ یا جزئی تقسیم شده است. نوآوری اساسی، نوآوری است که در آن ظهور محصول و یا فرآیند جدید منجر به تغییر اقبال کلی بازار به محصول یا فرآیند جدید می‌شود. مثال معروف این نوع نوآوری ظهور دوربین‌های عکاسی دیجیتال است که با ظهور آنها بازار به علت مزایای برجسته‌ای که این نوع دوربین نسبت به دوربین‌های نسل قبل داشت، تقریباً دوربین‌های قبلی را کنار گذاشت و دوربین‌های دیجیتال را جایگزین آن کرد. نوع بعدی، نوآوری تدریجی است که عبارتست از نوآوری‌هایی که بر روی محصول، خدمت و یا فرآیند فعلی انجام می‌شوند و منجر به بهبود عملکرد آن می‌گردند. از این نوآوری با عنوان بهبود مستمر نیز یاد





شکل ۱- مراحل نوآوری یا الگوی چرخه نوآوری-خلیل (۲۰۰۰)

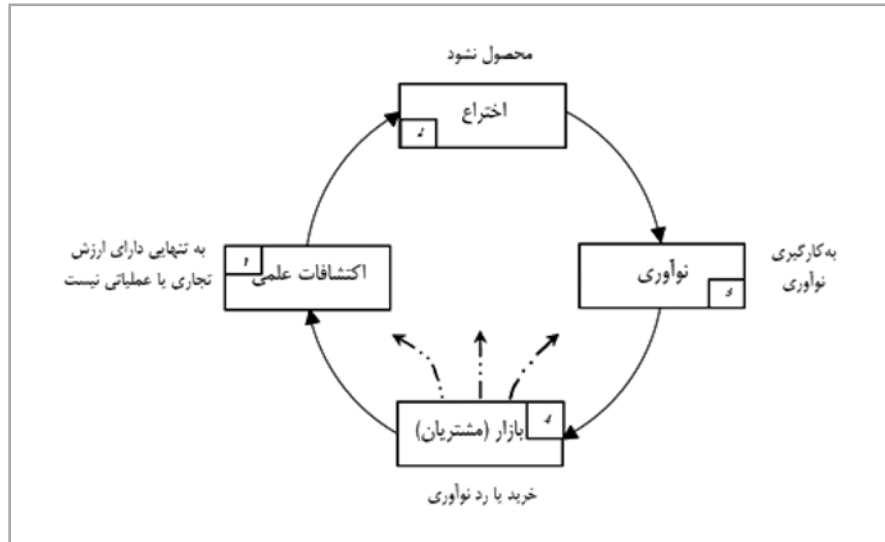
می‌گردد، نیز ایجاد شوند.

۵. مراحل نوآوری

در نوآوری مراحل مختلفی وجود دارد که برخی از پژوهشگران این حوزه سعی نموده‌اند تا این مراحل را به صورت الگوهایی برای پیاده‌سازی درآورند. در این زمینه، خلیل (۲۰۰۰) مراحل نوآوری را این گونه بیان می‌کند: ایده یا اکتشافات علمی که این ایده یا اکتشافات در آزمایشگاه‌ها و یا شرکت‌ها به صورت آزمایشی ساخته و به صورت اختراع

می‌تواند در نهایت با جذب بهتر مشتری و حفظ رقابت در محصول منجر به مزیت برای سازمان گردد. شرکت نوآور با توجه به آنکه می‌تواند پیش از دیگران به محصولات نوین دست یابد و آنها را وارد بازار کند، از برخی از مزیت‌ها استفاده می‌نماید این مزیت‌ها عبارتند از مواردی مانند استفاده از حق قانونی و لیسانس مخصوص برای شرکت، تصاحب بهتر بازار و پیشگام بودن، تعیین قیمت و ایجاد موانعی برای ورود رقبای بعدی. این مزیت‌ها می‌توانند از بسیاری از ارزش‌های دیگر که به وسیله نوآوری ایجاد





شکل ۲- قیف نوآوری (شیلینگ^۲، ۲۰۰۸)

خروجی آن یک محصول موفق در بازار است. این الگو بیان می‌کند که ایده‌های مختلفی وجود دارند که می‌توان آنها را جستجو نمود. از حدود ۳۰۰۰ ایده موجود که با روش‌های مختلف ایجاد شده‌اند، حدود ۱۰ درصد، یعنی حدود ۳۰۰ ایده مکتوب می‌شوند. از این تعداد ارائه شده ۱۲۵ ایده، پروژه کوچک کاربردی محسوب می‌شوند که با پایش این پروژه‌ها و امکان‌پذیری و کاربرد پذیری به چهار پروژه توسعه محصول بزرگ تبدیل می‌شوند. این پروژه‌های توسعه می‌توانند در غالب دو محصول خروجی

در می‌آید. سپس، این اکتشاف با سرمایه‌گذاری‌هایی که بر روی آن انجام می‌شود به صورت محصول در می‌آید و در مرحله آخر این محصول به بازار عرضه می‌شود. این مراحل در قالب الگوی شناخته شده «چرخه نوآوری» به صورت زیر توسط خلیل ارائه شده است:
الگوی شناخته شده دیگری که مراحل کلی نوآوری را به خوبی بیان می‌کند، به الگوی «قیف نوآوری»^۱ مشهور است. این الگو فرآیند نوآوری را به یک قیف تشبیه می‌کند که ورودی آن ایده‌هایی است که وارد فرآیند می‌شوند و



1- Innovation Funnel
2- Schilling

شرکت در آیند که به بازار عرضه می‌شود و حدود نیمی از این محصولات یعنی یک محصول از تجاری‌سازی بازار سربلند بیرون می‌آید و مورد اقبال مشتریان قرار می‌گیرد. این مورد در قالب شکل زیر مشاهده می‌شود.

۶. الگوی بلوغ، تعاریف و مفاهیم

گوتشالک^۱ (۲۰۰۹) بیان می‌کند که طبق فرضیه الگوهای پیش‌بینی تغییر و تکامل سازمانی، معمولا الگوهای بلوغ آچگونگی رشد قابلیت‌های سازمان را مرحله به مرحله و در امتداد یک مسیر پیش‌بینی شده، مطلوب، یا منطقی نشان می‌دهند. بر اساس این تعریف، این الگوها با توجه به مراحل رشدشان، الگوهای مرحله‌ای یا نظریه‌های مرحله‌ای نامیده شده‌اند (رنجبرفرد و جنگجو، ۱۳۹۶).

در کل، معنی و تعریف بلوغ وابسته به حوزه مرجع آن است. به طور مثال، در حوزه مالی، بلوغ ممکن است به تاریخی اشاره کند که طبق آن تعهد بدهی باید نهایی شده باشد یا مقدار اصلی سرمایه‌گذاری در دسترس قرار گیرد. همچنین،

این مفهوم ممکن است به بزرگسالی اشاره کند، دوره زمانی که در آن یک فرد به سطح خاصی از توسعه فیزیکی یا ذهنی دست پیدا می‌کند (اسمان^۲، ۲۰۰۹).

دیکشنری آکسفورد چندین توصیف از کلمه «بلوغ» دارد. این دیکشنری بیان می‌کند بلوغ به معنی «کاملا توسعه یافته یا رشد کرده؛ طرح‌ها یا نظریه‌ها؛ کاملا در نظر گرفته شده یا کامل؛ سیاست‌ها یا صورتحساب‌های بیمه، بدهی، میوه، پنیر، یا به سن کامل رسیده» است. اما، سؤالی که در اینجا مطرح می‌گردد، این است که بلوغ در حوزه سازمانی به چه معنی است؟ حجم زیادی از منابع پژوهشی در ادبیات این حوزه به دنبال جواب این سؤال بوده‌اند. اما نتایج در کل به یک مفهوم منحصر به فرد از بلوغ سازمانی منجر نشده‌اند. اما، به نظر می‌رسد که مفیدترین تعریف از این موضوع را کوک-دیویس^۴ (۲۰۰۴) ارائه کرده است. طبق گفته وی، سازمانی بالغ است که در حوزه کاربرد خود در مدل‌های بلوغ به طور «کامل توسعه یافته»^۵ یا «کامل شده»^۶ است. وی می‌افزاید که در اصل این دو توصیف

- 1- Gottschalk
- 2- Maturity Models
- 3- Essmann
- 4- Cooke-Davies
- 5- Fully developed
- 6- Perfected





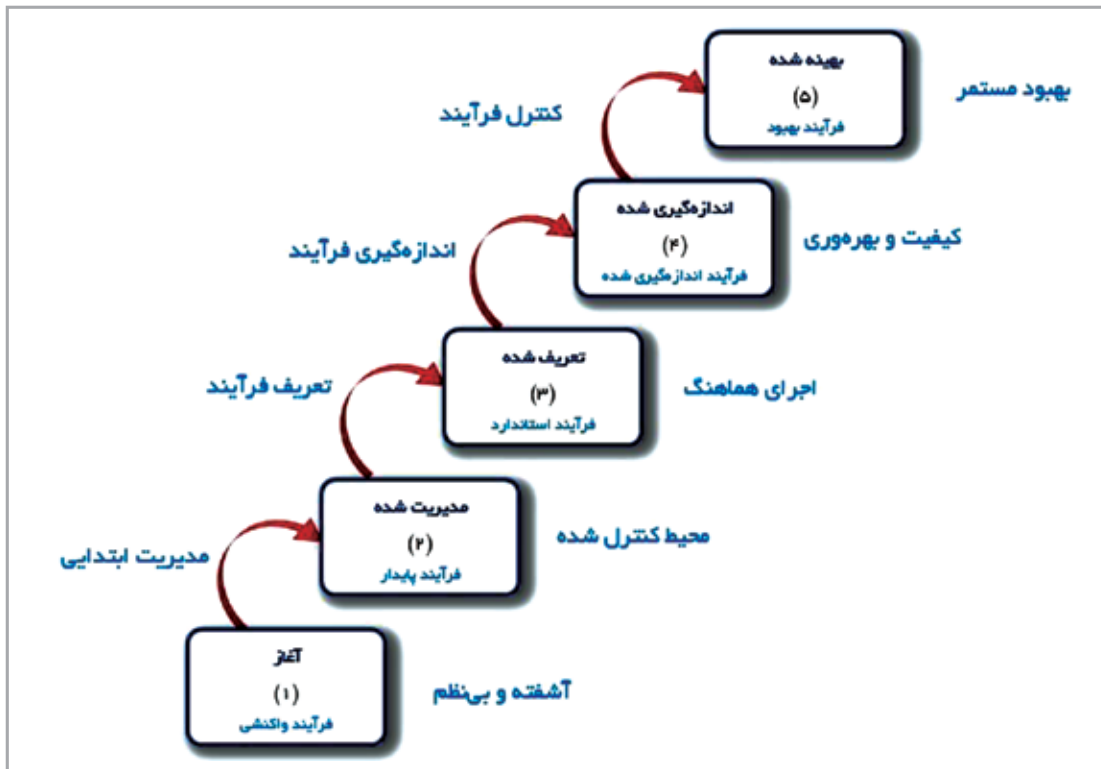
رویه‌های سازمانی بوده است (اسمان، ۲۰۰۹). این الگوها بسیار موفق بودند، به طوری که به چیزی بیش از جاری سازی فرآیندها منجر شدند و در عوض سازمان‌ها را از طریق تأکید بر اهمیت فعالیت‌هایی که قابل تکرار، قابل اندازه‌گیری و به طور مستمر در حال بهبود بودند، تغییر دادند (پاولک^۱، ۲۰۰۹). در نتیجه این رویکرد بسیار تأثیر گذار شد و به سرعت به سایر صنایع گسترش یافت به طوری که تبدیل به استاندارد برای مدل‌سازی فرآیند و ارزیابی‌های بلوغ سازمانی گشت (هیندز و همکاران^۲، ۲۰۱۴). الگوهای بلوغ قابلیت (CMM^۳) به طور موفق در دامنه‌های وسیعی از مدیریت با استفاده از اصول مشابه و به کار بردن ساختار یا محتوای آنها برای یک زمینه جدید، مورد استفاده قرار گرفته‌اند (آروسون و همکاران^۴، ۲۰۱۰). نمونه‌های اولیه الگوهای بلوغ به سلسله مراتب نیازهای انسانی، رشد اقتصادی و پیشرفت IT در سازمان‌ها اشاره دارند. به عنوان مثال، در این زمینه می‌توان به فرضیه

(کامل توسعه یافته یا کامل شده) ممکن است مشابه و مترادف به نظر برسند. اما، اگر بررسی عمیق‌تری صورت گیرد، این توصیفات تفاوت‌های بنیادینی را در بر می‌گیرند. مفهوم «کامل توسعه یافته» مبتنی بر استعاره ارگانیک است- این ایده که در طول زمان، فرآیندهای بیولوژیکی همگی انجام شده و به یک طرح که در ساختار ژنتیک ارگانیمی در حال بلوغ در آمیخته است، منجر گردد (کوک-دیویس، ۲۰۰۴).

