ماهنامه

توسعه مدیریت

شرکت مهندسی
معیار صنعت خاورمیانه

شماره ۹۳ - اردیبهشت ۱۴۰۳

MEMSECO
شرکت مهندسی
معیار صنعت خاورمیانه
(ممسکو)

MIDHCO
شرکت مادر تخصصی توسعه معادن و
صنایع معدنی خاورمیانه (میدکو)

ماهنامه
توسعه مدیریت
شرکت مهندسی
معیار صنعت خاورمیانه
شماره ۹۳ - اردیبهشت ۱۴۰۳

فهرست

معرفی شرکت ۳
سر مقاله ۴
بررسی مکانیزم انفجار زغال‌سنگ و گاز در معادن زغال سنگ زیرزمینی ۶
مروری بر تکنولوژی‌های احیا آهن مبتنی بر هیدروژن ۲۰
مدیریت دانش در زنجیره تامین فولاد ۳۶
رویکردهای جدید یادگیری و توسعه سازمانی ۳۸
ارزیابی و بهبود فرایند روابط عمومی از مسیر یادگیری ۴۴
یادگیری و بهبود در حوزه روابط عمومی سازمانی ۴۶
اخبار ۴۸

MIDHCO

نگاه میدکو به مدیریت

استفاده بهره ور از منابع
از طریق
فرآیند برنامه ریزی، اجرا و کنترل
در راستای
چشم انداز، ماموریت و ارزش ها

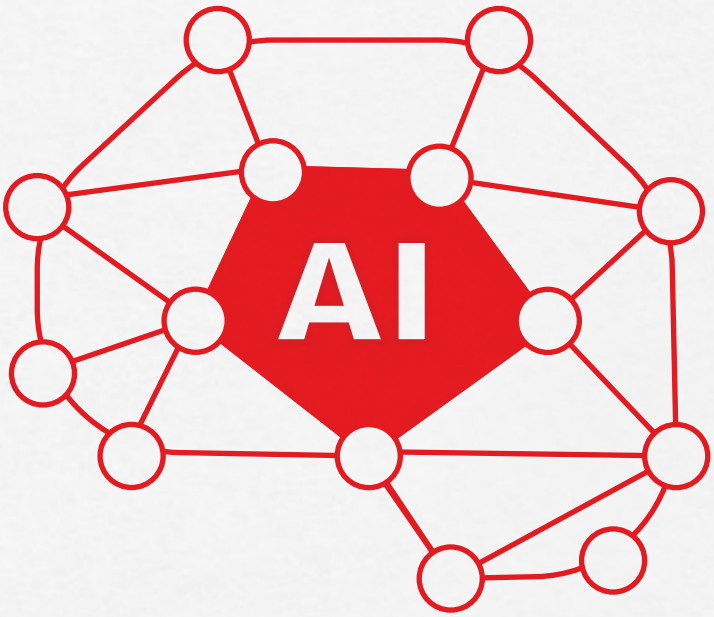
midhco.com

امور توسعه مدیریت میدکو

شرکت مادرتخصصی (هلدینگ) توسعه
معادن و صنایع معدنی خاورمیانه
میدکو (سهامی عام)

معرفی شرکت

شرکت مهندسی معیار صنعت خاورمیانه با تکیه بر تخصص و توان مدیریتی جمعی از مدیران با تجربه بخش معدن و صنایع معدنی کشور، در تاریخ ۸۸/۱۰/۱۹ تأسیس شد. این شرکت بازوی مهندسی شرکت هلدینگ توسعه معادن و صنایع معدنی خاورمیانه (میدکو) محسوب می گردد تا خدمات مهندسی پروژه‌های صنعتی معدنی این شرکت را انجام دهد و دانش فنی مورد نیاز برای دوران بهره برداری از پروژه‌های مزبور را تأمین نماید. از سوی دیگر تجارب حاصل از مهندسی و مشاوره پروژه‌های میدکو باعث شده است که این شرکت در عرصه ارائه خدمات مهندسی و اجرای پروژه‌های بخش معدن و صنایع معدنی کشور نیز حضور فعال داشته باشد.



تحول یادگیری و توسعه سازمانی

سرمقاله

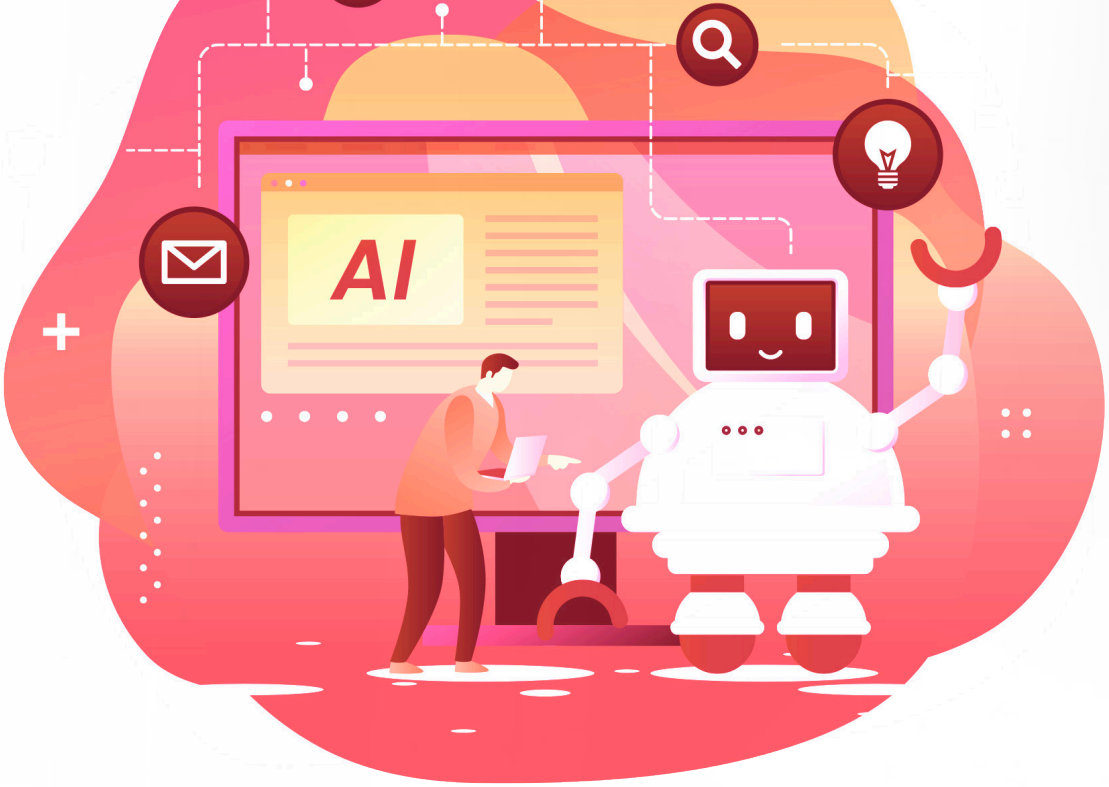
سفر از آموزش الکترونیکی تا یادگیری خودمختار