این تشابه در این فرض رایج وجود دارد که یک وضعیت کامل وجود دارد و آن وضعیت قابل دسترس است. و رسیدن به بالاترین سطح بلوغ سازمانی بیانگر «کمال» یا «توسعه یافتگی کامل» است. در نتیجه مفهوم خود توسعه یافتگی برای سازمان مصداق ندارد و توسعه یافتگی کامل نادیده گرفته می‌شود.

ریشه الگوهای بلوغ در توسعه نرم‌افزار است و هدف آن در اصل کاهش نقایص و افزایش بهره‌وری از طریق تأکید بر

1- Paulk
2- Hynds et al.
3- Capability Maturity Model
4- Arveson et al.
5- Nolan
6- As-is
7- Röglinger et al.
8- Champlin



شکل ۳- ساختار سطح بلوغ (چمپلین، ۲۰۰۳)

مربوطه است. الگوهای بلوغ به منظور کاربردهای زیادی شامل توسعه نرم‌افزار، مدیریت IT، مدیریت پروژه، مدیریت داده، مدیریت کسب و کار، مدیریت دانش، مدیریت نوآوری و غیره توسعه یافته‌اند (چمپلین^۵، ۲۰۰۳). بنابراین، یک شرکت یا سازمان انتخاب‌های وسیعی برای این دارد که کدامیک را نه تنها بین کاربردها، بلکه درون هر یک از کاربردها انتخاب نماید (اسمان، ۲۰۰۹).

صرفه نظر از تعداد زیاد دامنه‌های کاربرد، اهداف الگوهای بلوغ بسیار به یکدیگر شبیه هستند. هدف کلی آنها ارزیابی وضعیت موجود در یک سازمان، تسهیل بهینه‌کاو و ارائه خطوط راهنما برای بهبود است (وندلر^۱، ۲۰۱۲). همانطور که پیش از این هم عنوان شد، این الگوها مبتنی بر این فرض هستند که تغییر و تکامل سازمانی در الگوهای قابل پیش بینی رخ می‌دهند و در نتیجه به طور سلسله مراتبی در سطوح یا گام‌های مجزا و متوالی ساختار یافته‌اند که تکامل اهداف اندازه‌گیری شده‌ای که بر حسب معیارها ارزیابی می‌شوند را مجسم می‌کنند.

۸. ساختار پایه و ویژگی‌های سطح بلوغ

غالباً ساختار الگوهای بلوغ بسیار مشابه است زیرا آنها مبتنی بر الگوی بلوغ قابلیت^۲ (CMM) نرم‌افزار هستند (پاولک، ۲۰۰۹). معمولاً این الگوها از سه تا شش سطح بلوغ پشت سرهم مرتب شده که کمال در حال افزایش

مرحله‌ای نولان^۵ اشاره کرد. این فرضیه توسط پژوهشگران بسیاری مورد بررسی قرار گرفت و یافته‌های حاصل هم متفاوت و متضاد بودند. با این حال، الگوی مرحله‌ای در سطح گسترده‌ای تصویب شد و مورد اقتباس صدها الگوی دیگر نیز قرار گرفت (رنجبرفرد و جنگجو، ۱۳۹۶). هدف اصلی الگوهای بلوغ، تعیین مراحل مسیر بلوغ است که شامل ویژگی‌های هر مرحله و روابط منطقی بین آنها می‌شود. همچنین در عمل، هدف به کارگیری الگو می‌تواند توصیفی، تجویزی و یا تطبیقی باشد. یک الگوی بلوغ در صورتی که برای ارزیابی وضعیت فعلی^۶ سازمان اعمال شود، هدف توصیفی دارد و زمانی که برای تشخیص سطوح بلوغ مطلوب و نحوه پیاده‌سازی برطبق مقیاس‌های بهبود را نشان دهد با هدف تجویز استفاده شده است. همچنین، اگر الگوی بلوغ امکان الگوبرداری داخلی و خارجی را فراهم کند، هدف تطبیقی دارد (روگلینگر و همکاران^۷، ۲۰۱۲).

۷. هدف الگوهای بلوغ

دو هدف بنیادین برای الگوهای بلوغ وجود دارد. هدف اول ایجاد قابلیت بلوغ در یک سازمان بر حسب یک حوزه خاص از عملکرد یا رویه است. هدف دوم مبتنی بر نتایج هدف اول است؛ یعنی تسهیل ایجاد یک جهت و جریان برای بهبود که به بهترین شکل مناسب سازمان خواهد بود و مطابق با برترین رویه‌های توصیه شده در حوزه

1- Wendler
2- capability maturity model
3- Müller-Prothmann and Stein
4- De Bruin et al.
5- Kruger and Snyman
6- Khatibian et al.

کیفی یا الزامات عمومی در زمینه مورد کاربرد را توصیف می‌کنند، تشکیل شده‌اند (مولر-پروتمن و اشتین^۲، ۲۰۱۱). اما، در حالی که تعداد سطوح ممکن است تغییر کند، قرارداد اصلی و کلیدی این است که آنها متمایز، به خوبی تعریف شده بوده و یک روند پیشرفت منطقی را نشان بدهند (دی بروین و همکاران^۴، ۲۰۰۵).

الگوی بلوغ قابلیت (CMM) اصلی به عنوان استاندارد بالفعل مورد پذیرش قرار می‌گیرد و اغلب به عنوان مبنای توسعه الگوهای بلوغ استفاده می‌گردد. بنابراین، در بیشتر الگوها سطح ابتدایی بلوغ دارای هیچ الزامی نبوده و بیانگر وضعیتی بی‌نظم است، سطوح دو تا چهار بر روی افزایش نظم و اثربخشی رویه‌ها تمرکز دارند، در حالی که بالاترین سطح، مرتبط با بهبود مستمر قابلیت است (کروگر و اسنیمن^۵، ۲۰۰۵). الگوهای بلوغ می‌توانند به دو دسته تقسیم شوند: شبکه‌ها یا ماتریس‌های بلوغ و الگوهای بلوغ قابلیت.

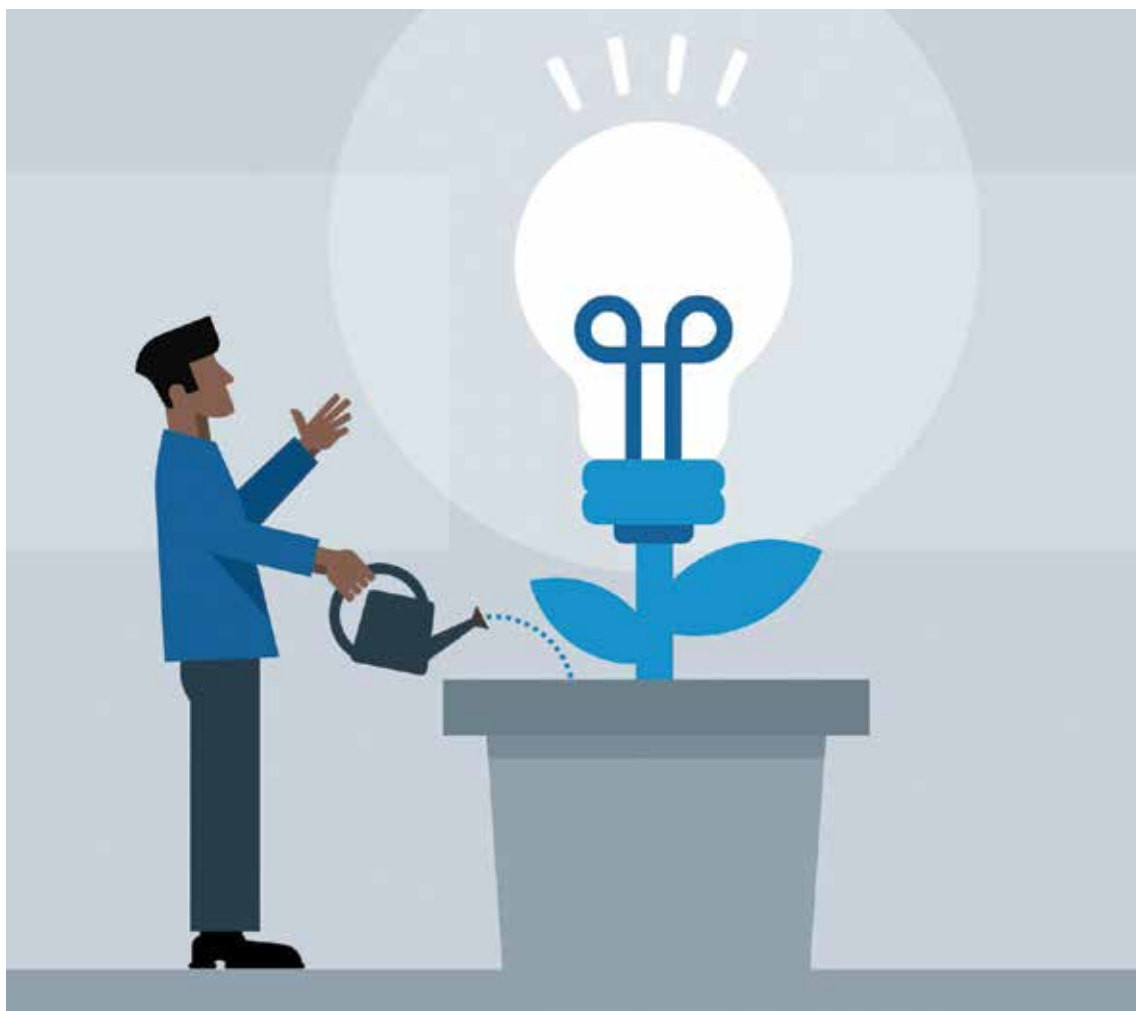
شواهد فراوانی وجود دارند که بر مبنای آنها پیاده‌سازی یک الگوی بلوغ می‌تواند به بهبود سازمانی و نتایج برتر منجر شود که عموماً از طریق عملکرد پیش‌بین بدست می‌آید. الگوهای بلوغ همچنین وظیفه تقویت درک یک حوزه مشخص و شناسایی برترین رویه‌ها را دارند (اسمان،

۲۰۰۹). به همین دلیل الگوهای بلوغ اغلب مورد استفاده قرار گرفته و به مفاهیم پیچیده‌ای که نمی‌توانند در یک زمان بهبود یابند اضافه می‌گردند (خطیبیان و همکاران^۶، ۲۰۱۰). همچنین نمودار زیر ساختار سطح بلوغ از دیدگاه چمپلین (۲۰۰۳) را نشان می‌دهد.

بر خلاف آنچه که در شکل فوق نشان داده شده است، یک شرکت یا سازمان ممکن است همیشه از سطح بلوغ اول شروع نکند. شرکت یا سازمان بر اساس الزامات هر سطح مورد بهینه‌کاوی قرار می‌گیرد و سطح مناسب به آن تخصیص داده می‌شود - بسته به برآورده سازی مستمر الزامات. فرض می‌شود که تمامی الزامات در هر یک از سطوح برای رسیدن به سطوح بعدی برآورده شده است. بنابراین، برای دستیابی به سطح پنج، تمامی الزامات سطوح ۲، ۳ و ۴ باید به طور پیوسته برآورده شده و نهادینه شده باشند. سطح اول بیانگر برآورده سازی هیچ الزامی نیست، زیرا به عنوان سکوی پرتاب برای سطوح بعدی عمل می‌کند (اسمان، ۲۰۰۹).

۹. نوآوری و الگوهای بلوغ

امروزه سازمان‌ها به طور مستمر تکامل می‌یابند. این



1- Baker
2- Teece et al.
3- Hamel
4- Moore
5- Capability Maturity Model Integration
6- Accenture

تکامل برخی اوقات به وسیله یک انقلاب کامل پشت سر گذاشته می‌شود. تغییر به وسیله عوامل همواره در حال تکامل شامل الزامات و نیازهای مشتری، تأمین کنندگان، رقابت، فناوری، اقتصاد جهانی، محیط اجتماعی-اقتصادی و موارد گوناگون دیگر هدایت می‌گردد (بیکر^۱، ۲۰۰۲). این جهانی است که در آن وضعیت امروز، وضعیتی نیست که دیروز بوده است و تضمینی برای وضعیت فردا هم وجود ندارد. بنابراین، قابلیت‌های یک سازمان باید در این شرایط پویا باشند (تیس و همکاران^۲، ۱۹۹۷). این یک واقعیتی است هر سازمان رقابت محوری باید با آن مواجه شود. از این رو، سازمان کامل دیروز لزوماً یک سازمان کامل برای امروز یا فردا نیست. از تعریف بلوغ این گونه بر می‌آید که هدف سیستم پیوسته در حال تغییر است. بنابراین، چگونه ممکن است که بتوان سطوح بلوغ سازمانی را تعریف کرد در حالی که بنیانی که بر مبنای آن تعریف انجام شده است به طور مستمر در حال تغییر است؟ آیا امکان پذیر است که یک سازمان بالغ را توصیف کرد؟

تکامل و انقلاب منجر می‌گردد، اما به دلیل تکامل و انقلاب هم رخ می‌دهد. CMMI^۵ پاسخ مسئله تغییر بی‌وقفه را ضروری بودن نوآوری می‌داند. مسئله اما اینجاست که این الزام، یعنی نوآوری، تنها به وسیله سازمان‌هایی برآورده می‌شود که به سطح چهار از بلوغ رسیده‌اند یا در کوشش برای رسیدن به سطح پنج از بلوغ هستند. بنابراین، مدل‌های بلوغ بیان می‌کنند که نوآوری تنها برای سازمان‌هایی رزرو شده است که دارای رتبه‌های بالاتر قابلیت بلوغ هستند. سازمان‌های بزرگ بر اساس محصولات، فرآیند و استراتژی خود صرفه نظر از سطح حوزه خاص بلوغشان نوآوری می‌کنند. غول‌های جهانی مانند اکسنچر^۶، AT&T Labs، بوئینگ^۱، بوش^۲، جنرال موتورز^۳، اریکسون^۴، هانیول^۵، IBM، اینتل^۶، موتورولا^۷، نوکیا^۸ و بسیاری دیگر همگی در این راستا گام برداشته‌اند و تا به امروز جزء غول‌های جهانی باقی مانده‌اند (شرام و فیلیپس^۹، ۲۰۰۴).

بقای سازمان‌ها و بنگاه‌ها امروز تنها متکی بر نوآوری نیست، بلکه وابسته قابلیت آن برای نوآوری مستمر است. بر این اساس، برای اینکه یک بنگاه به طور پایدار نوآوری

نوآوری به طور نیرومندی با تکامل و انقلاب پیوند خورده است (همل^۲، ۲۰۰۰، ۲۰۰۶؛ مور^۴، ۲۰۰۵). نوآوری به

جدول ۲- سطوح الگوی قابلیت بلوغ نوآوری (بلومرد و لینچ، ۲۰۱۶)

سطح	نام مرحله	توضیح
۵	بهینه شده	یک وضعیت آرمانی نهایی که بیانگر بهترین رویه است. فرآیندها به طور دقیق رسمی می‌شوند و به طور مستمر بهبود می‌یابند.
۴	اندازه‌گیری شده	شاخص‌ها رویه‌های رسمی شده را به منظور اطمینان از اینکه آنها به طور قابل پیش‌بینی مدیریت و کنترل می‌شوند، پایش و ارزیابی می‌کنند.
۳	تعریف شده	مرحله پیشرفت غیرمنتظره که در آن طرح‌های تعریف شده، فرآیندهای استاندارد شده و مدیریت درگیر شده وجود دارد.
۲	مدیریت شده	فرآیندهای مدیریت ناسازگار و واکنشی اما بیانگر ظهور رسمی سازی است.
۱	آغاز	تمرکز کوتاه مدت، محافظه کار نسبت به نوآوری، همراه با فرآیندهای نامنظم واکنشی

نماید یا توان رقابت داشته باشد، باید دارای قابلیت نوآوری باشد، قابلیتی پویا که آن را قادر می‌سازد که به طور مستمر محصولات یا خدمات خود را توسعه و بهبود دهد. بلوغ می‌تواند به عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری قابلیت سازمانی استفاده شده و در زمینه‌های مختلف با اهداف و مقاصد متمایز به کار برده شود (اندرسن و یسن^{۱۰}، ۲۰۰۳). در زمینه مدل‌های بلوغ، این مفهوم به یک توسعه کامل یا وضعیت کامل شده یا میزانی که طبق آن فعالیت‌ها یا فرآیندهای خاصی تعریف، مدیریت، اندازه‌گیری، کنترل و اثربخش می‌شوند و نتیجه آن نتایجی هستند که عملکرد را بهبود می‌بخشند، اشاره دارد (بلومرد و لینچ، ۲۰۱۶).

۱۰. سطوح بلوغ قابلیت نوآوری

در سطوح یا مراحل بلوغ قابلیت نوآوری، مرحله «آغازین» آشفته، انفعالی و بی‌نظم است که ویژگی‌های دیگر آن قابلیت اجرای واکنشی، استانداردسازی کم و غیبت درک مشترک است. بعد از پیاده‌سازی برخی از اقدامات مدیریتی

پایه (ابتدایی)، مرحله دوم بیشتر «کنترل شده» است. در مرحله دوم مقداری سیاست یا پیاده‌سازی استراتژی وجود دارد، اما خطوط راهنما به طور گسترده رعایت نمی‌گردند و مکانیزم بازخوردی وجود ندارد و نمی‌توان نتایج را پیش کرد. در مرحله سوم، مرحله «تعریف شده» که از آن اغلب با عنوان سطح پیشرفت غیرمنتظره یاد می‌شود، شایستگی‌ها تعریف شده و سازمان مرتبط با اجرای هماهنگ آنهاست. در مرحله «اندازه‌گیری»، سازمان شاخص‌های کمی را برای کنترل جامع‌تر قابلیت اجرا معرفی می‌کند. در مرحله نهایی، یعنی مرحله «بهینه‌سازی»، تمرکز بر بهبود مستمر قابلیت‌هاست. این سطح به عنوان یک وضعیت آرمانی در نظر گرفته می‌شود که بیانگر بالاترین سطح ممکن بلوغ قابلیت نوآوری یا برترین رویه است.

بر اساس برترین رویه‌ها، سطوح بالاتر بلوغ بیانگر مهارت بالاتر در اجرای قابلیت‌های توانمندساز نوآوری است و تصریح شده است که تمامی الزامات برای یک سطح و سطوح قبلی باید قبل از اینکه یک سازمان بتواند اجازه



شکل ۴- الگو و چارچوب نوآوری شرکت فولاد مبارکه اصفهان



نیازهای او در توسعه فرآیندها و محصولات همواره مد نظر بوده و نوآوری بر اساس نسل دوم نوآوری (یعنی نیاز، توسعه، تولید و فروش) پایه‌ریزی شده است. بر این اساس، بخش بازاریابی شرکت فولاد مبارکه اصفهان همواره نیازهای بازار را می‌سنجد و در تعامل با بخش‌های برنامه‌ریزی تولید اقدام به تعریف ویژگی‌های محصول می‌نماید و تولید با هدایت بازار، بر محصولات مختلف تمرکز می‌نماید. هنگامی که در بازار نیازمندی‌هایی وجود داشته باشد که میزان تقاضای آن برای شرکت جذابیت داشته و شرکت توانمندی تولید آن را دارد در برنامه‌های توسعه محصول سازمان قرار گرفته و آن محصول به سبد محصولات شرکت افزوده می‌شود. این محصول ممکن است به طور کلی در

پیدا کند که به سطح بعد برود، برآورده شوند. اما، سطوح بلوغ عبارتند از آغاز، مدیریت شده، تعریف شده، اندازه‌گیری شده و بهینه‌سازی یا بهینه شده که این سطوح در جدول زیر به طور مختصر توضیح داده شده‌اند. این سطوح با هم، مسیر تکاملی که قابلیت یک سازمان از اجرای واکنشی (ad hoc) و نابالغ تا اجرای منظم و بالغ طی می‌کند را نشان می‌دهند (بلومر و لینچ، ۲۰۱۶).

۱۱. نوآوری در شرکت فولاد مبارکه اصفهان

در شرکت فولاد مبارکه اصفهان با توجه به اینکه تولید بر مبنای سفارش انجام گرفته است از ابتدا تمرکز نوآوری بر حوزه فرآیندی بوده است. بنابراین، توجه به مشتری و

1- Cross Functional Teams



شرکت جدید باشد و یا افزودن ویژگی‌های جدید برای محصولات فعلی باشد.

تغییر و تحولات صنعت فولاد در سالیان اخیر باعث شده است که شرکت توسعه محصولات خاص را در استراتژی‌های اصلی خود وارد کرده و تلاش نماید تا به نوآوری خود به صورت نظاممند بنگرد. الگو و فرآیند نوآوری شرکت که بر اساس مدل کیف نوآوری طراحی شده است، به صورت زیر است. بخش‌های مختلف این الگو به صورت زیر تشریح شده‌اند:

۱- تحلیل شکاف:

در این مرحله قبل از تدوین استراتژی‌های نوآوری شرکت، کارگروه تخصصی برنامه‌ریزی استراتژیک، تحلیل شکاف‌های موجود را به صورت تخصصی بررسی می‌کند و شکاف‌های موجود را شناسایی و به عنوان ورودی به الگو نوآوری وارد می‌شود.