کی آرش حبیبیان

رییس بخش توسعه مدیریت و فن آوری اطلاعات

حوزه یادگیری و توسعه سازمانی (L&D) با ورود هوش مصنوعی (AI) وارد مرحله نوین شده است. از زمان ظهور آموزش الکترونیکی در اواخر دهه ۷۰ که آموزش سنتی را دگرگون کرد، این صنعت به طور پیوسته با پیشرفت‌های فناوری نوین سازگار شده و امروز، هوش مصنوعی تحولی بنیادین برای این صنعت رقم خواهد زد.

تأثیر هوش مصنوعی بر یادگیری سازمانی بسیار عمیق است. این فناوری قابلیت تغییر در ایجاد، شخصی‌سازی و مصرف محتوا را دارد. برخلاف سیستم‌های مدیریت یادگیری (LMS) سنتی که دوره‌های استاندارد ارائه می‌دهند، هوش مصنوعی توانایی رائه تجربه‌های یادگیری بسیار شخصی‌سازی شده را دارد. به عنوان مثال، هوش مصنوعی می‌تواند دانش فعلی یادگیرنده را ارزیابی و محتوای متناسب با نیازهای خاص او را به صورت پویا تولید کند،



که منجر به فرآیند یادگیری مؤثرتری خواهد شد.
هوش مصنوعی مولد می‌تواند ویدیوها، آزمون‌ها و حتی دوره‌های کامل را تولید نماید، که به طور قابل توجهی زمان و هزینه‌های مرتبط با ایجاد محتوا را کاهش می‌دهد. پلتفرم‌هایی مانند Docebo Shape و Uplimit از هوش مصنوعی برای ایجاد محتوی آموزشی تعاملی از مستندات استفاده کرده، که کاربردهای عملی این فناوری را نشان می‌دهد.
علاوه بر این، سیستم‌های یادگیری مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند به عنوان دستیاران شخصی آموزشی یا مربی عمل کرده و پشتیبانی و راهنمایی در لحظه ارائه دهند. این سیستم‌ها می‌توانند حجم زیادی از محتوا را پردازش و بینش‌ها و منابع مبتنی بر درخواست کاربر تولید کنند.
نتیجه این فرایند فناوری محور، دسترس‌پذیرتر و کارآمدتر یادگیری است .
ادغام هوش مصنوعی در L&D همچنین به این معنی است که محتوای قدیمی می‌تواند در مقیاس وسیع بازسازی و به‌روزرسانی شود. این قابلیت برای سازمان‌هایی که دارای محتوی آموزشی گسترده‌ای هستند و این محتوا نیاز به به روزرسانی دارد، بسیار ارزشمند است.

هوش مصنوعی می‌تواند سال‌ها محتوای قدیمی را مرور کرده، آن را به‌روزرسانی کرده و در قالبی جذاب‌تر که ارتباط و کاربرد آن را افزایش می‌دهد، ارائه دهد،
با ادامه تحول هوش مصنوعی، مرزهای بین سیستم‌های مدیریت یادگیری (LMS)، پلتفرم‌های تجربه یادگیری (LXP) و سیستم‌های مدیریت استعداد (TMS) بیشتر از پیش از بین می‌رود. پلتفرم‌های مبتنی بر هوش مصنوعی تجربیات یادگیری یکپارچه و جامعی ارائه خواهند داد که با نیازهای فردی یادگیرندگان و اهداف استراتژیک سازمان‌ها سازگار و هم راستا هستند.
و در نهایت ، هوش مصنوعی چشم‌انداز آموزش و یادگیری سازمانی را بازتعریف می‌نماید. این فناوری وعده تجربه‌های یادگیری شخصی‌سازی‌شده، کارآمد و پویا را می‌دهد. سازمان‌هایی که هوش مصنوعی را در استراتژی‌های L&D خود می‌پذیرند، قادر خواهند بود نیروی کار خود را توسعه داده، رقابت‌پذیری خود را حفظ و یادگیری و رشد مداوم را ترویج دهند. آینده یادگیری نه تنها دیجیتال است؛ بلکه هوشمند، تطبیق‌پذیر و خودمختار خواهد بود و این مسیری است که در مرکز یادگیری میدکو شروع شده و در حال طی مسیر است.

بررسی مکانیزم انفجار زغال و گاز
در معادن زغال‌سنگ زیرزمینی

پریسا باقرزاده (کارشناس مهندسی معدن-مکانیک سنگ)
ثریا فروغی (کارشناس مهندسی معدن- استخراج معدن)