۲- دریافت ایده:

در این مرحله از طریق مکانیزم‌های مختلف با توجه به شکاف‌های شناسایی شده به جمع‌آوری ایده‌ها در گروه‌های مختلف ذی‌نفعان (کارکنان، تأمین‌کنندگان،

مشتریان، جامعه و سهامداران) پرداخته می‌شود.

۳- پالایش، توسعه و اولویت‌بندی ایده‌ها:

پس از آن که ایده‌ها از سه کانال مختلف دریافت شد، توسط فرآیندهای مربوطه مانند: فرآیند نظام پیشنهادها، فرآیند مدیریت تکنولوژی، فرآیند R&D و... و همچنین از طرح کمیته‌های تصمیم‌گیری موضوعی مانند: کمیته‌های تحول یا تیم‌های بین‌وظیفه‌ای، کمیته محصولات و... بررسی و پالایش می‌شوند و در صورتی که به تشخیص این ساختارها به مرحله قابل اجرا بودن برسد، طرح مربوطه توسط کارگروه تکمیل و در نهایت کلیه طرح‌ها جهت اجرا اولویت‌بندی می‌شود.

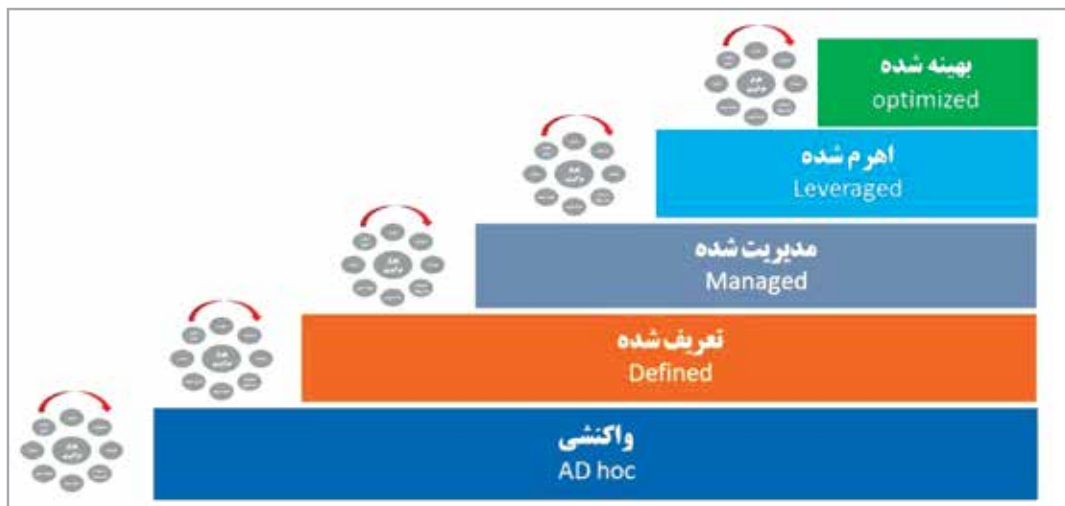
۴- ریسک نوآوری:

در این فاز، شرکت فولاد مبارکه اصفهان اقدام به بررسی ریسک ایده‌هایی می‌کند که قصد دارد در قالب پروژه‌های نوآوری اجرایی نماید. بدین منظور، پروژه‌ها بر اساس میزان ریسک قابل تحمل، بررسی و بر اساس میزان ریسک پالایش می‌گردند.

۵- اجرای ایده:

پس از پالایش، ایده‌های مناسب با معیارهای سازمانی و





شکل ۵- سطوح بلوغ نوآوری در شرکت فولاد مبارکه اصفهان

اساس مدل جذابیت- توانمندی جهت بررسی پروژه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها برای مرحله بعد.

با ریسک قابل تحمل، انتخاب و پروژه‌های مناسب برای اجرای نوآوری تعریف می‌شوند. در این راستا، پروژه‌های تحقیقاتی، تحول و بهبود از ابزارهای اجرای نوآوری در سازمان هستند.

۸- ارزش آفرینی:

در الگوی نوآوری شرکت فولاد مبارکه اصفهان بر ارزش آفرینی ناشی از نوآوری تأکید شده است. به طور مثال، فروش دانش فنی حاصل از نوآوری یکی از این ارزش‌ها است. همچنین، ایجاد همکاری‌های استراتژیک به منظور اجرای استراتژی‌ها نیز از منافع است که در این

۶- ارزیابی نوآوری:

در این مرحله، پروژه‌های نوآوری از دو منظر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند؛ یکی، ارزیابی از منظر تأثیر آن‌ها در تحقق فرآیندها و استراتژی‌های سازمان و دیگری، ارزیابی بر



شکل ۶- معیارها و عناصر الگوی بلوغ نوآوری فولاد مبارکه

راستا نصیب شرکت می‌گردد. علاوه بر این، ارزش دیگر که از نوآوری‌های فرآیندی حاصل می‌گردد، به کارگیری فرآیندهای متحول شده حاصل از نوآوری به عنوان الگو برای دیگر فرآیندها است.

۹- اندازه‌گیری بلوغ و بهبود مستمر:

الگوی نوآوری شرکت فولاد مبارکه اصفهان به طور مستمر مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به این منظور شرکت به طور مداوم، بلوغ فرآیند نوآوری سازمان را بر اساس نیازهای مورد نظر خود ارزیابی نموده و الگوی خود را در زمان احساس نیاز به الگوهای نسل‌های بالاتر ارتقاء می‌دهد. همچنین اقدامات لازم جهت ارتقا سطح بلوغ سازمان را تعریف و اجرا می‌کند.

۱۲. الگوی بلوغ نوآوری در شرکت فولاد مبارکه اصفهان
همانطور که پیش از این عنوان شد، نوآوری به تنهای

دیگر ضامن بقای سازمان‌ها و بنگاه‌های امروزی نیست، بلکه قابلیت سازمان برای نوآوری مستمر است که می‌تواند به بقای آن منجر گردد. در این راستا، پیاده‌سازی اثربخش و کارای الگو و چارچوب نوآوری در فولاد مبارکه اصفهان نیازمند ایجاد زیرساخت‌های نوآوری در ابعاد مختلف است و همچنین، لازم است اطمینان حاصل گردد که در همه اجزا و ابعاد سازمان از دیدگاه نوآوری به این زیرساخت‌ها توجه شده باشد. با توجه این موارد و اینکه نیاز است که الگوی نوآوری شرکت به طور مستمر از نظر بلوغ نوآوری بر اساس نیازهای مورد ارزیابی قرار گرفته و الگو در صورت نیاز به الگوهای نسل‌های بالاتر ارتقاء یا بهبود یابد، «الگوی بلوغ نوآوری» شرکت طراحی و تدوین گردید. این الگوی بلوغ نوآوری چارچوبی برای ارزیابی برنامه‌های نوآوری سازمان در ارتباط با افراد، فرآیندها و ابزارهای مورد نیاز است. در شرکت فولاد مبارکه از الگوی پنج سطحی بلوغ به منظور ارزیابی سازمان در حوزه‌های مختلف با

جدول ۳- معیارها و زیر معیارهای الگوی بلوغ نوآوری شرکت فولاد مبارکه

ردیف	معیار	زیر معیار	تعریف
۱	رهبری	آموزش مدیران نوآور	مدیران، آموزش‌های خلاقیت و نوآوری را طی کرده‌اند و تفکر نوآوری در آنها ایجاد شده است.
۲		حمایت از نوآوری	مدیران سازمان، خود دارای رفتار نوآورانه هستند و از نوآوری در شکست و موفقیت حمایت می‌کنند.
۳	فرهنگ	آموزش	آموزش‌های مورد نیاز در زمینه خلاقیت و نوآوری برای سطوح مختلف سازمان و در راستای استراتژی‌های نوآوری تعریف می‌شود.
۴		تشویق	سیستم تشویقی با هدف ایجاد انگیزه در فرآیند نوآوری بر اساس تحقق اهداف تعریف شده است.
۵		مشارکت	سازمان نوآور به دنبال مشارکت حداکثری کارکنان در حوزه نوآوری است و علاوه بر گروه‌های متمرکز که وظیفه پیگیری نوآوری را دارند، سازمان را ترغیب به مشارکت گروهی می‌کند.
۶	استراک گذاری	اشتراک گذاری	سازمان برای ارتقای سطح بلوغ خود در نوآوری لازم است تا دانش حاصل از نوآوری‌ها در حوزه‌های مختلف را با یک روش تعریف شده‌ای با کارکنان و سایر ذینفعان مرتبط به اشتراک بگذارد و از نتایج هم افزایی به وجود آمده استفاده کند.
۷		تحلیل‌های استراتژیک	سازمان از طریق تحلیل‌های تکنولوژیکی، بررسی بازار و بررسی تهدیدها و فرصت‌ها در ارتباط با استراتژی نوآوری خود تصمیم‌گیری می‌کند.
۸	استراتژی	استراتژی نوآوری	استراتژی نوآوری بر اساس تحلیل‌های مرتبط تدوین و جاری سازی می‌شود.
۹		مدیریت فرآیند نوآوری	مدیریت فرآیند نوآوری شامل تحلیل شکاف، ایده‌پردازی، اجرا، خلق ارزش و بهینه‌سازی تعیین شده است.
۱۰	فرآیند	زیر ساخت و سیستم	سیستم‌های و ابزارهای مناسب جهت مدیریت اطلاعات پروژه‌های نوآوری و نتایج حاصل از آنها برای سازمان تعریف شده و به کمک آنها پروژه را تحت کنترل قرار می‌دهند.
۱۱		سبد پروژه‌های نوآوری	اجرای پروژه‌های نوآوری در قالب یک Portfolio مدیریت می‌شود تا تعادلی بین بودجه صرف شده و نتایج بدست آمده (ارزش ایجاد شده) برقرار گردد.
۱۲	مدیریت سبد پروژه‌ها	اندازه‌گیری و گزارش‌دهی نوآوری	لازم است نتایج نوآوری اندازه‌گیری شود تا از تحقق استراتژی نوآوری و حرکت در مسیر نقشه راه نوآوری اطمینان حاصل شود.

1- Road Map
2- Hay Group
3- Mckinsey
4- Gartner
5- European Foundation for Quality Management

ادامه جدول ۳- معیارها و زیر معیارهای الگوی بلوغ نوآوری شرکت فولاد مبارکه

ردیف	معیار	زیر معیار	تعریف
۱۳	شبکه‌سازی	مدیریت شبکه ارتباطات	سیستم نوآوری باز تعریف و برای پاسخگویی به نیازهای نوآوری شبکه ارتباطی توسعه می‌یابد.
۱۴		شرکا در نوآوری	سازمان شبکه شرکا خود را در نوآوری تعریف کرده و مدیریت می‌کند و همواره به دنبال توسعه آن در راستای استفاده حداکثری از نوآوری‌ها است.
۱۵		مشارکت در تحقیقات	سازمان با هدف توسعه خلاقیت در حیطه کاری خود از تحقیقات در سطوح ملی و بین‌المللی حمایت می‌کند.
۱۶	تجاری‌سازی	مالکیت فکری	سازمان سرمایه‌های فکری خود را شناسایی و ساز و کار مدیریت مالکیت فکری خود را برای ایجاد ارزش‌های استراتژیک تعریف می‌کند.
۱۷		منافع ناشی از تجاری‌سازی	نوآوری‌های شناسایی شده ارزیابی می‌شوند و سازمان ساز و کاری جهت استفاده از منافع مالی نوآوری‌های قابل فروش تعریف کرده است.



هدف تعیین سطح سازمان و ایجاد نقشه راه^۱ جهت ارتقای سطح بلوغ نوآوری آن استفاده می‌شود. به منظور طراحی و تدوین الگوی بلوغ نوآوری شرکت، الگوهای بلوغ مختلف گردآوری شده و مورد مطالعه قرار گرفتند. در این راستا الگوهای هی‌گروپ^۲، مکینزی^۳، گارتنر^۴، BCG و الگوی سرآمدی^۵ EFQM به منظور تدوین الگو، معیارها و زیرمعیارهای آن مورد مطالعه و بهینه‌کاوای قرار گرفتند. بر اساس این بهینه‌کاوایها و مطالعات سطوح زیر برای الگوی بلوغ نوآوری سازمان تعیین شدند.

با توجه به مطالعات و بهینه‌کاوایهای انجام شده بر روی الگوهای بلوغ نوآوری و معیارها و زیرمعیارهای مرتبط آنها و همچنین با توجه به نیاز شرکت فولاد مبارکه و همچنین چارچوب و الگوی نوآوری آن، معیارهای بلوغ نوآوری در قالب هفت معیار تعیین و تدوین گردید.

با استفاده از این الگو، بلوغ نوآوری شامل ۷ معیار و ۱۷ زیرمعیار نحوه بسترسازی نوآوری در سازمان در پنج سطح بلوغ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد که با توجه به سطح سازمان در هر زیرمعیار اقدامات پیشنهادی جهت بهبود در آن زیرمعیار شناسایی می‌گردد.

به منظور ارزیابی دقیق و فراهم نمودن ساختاری که بتوان از آن برای ایجاد نوآوری، رشد زیرساخت‌های مرتبط و در نهایت رشد سازمان بهره‌برد، زیرمعیارهای مرتبط با معیارهای اصلی الگو شناسایی شده و هر معیار به زیرمعیارهای مرتبط شکسته شد. به عبارتی دیگر، با توجه به سطح بلوغ در سازمان، برای هر یک از معیارها بر اساس مطالعات و بهینه‌کاوایها زیرمعیارهایی تعریف گردید. که برای ۱۷ زیرمعیار تعریف شده مرحله رشد مطابق با سطح بلوغ نوآوری پنج سطحی تعریف شده است. جدول زیر هر یک از معیارهای اصلی و زیرمعیارهای مرتبط آنها به علاوه تعریفشان را نشان می‌دهد.

منابع و مراجع

ابیلی، خ. و موفق، ح. (۱۳۸۶). مدیریت عملکرد دانشگران (مقاله). برگرفته از وب سایت سازمان مدیریت صنعتی، www.imi.ir

آقائی فیشانی، ت. (۱۳۷۷). خلاقیت و نوآوری در انسان‌ها و سازمان‌ها، نشر ترمه، تهران: ۱۳۷۷.

داستانی، م. (۱۳۸۸). بررسی سه مدل مدیریت استراتژیک نوآوری در خدمات. مجله تدبیر، شماره ۲۱۰. صص ۳۱-۳۵.

رنجبرفرد، م. و جنگجو، ز. (۱۳۹۶). مروری بر مدل‌های بلوغ در حوزه مدیریت فرآیند کسب و کار. فصلنامه علمی-ترویجی مدیریت استاندارد و کیفیت، سال هفتم، شماره ۲، پیاپی ۲۴، تابستان ۱۳۹۶، صص ۳۲-۴۶.

Andersen, E. S. and Jessen, S. A. (2003). Project maturity in organizations, *International Journal of Project Management*, Vol. 21, No. 6, pp. 457-461.

Arveson, P., Rohm, H., Wilsey, D., Perry, G., Halbach, L. and DeCarlo, J. (2010). The Strategic Management Maturity Model. Available at: <http://www.balancedscorecard.org/Portals/0/PDF/BSCIStrategicManagementMaturityModel.pdf> (Accessed 09.11.2012).

Baker, K. A. (2002). Management Benchmark Study, Chapter 14 - Innovation, Office of Planning and Analysis, <http://www.au.af.mil/au/awc/awcgate/doe/benchmark>.

Blommerde, T. and Lynch, P. (2016). A Maturity Matrix for Assessing Service Innovation Capability. Competitive Paper, Waterford Institute of Technology.

Champlin, B. (2003). Toward a Comprehensive Data Management Maturity Model (DM3), Presentation for DAMA, St. Louis.

Cooke-Davies, T. J. (2004). Measurement of Organizational Maturity, Chapter 13: Innovations- Project Management Research.

De Bruin, T., Freeze, R., Kaulkarni, U. and Rosemann, M. (2005). Understanding the main phases of developing a maturity assessment model, Paper presented at the 16th Australasian Conference on Information Systems, 29 November-2 December, Sydney, Australia.

Essmann, H. E. (2009). Toward Innovation Capability Maturity. Dissertation presented for the degree of Doctor of Philosophy at Stellenbosch University.

Gottschalk, P. (2009). Maturity levels for interoperability in digital government. *Government Information Quarterly*, 26 (1), pp. 75-81.

Hamel, G. (2000). *Leading the Revolution*, Harvard Business School Press, Boston.

Hamel, G. (2006). The Why, What, and How of Management Innovation, *Harvard Business Review*, Vol. 84, no. 2.

Jain, R.K., Triandis, H.C. (1990). *Management of Research and Development Organizations*, 2nd Edition. Wiley, New York.

Khalil, T. (2000). *Management of Technology: The Key to Competitiveness and Wealth Creation*, McGraw Hill, New York.

Khatibian, N., Hasan Gholi Pour, T. and Jafari, H. A. (2010). Measurement of knowledge management maturity level within organizations, *Business Strategy Series*, Vol. 11, No. 1, pp. 54-70.

Kruger, C. J. and Snyman, M. M. M. (2005). Formulation of a strategic knowledge management maturity model, *South African Journal of Information Management*, Vol. 7, No. 2, pp. 1-13.

Kumar, N., Sheer, L. and Kotler, P. (2000). From market-driven to market deriving, *European Management Journal*, vol. 18, No.2,

طراحی و ساخت سامانه تشخیص ورق گرم (HMD) به روش راداری

شیرین امیری، محمده طهرانی، فرشاد وژییری، مهدی پورحائقی

۱- عضو هیات علمی (دانشیار) - پژوهشکده برق و فناوری اطلاعات - سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران
(amiri@irost.ir)

۲- عضو هیات علمی (دانشیار) - دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علم و صنعت ایران
(m_tayaran@iust.ac.ir)

۳- دانشجوی دکترای مهندسی برق - دانشگاه صنعتی شریف
(vaziri_reza@ee.sharif.edu)

۴- کارشناسی مهندسی کنترل - شرکت فولاد مبارکه اصفهان
(m.borhani@msc.ir)

چکیده

به (Hot Metal Detector (HMD معروف هستند. متناسب با نوع سنسور و روش اندازه گیری مورد نظر، محل استقرار و نصب این سنسورها در کنار خط نورد و یا عمود بر آن می باشد. در این مقاله طراحی و ساخت یک سامانه تشخیص لبه ورقهای فولادی بروش میکروویوی جهت بکارگیری در خطوط نورد گرم مرور میشود. این سامانه در خط نورد گرم فولاد مبارکه اصفهان نصب و راه اندازی شده و در انتها نتایج حاصل از ارزیابی و صحت عملکرد آن ارائه می گردد.

کلمات کلیدی:

نورد گرم، تشخیص حضور ورق، سنسورهای راداری، عرض تختال، ضخامت تختال، (HMD (Hot Metal Detector

صنایع تولید ورق های فلزی، همچون صنایع فولاد، مس و آلومینیوم نیازمند ابزارهایی جهت اندازه گیری طول، عرض و ضخامت تختال متناسب با نیاز بازار هستند. الزامات فنی این گونه سنسورها تابع نیاز صنایع همچون دقت اندازه گیری مورد نیاز در هر یک مولفه های هندسی و از جمله دقت زمان بندی مورد نیاز اطاق فرمان و کنترل خط و شرایط محیطی خط تولید آنهاست. در این میان خطوط نورد گرم بدلیل دمای بسیار بالا در کنار خط و وجود بخار آب داغ و ذرات معلق با غلظت بالا از پیچیده ترین خطوط تولید محسوب می شوند. در این خطوط سنسورهای مورد نیاز می بایست Contactless بوده و امکان کار در این شرایط سخت صنعتی را دارا باشند. این سنسورها

۱- مقدمه

دستگاه نورد تحت فشار و کشش مکانیکی قرار گرفته و به ضخامت مورد نیاز میرسند. سر و ته تختال قبل از ورود به دستگاه نهایی با یک گیوتین زده شده تا شکل فیزیکی ابتدا و انتهای تختال منظم شود. سپس با آب بسیار پرفشار (۱۸۰ اتمسفر) عمل پوسته شویی روی آن انجام می شود.

زمان ارسال فرامین به گیوتین و شیرهای موجود در پوسته شور اهمیت به سزایی دارند، چرا که در صورت پاشش زودتر آب سر تختال خنک شده و به دستگاه نورد فشار بیشتری وارد می شود و در صورت پاشش دیرتر هم ناخالصی‌های سطحی سر تختال از بین نمی رود و در کیفیت و ضخامت ابتدای ورق تاثیر نامطلوب می گذارد.

ماموریت اصلی خط نورد فولاد، تولید ورقهای فولادی با ابعاد مختلف همچون طول، عرض و ضخامت متناسب با نیاز بازار است. طبیعتاً رسیدن به ابعاد مورد نظر نیازمند ابزارهای مختلف اندازه گیری است. ورقهای فولادی در دو خط جداگانه و سریال به ترتیب نورد گرم و نورد سرد مراحل مختلف نورد را سپری کرده تا به مشخصات فنی مورد نیاز برسند. خط نورد گرم از کوره ذوب فولاد آغاز و به دستگاههای نورد گرم ختم می شود. وظیفه کوره، ذوب و تبدیل مواد اولیه فولاد در دمای بسیار بالا به تختال (Slab) است. تختالها پس از خروج از کوره بر روی ریلهای خط نورد قرار گرفته و در طی مسیر در چند نوبت در



شکل ۲ نمایی از بخش برش تختال در خط نورد گرم را نشان می دهد.

شکل ۱ نمایی از تختال بر روی ریل نورد گرم



به بخار آب و گرد و غبار (با غلظت بالا) حساس بوده و دقت آنها در چنین شرایطی کاهش می‌یابد. اما سنسورهای مایکروویوی می‌توانند در باند فرکانسی کار کنند که محیطی با بخار آب و یا گرد و غبار برای آن باند فرکانسی محیط شفاف محسوب شود (به سبب طول موج بلندتر) و دقت خود را حفظ نمایند. در این مقاله ابتدا به بررسی عملکرد این دسته از سنسورها می‌پردازیم و سپس روش طراحی و ساخت سامانه مایکروویوی و نتایج حاصل از نصب و راه اندازی آن در کنار خط نورد گرم فولاد مبارکه اصفهان ارائه خواهد شد.