چکیده

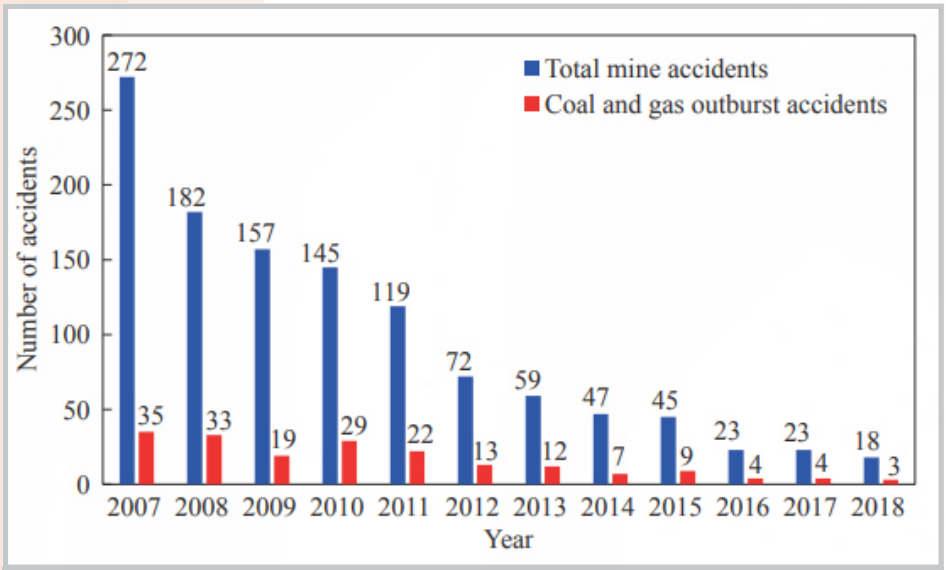
انفجار گاز و زغال یکی از حوادث دینامیک و پیچیده با زمان وقوع کوتاه اما شدت انفجار بالا می‌باشد. چگونگی و قدرت انفجار به تنش‌های برجا، فشار گاز و خواص فیزیکی و مکانیکی توده زغالی بستگی دارد. انفجار گاز و زغال مشکلی اساسی در فرآیند تولید زغال است که بر ایمنی تولید زغال تأثیر می‌گذارد و منجر به تلفات جانی و مالی جدی می‌شود. فرآیند انفجار با انرژی و صدای عظیم رخ می‌دهد و باعث تخریب تأسیسات باربری، تخلیه گازهای مضر مانند دی اکسید کربن و گاز زغال می‌گردد. این گازها باعث بروز خفگی، انفجار و آتش‌سوزی می‌شوند. بنابراین بررسی و تعیین مکانیزم انفجار گاز و زغال می‌تواند به ارائه روش‌های پیش‌بینی وقوع انفجار سنگ و جلوگیری از انفجار زغال و گاز کمک نماید. در این مقاله، ویژگی این نوع انفجارها، مشخصات شیمیایی و فیزیکی- مکانیکی زغال‌سنگ مستعد انفجار مورد بررسی قرار گرفته است. بعلاوه به بررسی و تحلیل مکانیزم‌های انفجار گاز و زغال و تشریح یکی از روش‌های پیش‌بینی انفجار سنگ هشدار سریع پرداخته شده است. همچنین انفجارهای رخ داده در معادن ایران و راهکارهای کاهش این نوع فجایع مورد بررسی قرار گرفته است.

۱. مقدمه

انفجار زغال سنگ و گاز یک فرآیند دینامیکی است که به کرات در حین عملیات معدنی در معادن زیرزمینی زغال سنگ مشاهده می‌شود. طبق تعریف انجمن مقررات استرالیا، انفجار گاز و زغال، انتشار ناگهانی گاز و مواد درحین کار می‌باشد که می‌تواند از نظر مقدار و شدت متفاوت باشد. زغال سنگ پرتاب شده با انرژی جنبشی بالا و متان ساطع شده با خطر انفجار باعث خطرات جدی از جمله مرگ و میر افراد و آسیب سنگین به تجهیزات می‌شود.

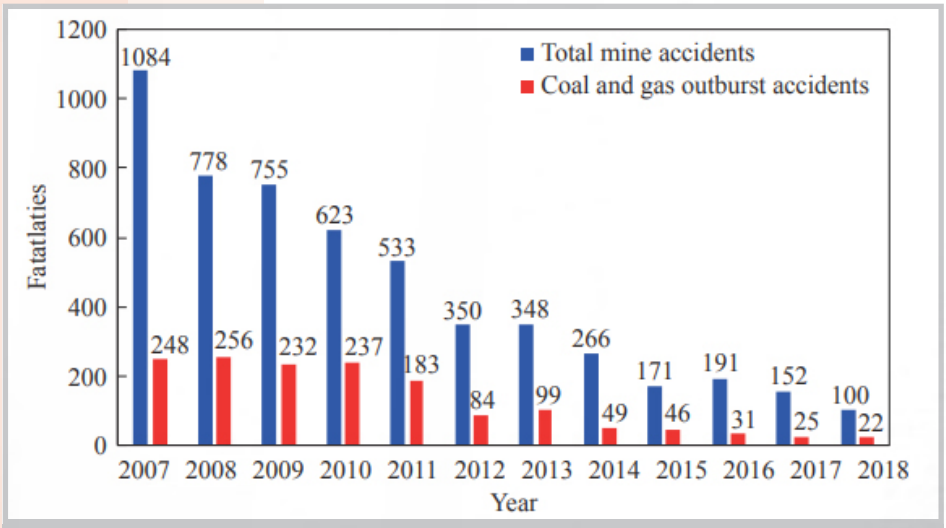
بیش از ۴۰۰۰۰ انفجار (تا سال ۲۰۰۷) از زمان وقوع اولین انفجار مستند در فرانسه در سال ۱۸۳۴ در سراسر جهان گزارش شده است. انفجار خطری بزرگ در معادن در حال بهره‌برداری زغال سنگ است و حدود ۲۲ کشور از جمله اتحاد جماهیر شوروی، آمریکا، چین، انگلیس، آلمان، فرانسه، لهستان، استرالیا، آفریقای جنوبی، ژاپن، هند و مکزیک، فجایع قابل توجهی را تجربه کرده‌اند. چنین خسارات و تلفات اقتصادی هنگفت اثرات اجتماعی قابل توجهی را نیز برجای می‌گذارد. بزرگترین انفجار در جهان در معدن زغال سنگ گاگارین[1] در اتحاد جماهیر شوروی درسال ۱۹۶۹رخ داد. در این حادثه، ۱۴۰۰۰ تن زغال سنگ پرتاب و ۲۵۰۰۰۰۰ متر مکعب گاز متان متصاعد شد. شکل ۱، تعداد کل حوادث معدن و حوادث انفجاری در چین را از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ نشان می‌دهد. با توسعه صنعت زغال‌سنگ در این کشور، مجموع حوادث سالانه در سال ۲۰۱۸ به سه مورد کاهش یافت.

1.Gagarin coal mine



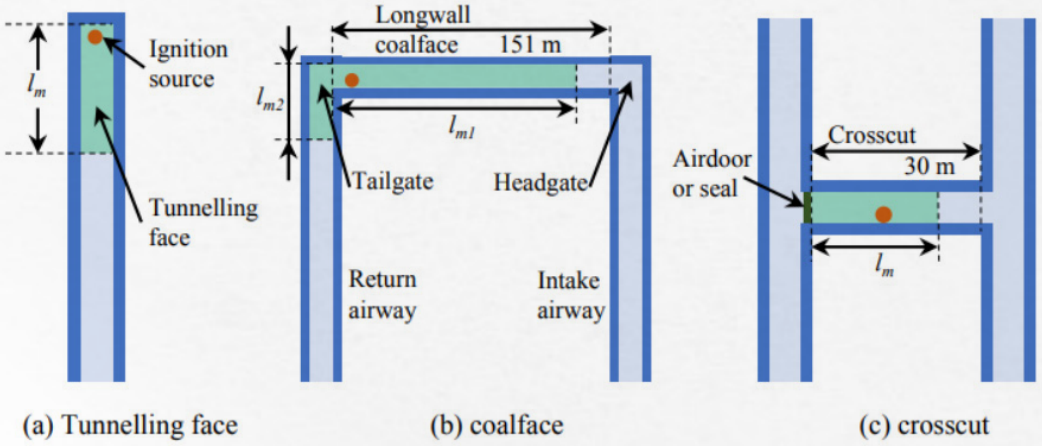
شکل ۱: تعداد کل حوادث معدنی و حوادث ناشی از انفجار گاز و زغال در چین
(حوادث با تلفات بیشتر یا مساوی ۳)