۲- سنسورهای راداری مایکروویو:

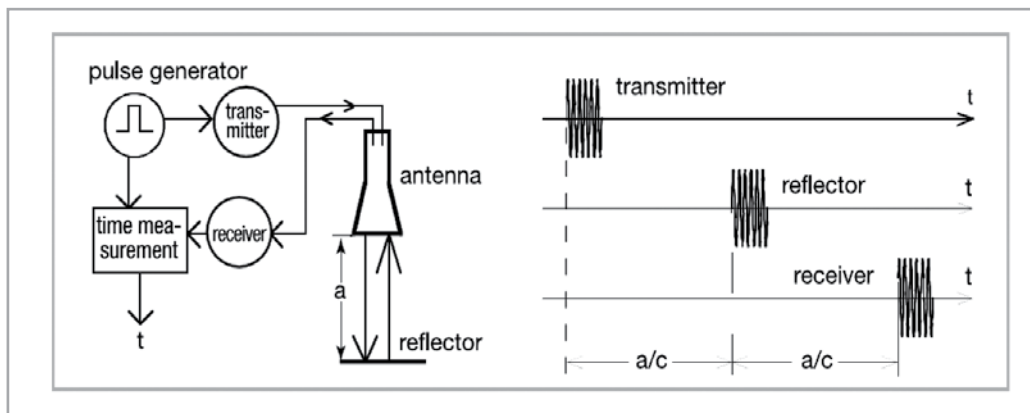
برای تشخیص لبه فلز و اندازه گیری فاصله و تعیین موقعیت آن، از دو دسته سنسورهای راداری پالسی و FMCW استفاده می‌شود. در سنسورهای راداری پالسی، یک پالس با عرض پالس بسیار اندک (در حدود چند نانو ثانیه) برای بالا بودن تفکیک پذیری مکانی، فرستاده شده و برگشتی آن توسط گیرنده آشکار می‌شود. فاصله زمانی بین لبه پالس ارسالی و پالس دریافتی متناسب با فاصله جسم تا آنتن می‌باشد. در شکل زیر نمای کلی این نوع رادار دیده می‌شود:

برای افزایش دقت در زمان بندی فرامین، در طول خط تولید و به منظور تشخیص حضور تختال و تعیین موقعیت آن در هر مرحله از سنسورهای مختلف استفاده می‌شود.

از ویژگی‌های خط نورد گرم دمای بسیار بالا و وجود بخار آب داغ و ذرات معلق با غلظت بالا است. لذا سنسورهای مورد نیاز می‌بایست Contactless بوده و امکان کار در این شرایط سخت صنعتی را دارا باشند. این سنسورها به Hot Metal Detector (HMD) معروف هستند. متناسب با نوع سنسور و روش اندازه گیری مورد نظر، محل استقرار و نصب این سنسورها در کنار خط نورد و یا عمود بر آن می‌باشد.

در صنعت از روش‌های مختلف برای این منظور استفاده می‌شود. دست‌های از سنسورها با استفاده از پرتوی مادون قرمز ناشی از تختال گرم عمل کرده و با استفاده از تصویر برداری مادون قرمز و پردازش آن حضور تختال را حس می‌کنند و دسته ای دیگر با استفاده از خواص راداری این کار را انجام می‌دهند که می‌تواند لیزری و یا مایکروویوی باشند.

سنسورهایی که از تصویر مادون قرمز و یا پرتوی لیزر برای تشخیص تختال استفاده می‌کنند نسبت



شکل ۳: بلوک دیگرام رادار پالسی



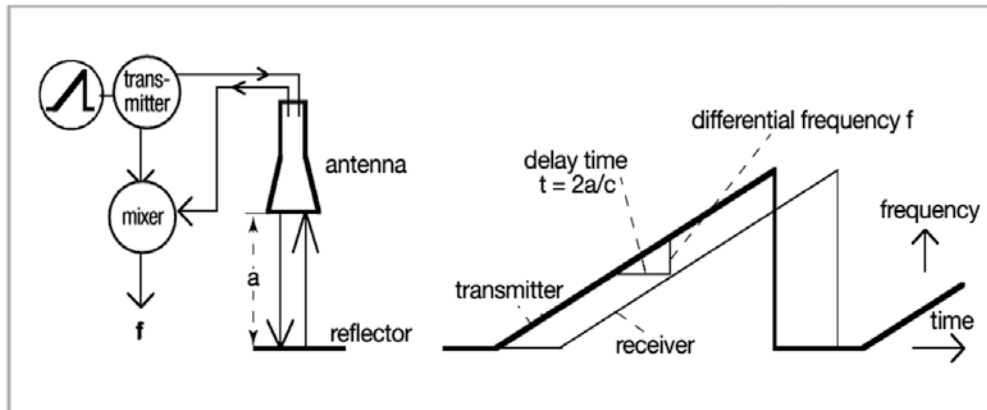
روش‌های ترکیبی برای تخمین طیف استفاده می‌شود. واضح است که هرچه شیب فرکانسی افزایش یابد، دقت تفکیک‌پذیری مکانی هم افزایش می‌یابد، از آنجایی که زمان هر جاروب فرکانسی به سبب وابستگی به مشخصات حلقه PLL، عناصر پردازشی و زمان مورد نیاز برای رسیدن به تفکیک فرکانسی مورد نظر، محدود است لذا برای دستیابی به شیب‌های بالاتر بایستی پهنای باند فرکانسی را افزایش داد که این امر در فرکانس‌های بالاتر آسان‌تر می‌باشد. از طرفی با بالا بردن فرکانس می‌توان در ابعاد محدود، آنتن‌هایی با زاویه پرتوی تشعشعی باریکتر ساخت و بدین ترتیب حضور تخطال‌هایی با ضخامت کمتر را می‌توان حس نمود و دقت تعیین محل لبه را افزایش داد.

۳- مشخصات فنی سیستم پیشنهادی:

با توجه به وجود بخار آب و ذرات گرد و غبار در محیط عموماً در طیف امواج میکروویو پنجره فرکانسی حول ۲۴ گیگاهرتز و در طیف امواج میلیمتری، پنجره فرکانسی حول ۷۷ گیگاهرتز نسبت به سایر فرکانس‌ها تلفات کمتری داشته و بر همین اساس می‌توان سامانه مبتنی بر رادار FMCW را در یکی از فرکانسهای ۲۴ یا ۷۷

برای رسیدن به دقتی معادل با ۱۰cm می‌بایست دقت اندازه‌گیری زمانی ۳۳۳ps را تحقق بخشید. هر چند می‌توان با استفاده از تکنیک‌های تعقیب لبه پالس مانند Boxcar Edge Tracking به این حد از دقت نزدیک شد، اما در عمل بسیار پیچیده و تقریباً غیرممکن می‌باشد. از سویی دیگر رادارهای FMCW، با ارسال یک سیگنال CW که فرکانس آن به صورت خطی با زمان تغییر می‌یابد و دریافت سیگنال بازگشتی از هدف و مخلوط کردن آن با سیگنال ارسالی مطابق شکل زیر، تفکیک‌پذیری مکانی را در حوزه فرکانس تحقق می‌بخشند، بدین ترتیب برای رسیدن به دقتی معادل ۱cm با فرض تفکیک فرکانسی ۲۰۰Hz در حوزه فرکانس می‌بایست شیب فرکانس خروجی برابر با ۰,۶GHz/ms باشد که در عمل قابل پیاده‌سازی است.

پارامتر مهم در رادارهای FMCW خطی بودن فرکانس خروجی است (عدم خطی بودن سبب پهن‌شدگی طیف سیگنال بازگشتی و بالطبع کاهش دقت می‌شود) که در سیستم پیشنهادی با استفاده از PLL از خطی بودن فرکانس خروجی اطمینان حاصل می‌گردد. مسئله مهم دیگر، تخمین دقیق فرکانس بازگشتی است که از



شکل ۴: بلوک دیاگرام رادار FMCW

جدول ۱: مشخصات سامانه در باند فرکانسی ۲۴GHz:

Measuring Range	< 10m
Measurement Per Second	200
Accuracy	°cm±
Minimum Thickness of Slab	2cm
Frequency	24GHz
Bandwidth	1GHz
Output Power	<10dBm
Output	4-20mA
Ambient Temperature	-40° to 80°C

است و قطعات آن در دسترس است، این باند فرکانسی برای طراحی و ساخت سامانه HMD انتخاب می‌شود.

۴- طراحی و ساخت مدل آزمایشگاهی سامانه HMD

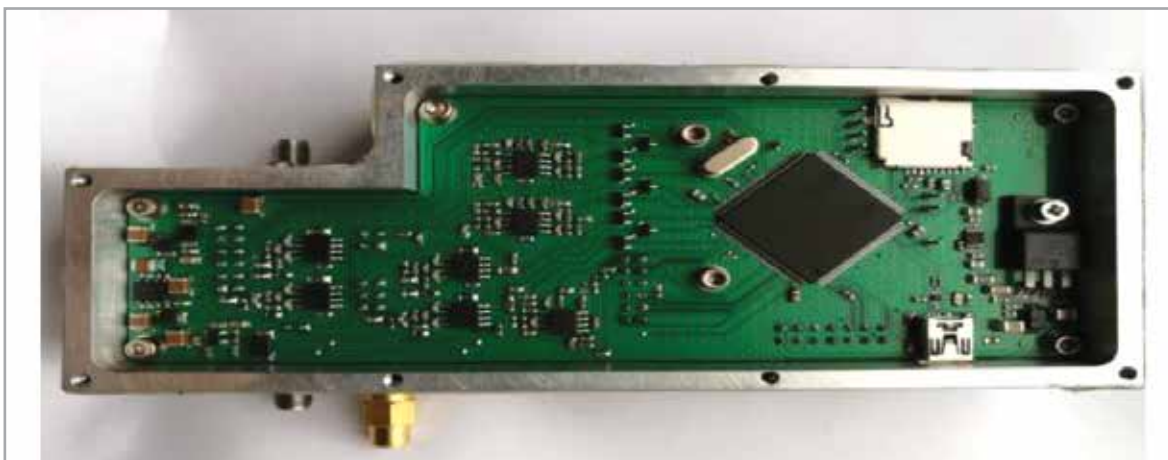
طراحی و ساخت سامانه HMD در دو مرحله آزمایشگاهی و صنعتی انجام شد. تصاویر ۵ تا ۷ نمایی کامل از نمونه آزمایشگاهی سامانه را نشان می‌دهند.

گیگهرتز طراحی نمود. در ادامه مشخصات سیستمی سامانه در باند فرکانسی پیشنهادی به همراه حداقل ضخامت قابل تشخیص و دقت قابل دسترس ارائه می‌شود.