شکل ۲ تعداد کل مرگ و میرهای حوادث معدنی و حوادث ناشی از انفجار زغال و گاز متان را در چین از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۸ نشان‌می‌دهد. انفجارها عمدتاً حوادث جدی با نرخ مرگ و میر بالا هستند و ۱۶ تا ۳۸ درصد از کل تلفات را دربر می‌گیرند [۱].



شکل ۲: مجموع تلفات حوادث معدنی و حوادث ناشی از انفجار گاز و زغال در چین
(حوادث با تلفات بیشتر یا مساوی ۳)

متان در نتیجه تشکیل لایه‌های زغال تولید می‌شود. بیشترین حوادث کار در تونلها و معادن زیرزمینی در بخش سینه‌کار تونل‌ها، برش‌های متقاطع و جبهه کارهای زغالسنگ در بخش استخراج و آماده‌سازی کارگاه‌های استخراجی اتفاق افتاده است. در واقع در این مکان‌ها احتمال انفجار مخلوط متان و هوا زیاد است (شکل ۳). بنابراین، این مکانها باید به به صورت جدی تحت نظارت و مدیریت قرار گیرند. حد مجاز گاز زغال در قسمتهای مختلف معادن براساس استاندارد کشورهای مختلف در جدول ۱ آورده شده است.



شکل ۳: شماتیک مکان‌های گازخیز در تونل و جبهه‌کار زغال‌سنگ [۲]

جدول ۱: حد مجاز گاز زغال در قسمت‌های مختلف معادن بر اساس استاندارد کشورهای مختلف

کشور	وضعیت	غلظت مجاز (درصد)
آمریکا	مناطق در حال کار	۱
	راهروهای برگشت هوا	۲
روسیه	مناطق در حال کار	۰/۷۵
	راهروهای برگشت هوا	۱/۵
اسپانیا	مناطق در حال کار	۱
ایران	راهروهای حامل هوای تازه	۰/۵
	راهروهای برگشت هوا	۰/۷۵
	محل‌های تعمیراتی، مناطق متروکه	۲

بر اساس مطالعات آماری که در بلند مدت انجام شده، ویژگی‌های انفجار به شرح زیر خلاصه شده است:

۱- خطر انفجار با افزایش عمق معدن افزایش می‌یابد. محققان عمق آستانه را حداقل عمقی که در آن انفجار تحت شرایط زمین شناسی موجود رخ می‌دهد، تعریف می‌کنند [۳].

۲- یک انفجار بزرگ، ساختار زمین‌شناسی منطقه را تحت تاثیر قرار می‌دهد، و مناطق مستعد انفجار در حین عملیات معدنی آشکار می‌شوند. محققان دریافتند که انفجار با زغال سنگ نرم، گسل ها و/یا دایک‌ها مرتبط است [۴-۵] .

۳- انفجارها عمدتاً در حین حفر تونل در لایه زغال‌سنگ رخ می‌دهند. این اتفاق در لایه زغال‌سنگ موجود در تقاطع‌ها شدیدتر است [۶].

۴- عوامل محرک شامل حفاری، برش، و حفاری انفجاری، عموماً قبل از انفجارها رخ داده‌اند [۷].

۵- برخی از علائم مانند صدا، ورقه شدن زغال سنگ، تغییرات دما، چسبیدن لوله مته، قبل از انجار ناگهانی مشاهده می‌شوند.

۶- مشخصه زمانی به عنوان تاخیر در وقوع یک انفجار قلمداد می‌شود. محققان وقوع انفجار را ناشی از رفتار رئولوژیکی زغال‌سنگ می‌دانند [۸].

۷- انفجار زغال به صورت توده‌ای، دانه‌ای و پودری رخ می‌دهد. این پرتاب در فاصله‌ای از چند متر تا هزاران متر می‌باشد و باعث ایجاد حفره‌ای در لایه زغال سنگ می‌شود. فضای کار یا جبهه‌کاری ممکن است با مواد شکسته شده پوشیده شود.

در ۱۵۰ سال گذشته پیشرفت‌های قابل توجهی در تعیین مکانیزم انفجار صورت گرفته است. داده‌های مربوط به خواص زغال سنگ، تکرارپذیری انفجارها، فرضیه‌ها و مدل‌ها از طریق تجزیه و تحلیل آماری، استنتاج منطقی، آزمون‌های آزمایشگاهی و یا مدل‌سازی عددی به‌دست آمده است. با این حال، هنوز هم مکانیزم انفجارها نامشخص است زیرا هیچ یک از نظریه‌ها نمی‌توانند همه پدیده‌ها و ویژگی‌های آماری را در طول یک انفجار توضیح دهند.

۲. مشخصات شیمیایی و مکانیکی زغال‌سنگ مستعد انفجار

۲-۱. مشخصات شمیایی زغال‌سنگ

زغال‌سنگ یک سنگ آلی با شبکه ماکرومولکولی پیچیده است. بلوک‌های سازنده مولکولی توسط پیوندهای کووالانسی و غیرکووالانسی در اندازه‌های مختلف به هم متصل می‌شوند. خواص مکانیکی و شیمیایی زغال سنگ تحت تأثیر ترکیبات آلی قابل حل کوچک در ماتریس زغال‌سنگ یا ساختار شبکه ماکرومولکولی می‌باشد.

این ترکیبات آلی قابل حل، ۱۰-۲۳ درصد وزنی و گاهی اوقات ۳۰ درصد وزنی از مواد آلی زغال سنگ را تشکیل می‌دهند.

کائو و همکاران دریافتند که زغال سنگ مستعد انفجار حاوی مواد آلی حل شونده‌ی بیشتری نسبت به انواع غیر مستعد انفجاری است [۹]. ژانگ و همکاران گزارش کردند که استخراج کلروفرم از ترکیبات محلول می‌تواند به عنوان شاخص خطر انفجار عمل کند[۱۰]. استخراج میکرومولکول‌های آلی از زغال سنگ می‌تواند نسبت منافذ مزو/ماکرو را افزایش داده و مقاومت در مقابل جریان گاز را کاهش دهد [۱۱]. همچنین یانگ و همکاران به این نتیجه رسیدند که مواد آلی محلول باعث کاهش مقاومت زغال‌سنگ و انفجار زغال سنگ و گاز می‌شوند [۱۲].

ترکیب شیمیایی بسته به نوع زغال‌سنگ یا شرایط زمین‌شناسی منطقه متفاوت است. تنش‌های تکتونیکی بر ساختار فیزیکی اولیه و خواص شیمیایی زغال سنگ تأثیر می‌گذارند. دونگ و همکاران نشان دادند که نیروی مکانیکی می‌تواند باعث تخریب و بریدگی زنجیره‌ای پلیمرها شود[۱۳]. از نظر تکتونیکی، ساختار شیمیایی زغال‌سنگ با تغییر پیوندهای شیمیایی تغییر می‌یابد، و می‌تواند باعث شکست پیوند یا تولید گاز شود. از طرف دیگر، تغییرات ساختار زمین شناسی و شکست دینامیکی زغال سنگ می‌تواند باعث تغییراتی در ترکیب شیمیایی شود. این موضوع نشان دهنده روابط درونی مکانیکی و شیمیایی است. بعلاوه ساختار میکروسکوپی منافذ زغال سنگ کاملا بر جذب، دفع، انتشار یا حتی جریان گاز تأثیر می‌گذارند.

۲-۲. مشخصات مکانیکی زغال‌سنگ

تغییرحجم مکعبی زغال‌سنگ با جذب گاز و کاهش حجم ماتریس زغال‌سنگ رخ می‌دهد، ولی در زمان دفع گاز بخشی از تغییر شکل ایجاد شده باقی می‌ماند. جذب گاز انرژی سطحی زغال سنگ را کاهش داده و منجر به اتساع فاز جامد می‌شود. واژه "فرسایش"[1] گاز توصیف کننده‌ی کاهش مقاومت زغال سنگ توسط گاز می‌باشد.

مقاومت زغال یکی از خواص مکانیکی و فیزیکی مهم زغال است که با شدت انفجار رابطه نزدیکی دارد و خود تحت تأثیر حرکات ساختاری زمین‌شناسی، فشار گاز، اندازه اثر و اختلال معدنکاری می‌باشد. ابعاد ذرات زغال تخلخل داخلی توده زغال را تغییر داده و هر چه ابعاد کوچک‌تر، تخلخل کمتر و تراکم توده زغال بیشتر است. ابعاد کوچک‌تر زغال جذب سطحی زغال و درجه حرارت بالاتر را موجب می‌شود. تحت تأثیر میدان حرارتی، انرژی ذخیره شده در زغال با مقاومت بالا، نسبتاً بالا بوده و منجر به انفجار سریع با انرژی زیاد می‌شود.

رفتار مکانیکی زغال‌سنگ حامل گاز بیشتر بر اساس تنش موثر، تحت تأثیر گاز جذبی و آزاد توصیف می‌شود. مدل الاستو پلاستیک به طور گسترده‌ای برای نشان دادن مسیر تنش، تغییر شکل الاستیک و رفتار شکست زغال سنگ حامل گاز استفاده می‌شود. معیارهای تسلیم، از جمله موهر-کولمب، دراکر-پراگر، گریفیث، و تئوری تنش کششی حداکثر، برای توصیف رفتار پلاستیک زغال سنگ حامل گاز استفاده می‌شود. بعلاوه مدل ویسکو-الاستو پلاستیسیته جهت بررسی رفتار وابسته به زمان زغال سنگ حامل گاز بکار می‌رود.

1. Erosion

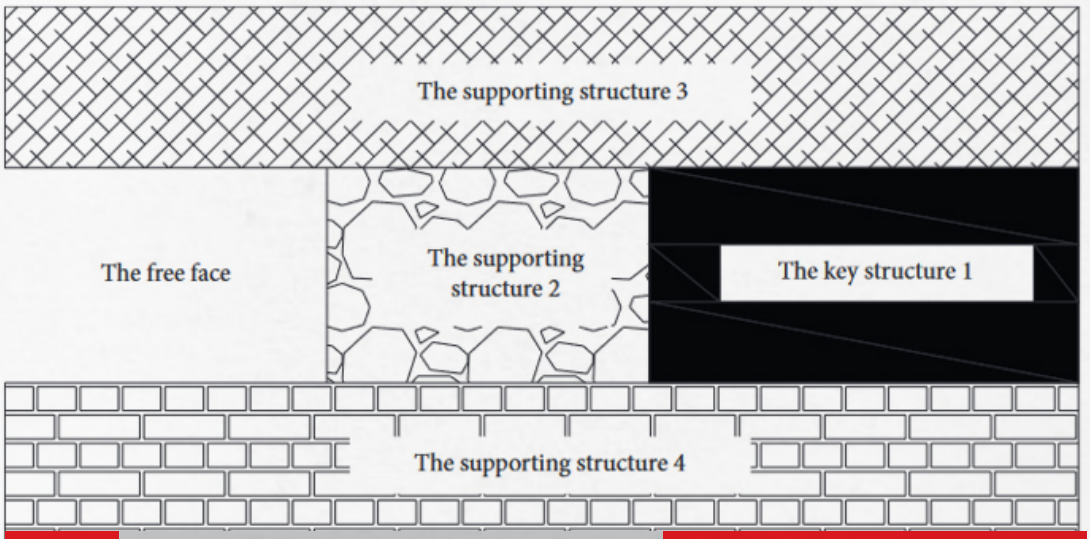
۳. مکانیزم انفجار گاز و زغال

در دهه‌های اخیر، مجموعه‌ای از فرضیه‌ها و تئوری‌ها بر اساس آزمون‌ها و بررسی‌های میدانی، آزمون‌های آزمایشگاهی، شبیه‌سازی کامپیوتری و مطالعات آماری جهت بررسی مکانیزم‌های انفجار ارائه شده است. بر اساس عوامل مختلف اثرگذار در نیروی محرکه انفجار، این تئوری‌ها به دو دسته مکانیزم‌های تک عاملی و چند عاملی تقسیم می‌شوند.