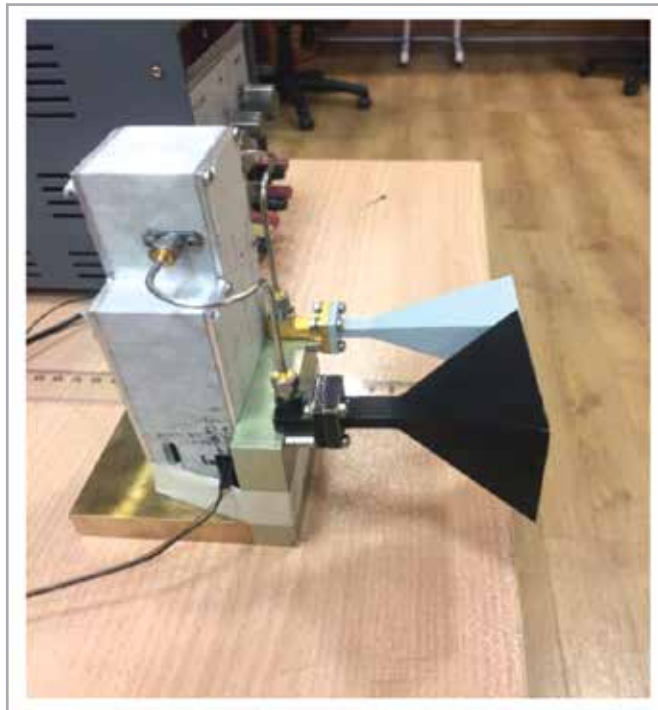
با توجه به اینکه حداقل ضخامت قابل تشخیص و دقت اندازه گیری تا ۲۰ میلیمتر در باند ۲۴ گیگهرتز پاسخگوی نیاز تعریف شده از سوی فولاد مبارکه اصفهان



شکل ۵- نمایی کامل از تجمیع بخش‌های رادیویی و اینترفیس مدل آزمایشگاهی سامانه در جعبه طراحی شده



شکل ۶- نمایی کاملی از واحد پردازش سامانه



شکل ۷- تصویری از مدل آزمایشگاهی سامانه

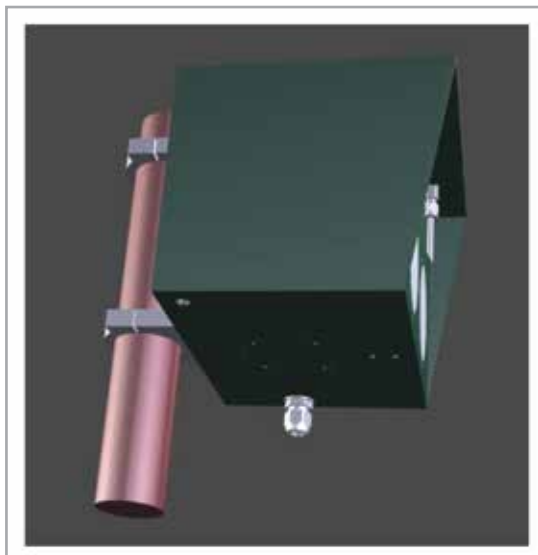
گرد و غبار و ذرات معلق در اطراف خط نورد گرم باشد. نمایی از طرح سازه نمونه صنعتی سامانه در شکل ۸ و تصویری از داخل سازه نمونه صنعتی در شکل ۹ ارائه شده است.

طراحی به گونه‌ای است که امکان نصب سازه بر روی یک پایه فلزی در کنار خط نورد میسر باشد. ماده انتخاب شده برای ساخت باکس سامانه آلومینیوم ۷۰۷۵ می‌باشد. طراحی بدنه باکس به نحوی است که بخش‌های مختلف سامانه را در خود جای داده و ضمن امکان دسترسی به بخش‌های مختلف، از آب بندی بسیار

در این مرحله و به منظور انجام آزمون‌های مورد نظر در محیط آزمایشگاه، نرم افزاری در محیط Matlab توسعه داده شد که علاوه بر امکان تنظیمات مورد نیاز سامانه، امکان تشخیص لبه فلز و دقت شناسایی آن را تأمین می‌نماید.

۵- طراحی و ساخت مدل صنعتی سامانه

برای طراحی مدل صنعتی سامانه علاوه بر الزامات رادیویی و پردازشی توضیح داده شده در بخش‌های قبلی، می‌بایست دارای case مقاوم در برابر رطوبت، حرارت بالا و



شکل ۹- نمایی از داخل سازه صنعتی سامانه



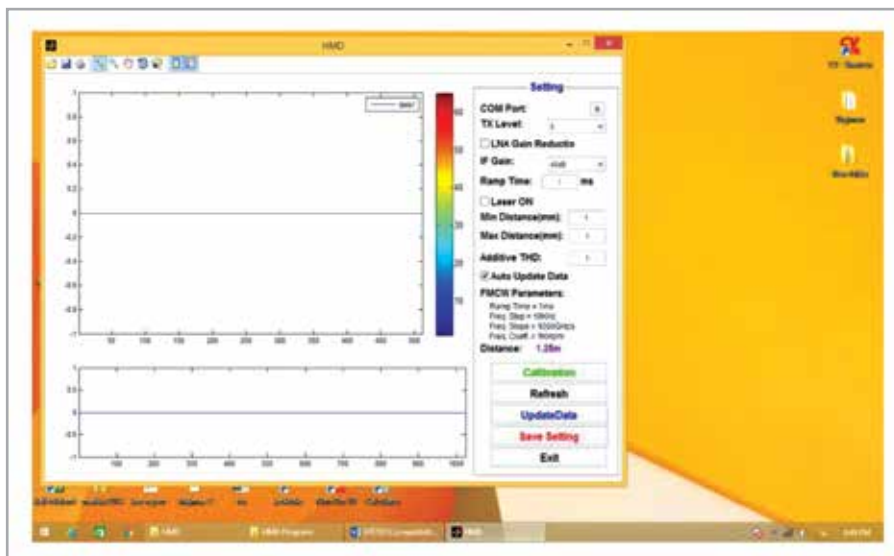
شکل ۸- نمایی از طرح سازه مدل صنعتی سامانه



شکل ۱۰: تصویر از مجموعه قطعات داخل یک سامانه HMD

دهانه نازل‌ها به نحوی انتخاب شده که تا حد ممکن بخش وسیعی از سطح کاورها را پوشش و تمیز نماید. شکل ۱۰ تصویری از مجموعه قطعات داخلی و اجزای یک سامانه HMD رادیویی را نشان می‌دهد. از دیگر تمهیدات اندیشیده شده جهت امکان تنظیم فیزیکی محل نصب سامانه در کنار خط و Align کردن آن در جهت بهترین ناحیه رویت تختال، یک لیزر در جلوی سامانه HMD تعبیه شده است. قابلیت روشن و خاموش نمودن این لیزر توسط نرم افزار کنترلی در اختیار اپراتور می‌باشد.

خوب جهت کارکرد طولانی مدت در محیط سخت نورد گرم برخوردار باشد. از دیگر تمهیدات اندیشیده شده برای عملکرد مناسب سامانه در محل نصب سامانه، پیش بینی ایجاد یک لایه هوا در جلوی دهانه آنتنها است، به نحویکه آب پاشیده شده بر روی کاور را تمیز کرده و از ایجاد افت در خروجی آنتنها جلوگیری نماید. بر این اساس یک سیستم دمنده هوای با فشار در طراحی باکس پیش بینی شد. در این سیستم هوای با فشار مثبت از طریق یک پمپ هوا وارد سیستم شده و از طریق شیلنگ‌های مسیر به دو نازل نصب شده در بالای کاورهای دو آنتن متصل میشوند.

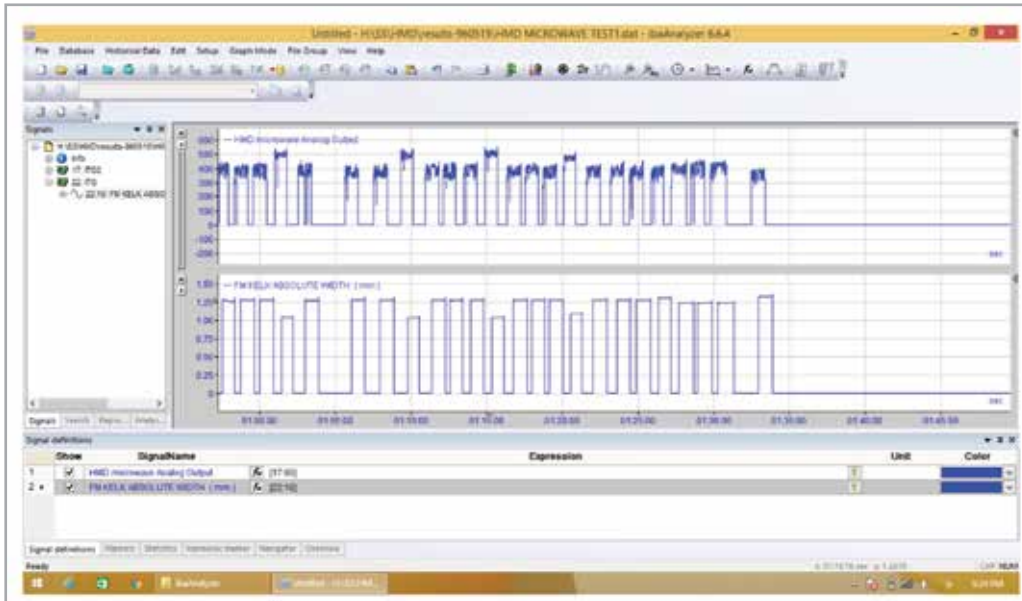


شکل ۱۱: نمایی از صفحه کاربری نرم افزار کنترل و مانیتورینگ سامانه HMD

۶- نتایج تست و آزمون سامانه HMD در محیط صنعتی

مدل صنعتی ساخته شده در این پروژه پس از هماهنگی انجام شده با مسئولین خط نورد گرم فولاد مبارکه اصفهان در محل مورد نظر کارفرما نصب گردید. در الزامات فنی اولیه مقرر شده بود که از طریق یک کابل ارتباطی فی مابین اطاق کنترل و سامانه HMD، تغذیه مورد نیاز از سوی اطاق کنترل بعنوان ورودی به سامانه و نتایج خروجی سامانه در سه فرمت PROFIBUS، سیگنال آنالوگ جریانی ۴ تا ۲۰ میلی آمپری و سیگنال دیجیتال جهت فرمان به Solid-State Relay (SSR) در اختیار اطاق فرمان قرار گیرد.