۱- ۳. مکانیزم تک عاملی غالب[1]

تنش برجا، فشار گاز و خواص فیزیکی و مکانیکی توده سنگ و زغال، تعیین کننده چگونگی و شدت وقوع انفجار گاز و زغال می‌باشند. تئوری تک‌عاملی غالب، هر یک از عوامل مذکور را عامل اصلی و منبع انرژی انفجار می‌داند.
در تئوری‌های گاز غالب[2]، گاز متان ذخیره شده با فشار بالا در لایه زغال‌سنگ، رایج‌ترین و مستقیم‌ترین عامل آغازکننده انفجار است. در این تئوری انفجار گاز و زغال اکثراً توسط گاز هدایت می‌شود. حجم زیادی از گاز در شکستگی‌های زغال ذخیره شده و به ایجاد و پیشروی انفجار دامن می‌زند. تحت فشار گاز، توده زغال با نفوذپذیری پایین تخریب شده و حجم عظیمی از انرژی تخلیه و در نهایت منجر به انفجار گاز و زغال می‌شود. فشار گاز اثر پودرکنندگی بر روی توده زغال دارد. گرادیان فشار گاز بالا باعث گردش و جریان آن در داخل ترک‌های توده زغال شده و مقادیر زیاد پودرشدگی و ذرات کوچک خاکستر زغال تولید می‌نماید که وقوع انفجارهای بیشتر را مهار می‌کند.
همچنین انفجار گاز و زغال با حرکات تکتونیک زمین‌شناسی رابطه دارد و توزیع غیریکنواخت ساختار زمین‌شناسی، فاکتورهای دیگر مانند تنش برجا، فشار گاز و خواص فیزیکی و مکانیکی را به شدت تحت تأثیر قرار داده و حرکت و ایجاد گاز و بالتبع آن فرآیند انفجار گاز و زغال را کنترل می‌کند. حرکات تکتونیکی وضعیت بسته شدن-گسترش میکروساختارهای درونی زغال و توده سنگ را تغییر می‌دهد که روند ایجاد گاز در توده‌سنگ و زغال و وقوع حوادث انفجار گاز و زغال را کنترل می‌نماید.
همچنین شرایط زمین‌شناسی در شرایط غلظت بالای گاز، از فاکتورهای اساسی و پیش‌نیاز شکل‌گیری انفجار است.
در تئوری‌های مبتنی بر تنش غالب[3]، تنش را عامل اصلی و منبع انرژی انفجار می‌داند. در حالی که انتشار گاز در فرآیند خرد کردن زغال‌سنگ در رتبه دوم قرار دارد. دو منبع انرژی از جمله تنش تکتونیکی ناشی از حرکت پوسته زمین و تنش وارده از سمت لایه‌های بالایی زغال‌سنگ در حین انفجار مورد توجه قرار گرفته‌اند. بعلاوه تمرکز تنش در جلوی جبهه‌کار در حین عملیات معدنی القا می‌شود.
توزیع تنش‌های برجا و ساختارهای زمین‌شناسی ضعیف در لایه زغالی نقش مهمی در کنترل انفجار زغال و گاز دارند. توده زغال اولیه در اثر تغییر تنش‌های برجای توده سنگ تغییر شکل می‌دهد و محیط‌های تنشی بسته با گاز بالا را شکل می‌دهد که فرآیند شکست زغال را تسریع کرده و انرژی و مواد کافی را برای وقوع فرآیند انفجار فراهم می‌کند.
مدل ساختار کلیدی انفجار گاز و زغال در شکل ۴ نشان داده شده است. ساختار کلیدی ۱ دارای خطر انفجار و منبع انرژی و پیش نیاز انفجارهای گاز و زغال است. ساختار ۲ نقش نگهدارنده برای ساختار کلیدی ۱ در توده زغال را ایفا می‌کند که گاز و انرژی آن را انباشته می‌نماید. همزمان، ساختار نگهدارنده ۳ و ۴ در سقف و کف لایه زغالی، مقدار زیادی انرژی پتانسیل الاستیک را ذخیره نموده که باعث توسعه و شکل‌گیری پیوسته ساختار نگهدارنده ۲ می‌شود. گاز ذخیره شده و انرژی پتانسیل الاستیک آزاد شده، منجر به انفجار گاز و زغال می‌شود. با توجه به آنچه بیان شد، فاکتورهای تک عاملی مانند گاز، تنش برجا و حرکت تکتونیکی وقوع حوادث انفجار گاز و زغال را کنترل می‌نمایند.

1. Single factor Dominant control theory
2. Gas dominated theory
3. Stress dominated theory



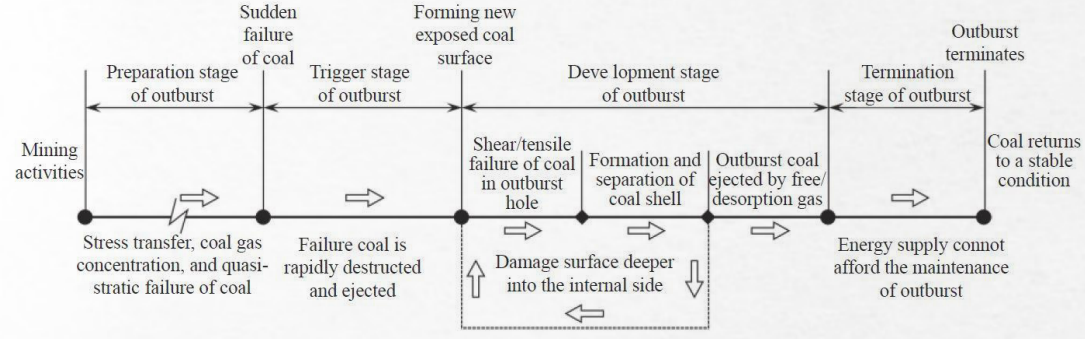
شکل ۴: مدل ساختار کلیدی انفجار زغال و گاز [۱۴]

۲-۳. مکانیزم ترکیبی چندعاملی

مکانیزم انفجار گاز و زغال تا سال‌های اخیر همچنان در حد فرضیه‌هایی مانند فرضیه واکنش گاز، تنش برجا واکنش شیمیایی و سایر فرضیه‌های تک عاملی باقی مانده است که این فرضیه‌ها قادر به تفسیر منطقی برخی حوادث خاص نمی‌باشند. انفجارهای گاز و زغال با تغییرات و اثرات ترکیبی میدان تنش برجا، میدان الکترومغناطیسی، میدان نشت و فشار گاز مرتبط است. تحت شرایط ترکیب چندمیدانی، خصوصیات مکانیکی زغال حامل گاز و نحوه ایجاد گاز تغییر می‌کند که ناپایداری سنگ و زغال حامل گاز را تسریع کرده و منجر به انفجار گاز و زغال می‌شود.

امروزه با پیشرفت تکنولوژی در صنایع معدنی و توسعه و پیشروی معادن در عمق، شرایط معدنکاری لایه زغالی پیچیده شده که باعث افزایش آمار حوادث انفجار گاز و زغال شده است. توده زغال حامل گاز در معادن عمیق در میدان تنش برجای سه‌بعدی پیچیده قرار گرفته‌اند. خرد شدن سنگ در جبهه‌کار توسط فعالیت ترکیبی تنش‌های برجا و فشار گاز رخ می‌دهد. تنش‌های برجا عامل مهم خارجی و فشار گاز منبع مهم انرژی داخلی در انفجار می‌باشند. نتایج مطالعات انجام شده در زمینه بررسی مکانیزم ترکیبی چند عاملی بیان کننده این مطلب است که تنش‌های برجا، فشار گاز و خصوصیات مکانیکی و فیزیکی زغال، تفاوت‌های واضحی در مراحل مختلف انفجار سنگ و زغال دارند. سایر فاکتورهای داخلی و خارجی مانند حرکت تکتونیکی و آشفتگی‌های ناشی از معدنکاری، میدان تنش در سنگ و زغال را تغییر می‌دهند که به توسعه و تخریب ترک‌ها در زغال شتاب می‌بخشد. نحوه جذب و دفع گاز به دلیل اثرات ترکیبی میدان تنش‌های برجا و القایی ناشی از معدنکاری تغییر می‌کند که آن هم به نوبه خود نحوه باز و بسته شدن ترک‌ها را تغییر داده و انرژی داخلی گاز انباشته شده در سنگ و زغال را افزایش می‌دهد. زمانی که انرژی داخلی گاز انباشته شده و انرژی الاستیک توده سنگ و زغال افزایش یابد، بطوریکه از انرژی مورد نیاز برای شکست سنگ و زغال تجاوز کند، انرژی داخلی گاز و انرژی الاستیک سریعاً تخلیه شده و انفجار رخ می‌دهد.

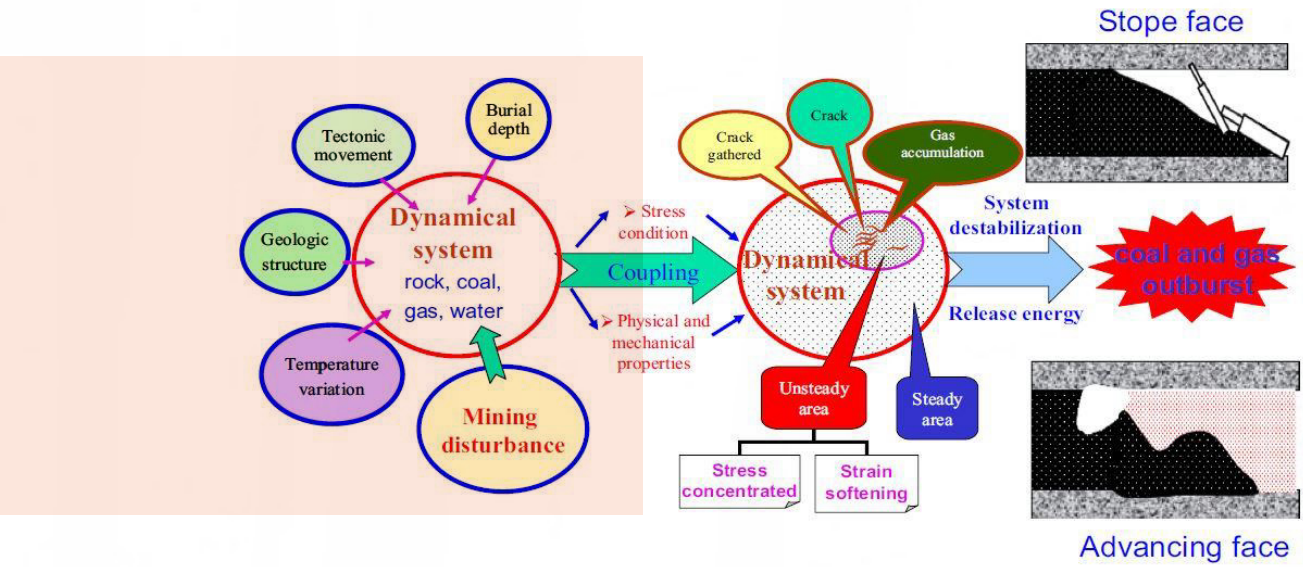
هو و همکاران فرآیند انفجار را در چهار مرحله شامل آماده‌سازی، شروع، توسعه و پایان تشریح نمودند. انفجار به عنوان یک تخریب متناوب و چندگانه و پرتاب تکانشی خلاصه شده است. انفجار با تحلیل حالت‌های شکست زغال‌سنگ ناشی از تنش منطقه و فشار گاز، مطابق شکل ۵ نشان داده شده است [۱۵].



شکل ۵: کل فرآیند انفجار زغال سنگ و گاز

یکی دیگر از انواع مکانیزم‌های ترکیبی چندعاملی، تئوری انفجار ژئودینامیکی است. سیستم ژئودینامیکی انفجار در توده زغال‌سنگ حاوی گاز در شرایط زمین‌شناسی معین رخ می‌دهد. تحت تاثیر عوامل دینامیکی زمین‌شناسی مانند گسل‌ها، چین خوردگی‌ها، نفوذ ماگما و حرکات تکتونیکی، توده زغال‌سنگ گازی مستعد انفجار تشکیل می‌شود. سپس در نتیجه عملیات معدنکاری و تحت بارگذاری و باربرداری ایجاد شده، به عنوان مثال استخراج زغال یا حفر اکلون‌ها، تنش‌های برجا، نشت و آسیب با یکدیگر کوپل می‌شوند. تمرکز تنش‌ها به صورت موضعی، و افزایش پتانسیل الاستیک جهت توسعه ناگهانی ناحیه آسیب، آزاد شدن انرژی و ایجاد ترک‌های موضعی و در نهایت قطعه قطعه شدن زغال‌سنگ ایجاد می‌شود. زغال‌سنگ پرتاب شده به سرعت مقدار زیادی گاز ذخیره‌شده در آن را چه به صورت جذبی و چه به صورت آزاد، خارج می‌کند و در ناحیه آسیب جمع شده و یک توده گازی را تشکیل دهد. در نهایت مقدار زیادی از توده زغال‌سنگ و گاز به سرعت از فضای معدن خارج و منجر به انفجار می‌شود. رابطه بین عوامل موثر در سیستم ژئودینامیک انفجار زغال‌سنگ و گاز، در شکل ۶ نشان داده شده است.