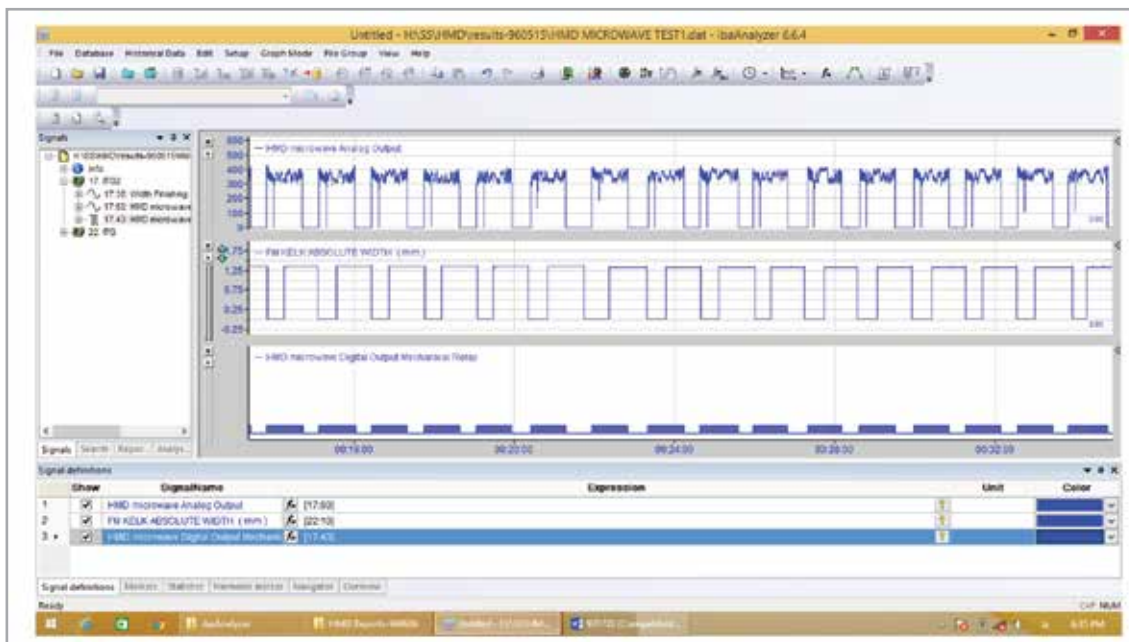
به منظور بررسی عملکرد سامانه و کنترل و مانیتورینگ HMD یک نرم افزار ویژه توسعه داده شد. این نرم افزار که در محیط Matlab توسعه داده شده دارای GUI مناسب برای کاربر است که امکان تنظیم پارامترهای مختلف از جمله انتخاب و تعریف پورت تبادل داده با واحد HMD، تنظیم توان ارسال فرستنده، تنظیم بهره تقویت کننده کم نویز گیرنده، تنظیم بهره توان طبقات IF و... را فراهم نموده و قابلیت کالیبراسیون این سامانه را تامین می نماید. خروجی این نرم افزار تشخیص حضور تختال و نمایش فاصله آن تا نقطه مرجع بصورت عددی و گرافیکی می باشد. شکل ۱۱ نمایی از صفحه کاربری این نرم افزار را نشان می دهد.



شکل ۱۲: نمایش همزمان نتایج خروجی آنالوگ سامانه HMD با سیستم مرجع توسط نرم افزار ibAnalyzer

بررسی نتایج خروجی نشان می‌دهد که هر چند تطابق کاملی فی مابین تشخیص سامانه و سیستم مرجع وجود دارد، لکن اعوجاج‌هایی در دامنه آنالوگ خروجی سامانه مشاهده می‌شود که نشانگر اثر پاشش شدید آب بر روی تختال، همزمان با قرار گرفتن لبه آن در دید سامانه و تشخیص آن می‌باشد. هرچند که امکان فیلتر کردن و کاهش دامنه اعوجاج‌ها با استفاده از روش‌های فیلترینگ میسر است، لکن به جهت حساسیت کار این روش توصیه نمی‌شود.

از سویی به منظور ارزیابی صحت عملکرد سامانه در تشخیص لبه تختال و اعلام حضور یا عدم حضور آن روی خط از یک سیستم مرجع که در فاصله مشخصی از محل نصب HMD قرار گرفته استفاده شود. نتایج خروجی هر دو سامانه اندازه‌گیری به نرم افزار ibAnalyzer تحویل شده تا امکان مقایسه و ارزیابی نتایج فراهم گردد. شکل ۱۲ بطور همزمان نتایج خروجی آنالوگ سامانه HMD با سیستم مرجع را نشان می‌دهد.



شکل ۱۳: نتایج خروجی همزمان سیگنال دیجیتال SSR و خروجی آنالوگ سامانه و مقایسه با خروجی سیستم مرجع

در ادامه به بررسی خروجی سیگنال دیجیتال SSR سامانه می‌پردازیم. شکل ۱۳ نتایج همزمان این خروجی با خروجی آنالوگ و خروجی سیستم مرجع را نشان می‌دهد.

مقایسه نتایج شکل ۱۳ نشان می‌دهد که خروجی دیجیتال سامانه با سیستم مرجع کاملاً مطابقت داشته و دامنه خروجی آن بدون اعوجاج بوده و می‌تواند بعنوان فرمان جهت فعال نمودن رله های مورد نظر استفاده شود.

صحت عملکرد مدل صنعتی سامانه از زمان نصب آن در کنار خط، نشان از مقاوم بودن سامانه در شرایط محیطی بسیار سخت از منظر حرارت بالا، پاشش مداوم آب، وجود بخار آب شدید و ذرات فولاد و آلاینده‌های محیطی است.

۷- نتیجه گیری

در این مقاله نتایج حاصل از طراحی، ساخت و آزمون عملیاتی یک سامانه بومی تشخیص ورق گرم بروش رادیویی در باند فرکانسی مایکروویو ارائه شد. بررسی و مقایسه نتایج با نمونه مرجع بصورت برخط بیانگر دقت و صحت عملکرد این سامانه می‌باشد. دانش

فنی ایجاد شده در این خصوص می‌تواند در توسعه سایر نیازمندی‌های صنایع فلزی از جمله سامانه های اندازه‌گیری عرض تختال‌ها نیز بکار گرفته شود.

۸- قدردانی و تشکر

نتایج ارائه شده در این مقاله حاصل طرح تحقیقاتی تعریف شده از سوی معاونت تکنولوژی شرکت فولاد مبارکه اصفهان می‌باشد که با تامین اعتبار پژوهشی مورد نیاز و هماهنگ نمودن امکان نصب و آزمون این سامانه در خط نورد گرم آن صنعت، کمک شایانی در به ثمر رساندن این طرح داشته و بدینوسیله از زحمات مدیران این معاونت و نیز مدیران و کارشناسان خط نورد گرم فولاد مبارکه تقدیر و تشکر بعمل می‌آید.

۹- مراجع:

- گزارش نهایی طرح پژوهشی "طراحی و ساخت سیستم تشخیص ورق گرم (HMD) با فناوری امواج مایکروویو فرکانس بالا" موضوع قرارداد پژوهشی فی مابین شرکت فولاد مبارکه اصفهان و سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران



راهنمای تهیه و تدوین مقالات دو ماهنامه‌ی آهن و فولاد

اهداف فصلنامه:

- ✓ انتقال تجارب علمی و کمک به نشر دانش
- ✓ فراهم کردن زمینه‌های ارتباط علمی بین صنایع و دانشگاهها
- ✓ انتشارات مفاهیم تجربه شده در میدان عمل
- ✓ معرفی فعالیت‌های علمی و اجرایی فولاد مبارکه
- ✓ انتشار اخبار مهم فولاد در جهان، ایران و اخبار داخلی شرکت فولاد مبارکه اصفهان

شرایط پذیرش مقالات:

- مقاله باید در یکی از موضوعات زیر باشد:
- ✓ محصولات فولادی
- ✓ تکنولوژی تولید فولاد
- ✓ فنی و مهندسی
- ✓ مدیریت
- ✓ ایمنی، بهداشت و محیط زیست
- ✓ کاهش هزینه
- دارای جنبه‌های علمی و پژوهشی قوی باشد.
- حاوی ایده‌های جدید، نکات کاربردی، عملی، جدید و نو باشد.
- اصول و قواعد نگارش مورد نظر این مجله رعایت گردد.
- مسئولیت صحت مطالب مندرج در مقاله به عهده نویسنده یا نویسندگان می باشد.

شرایط تدوین مقالات:

- مقاله در محیط نرم افزاری WORD و دارای حاشیه از بالا و پا بین ۳ سانتیمتر و چپ و راست ۲.۵ سانتیمتر و فاصله خطوط ۰.۸ سانتیمتر به زبان فارسی تایپ و از طریق سامانه <http://ironandsteel.msc.ir> بارگذاری گردد.
- مقاله دارای چکیده حداکثر ۱۵۰ کلمه و حجم مقاله حداکثر ۱۵ صفحه باشد و واژگان کلیدی حداقل ۴ و حداکثر ۸ کلمه.
- مقاله‌های ارسالی باید دارای بخش‌های زیر باشد:
 - عنوان کامل مقاله، نام نویسنده یا نویسندگان، رشته علمی و مسئولیت نویسنده یا نویسندگان، نام مؤسسه یا دانشگاه، محل کار، نشانی کامل (آدرس، تلفن، پست الکترونیک و)...
 - بیان مسأله، اهمیت مسأله، اهداف پژوهش، ادبیات موضوع، چهارچوب نظری، فرضیه‌های پژوهش، روش تحقیق، فنون تجزیه و تحلیل، نتیجه گیری و ذکر منابع (مقالات پژوهشی)
 - برای مقاله‌های مروری چکیده، مقدمه، متن مقاله، ارائه چارچوب ادراکی، جمع بندی و ذکر منابع لازم است.
- ارجاعات در متن و پایان مقاله به روش‌های زیر باشد:

- الف - مرجع نویسی داخل متن باید در داخل پرانتز و به صورت نام خانوادگی نویسنده، تاریخ انتشار و شماره صفحه باشد.
- ب - مرجع نویسی پایان مقاله بایستی براساس نمونه‌های زیر به ترتیب الفبایی نام خانوادگی نویسنده مرتب شود.
- ج - در مورد مقالات، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان مقاله، نام مجله، شماره مجله، شماره صفحه
- د - در مورد کتاب، نام خانوادگی، نام، تاریخ انتشار، عنوان کتاب، محل انتشار، ناشر
- عنوان، توضیحات و شماره جداول، الگوها و اشکال، در بالای آن ذکر شود.
- مجله در ویرایش مقاله‌ها، بدون تغییر در اصل و محتوا آزاد است.
- مقاله‌های رسیده برگشت داده نمی شود.
- به پیوست یک قطعه عکس با dpi ۳۰۰ از نویسنده یا نویسندگان به همراه ایمیل و شماره تلفن همراه دریافت می شود.

دستورالعمل داوری مقالات مجله آهن و فولاد

اهداف:

- داوری علمی مقالات واصل شده
- حرکت در جهت علمی تر شدن محتوای فصلنامه
- استفاده از نظرات صاحب نظران در غنی کردن فصلنامه

مراحل:

- مقالات واصله که در راستای موضوعات فصلنامه می باشند استخراج و مقوله بندی می شوند.
- مقالات بر حسب تخصص علمی برای دو نفر از اعضاء داوران علمی جهت داوری ارسال می گردد.
- حداکثر دو هفته به داوران فرصت داده می شود که نظرات و نتیجه داوری خود را مطابق فرم پیوست ارائه نمایند.
- در صورتی که دو نفر داور در مورد قابل چاپ بودن مقالات در مجله نظر مثبت داشته باشند، مقالات به صورت مقدماتی پذیرش می شوند.
- مقالاتی که معدل نمرات دو نفر داور بر اساس فرم داوری بین ۳۹-۵۰ باشد به صورت چاپ برای فصلنامه انتخاب می گردند (در صورت زیاد بودن مقالات، مقالات دارای رتبه بالاتر در الویت چاپ هستند)
- جهت اشتراک دو ماهنامه آهن و فولاد فرم زیر را به نشانی پستی زیر ارسال فرمائید:
- استان اصفهان، شهر مبارکه، صندوق پستی ۱۶۱-۸۴۸۱۵ واحد اطلاعات و انتشارات روابط عمومی - دو ماهنامه آهن و فولاد.

فرم اشتراک

نام: نام خانوادگی: نام پدر: تاریخ تولد:

قسمت یا واحد فعالیت: تحصیلات: شغل:

نشانی: تلفن تماس:

کد پستی:



صنعت فولاد

پیشران اقتصاد غیر نفتی

www.msc.ir