در مرحله شروع انفجار، تنش نقش اصلی را ایفا می‌کند. تنش‌های برجا و تنش‌های القایی ناشی از معدنکاری باعث می‌شود که توده زغال سنگ شکسته شده و ترک‌های زیادی ایجاد می‌شود. در نتیجه گاز آزاد شده و با به دام افتادن آن، انبوه گاز ایجاد می‌شود. در مراحل تکاملی انفجار، گاز با گرادیان فشار بالا در فضای معدن، توده زغال سنگ را به سمت جلو حرکت می‌دهد و قطعات زغال‌سنگ را بیشتر می‌شکند، و در نتیجه باعث دفع گاز و تشدید انفجار می‌شود. مکانیزم سیستم ژئودینامیکی محدوده انفجار زغال سنگ و گاز را مشخص می‌کند و اشاره می‌کند که در این محدوده فضایی اقدامات پیشگیرانه انجام شود.



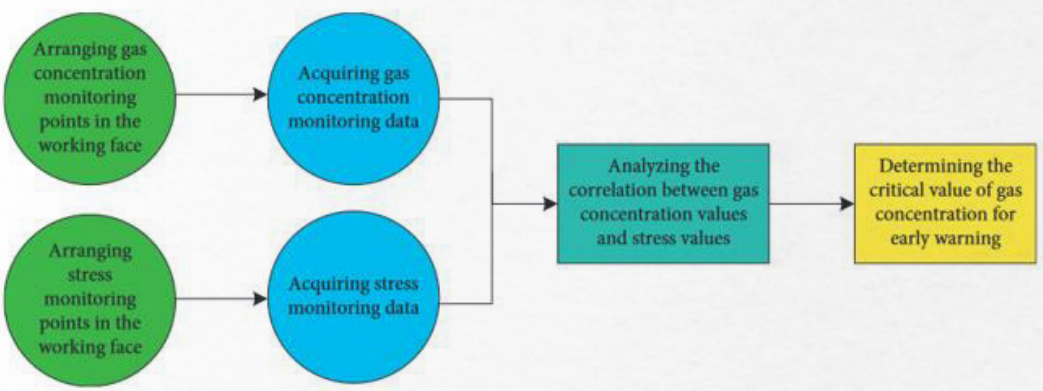
شکل ۶: رابطه بین عوامل موثر در سیستم ژئودینامیک انفجار زغال سنگ و گاز [۱۶]

مکانیسم سیستم ژئودینامیکی انفجار معتقد است که فرآیند انفجار به مراحل رشد (آماده‌سازی) و تکامل (شروع، توسعه و خاتمه) تقسیم می شود. انفجار گاز با تغییر تنش، شکستگی زغال سنگ، تجمع گاز و انتشار انرژی کنترل می‌شود که با فرضیه مکانیزم چند عاملی سازگار است. پتانسیل تغییر شکل زغال سنگ نشان دهنده رابطه بین تنش و خواص مکانیکی توده زغال سنگ است، در حالی که انرژی داخلی گاز رابطه بین فشار و حجم گاز است. بنابراین، فرضیات سیستم ژئودینامیکی، انباشت و رهایی انرژی در کل فرآیند رشد و تکامل نقش دارند.

۴. هشدار سریع در جبهه‌کار معادن زغال عمیق بر اساس قانون انتشار گاز

امروزه روش‌های زیادی جهت هشدار انفجار از جمله روش مانیتورینگ و روش هشدار سریع مانند روش ریزلرزه‌ای، روش تشعشع الکترومغناطیسی، روش تنش آنلاین، روش انتشار آکوستیک و روش برش حفاری ارائه شده‌اند، اما عملاً منجر به هشدار سریع نشده‌اند. دلیل آن این است که وقتی که شاخص‌های مانیتورینگ به مقدار خطر می‌رسند، حادثه انفجار سنگ نزدیک وقوع است و زمان کافی برای آزادسازی فشار و جلوگیری از حادثه وجود ندارد. به علاوه اطلاعات پیش‌نیاز باید ریسک انفجار سنگ را تعیین کنند که این امر جهت مانیتورینگ و جلوگیری از انفجار سنگ در معادن خیلی سخت است. این در حالی است که امروزه با افزایش عمق و توسعه معدنکاری، محتوای گاز و فشار گاز در لایه‌های زغالی افزایش یافته، بعلاوه تعداد معادن عمیق نیز رو به افزایش است. گاز زیاد در لایه‌های زغالی مکانیزم وقوع انفجار سنگ را پیچیده می‌کند که بزرگترین مانع برای مانیتورینگ و جلوگیری از خطرات دینامیکی در لایه‌های زغالی با گاز بالا می‌باشند.

آنالیز روند تکاملی گاز و تنش در طول جبهه‌کار معدنی، نشان می‌دهد که شرایط غیرعادی معدنکاری در جبهه‌کار، احتمالاً موجب وقوع حادثه انفجار گاز می‌شود. غلظت گاز ابتدا قبل از وقوع انفجار سنگ کاهش می‌یابد، سپس بعد از وقوع به شدت اوج می‌گیرد. در نواحی که انفجار سنگ رخ می‌دهد، تنش به تدریج قبل از وقوع انفجار افزایش می‌یابد و انفجار سنگ زمانی که تنش‌ها به حد شکست زغال برسد، رخ می‌دهد. مانیتورینگ تنش در جبهه‌کار به صورت مانیتورینگ لحظه‌ای و غیر پیوسته است. وقتی که تنش به ماکزیمم خود می‌رسد، وقوع حادثه نزدیک می‌شود. بنابراین مانیتورینگ تنش نمی‌تواند هشدار سریع را امکانپذیر سازد. در مقابل، مانیتورینگ و کنترل غلظت گاز در جبهه‌کار پیوسته است. در نتیجه، بر اساس رابطه بین غلظت گاز و تنش در جبهه‌کار، تغییرات تنش را می‌توان به صورت غیرمستقیم از مانیتورینگ تغییرات غلظت گاز به دست آورد. به عبارت دیگر، انفجار سنگ می‌تواند با مانیتورینگ غلظت گاز انجام شود. فلوچارت روش هشدار سریع در شکل ۷ نشان داده شده است. بر اساس فلوچارت ابتدا نقاط مانیتورینگ غلظت گاز و تنش در جبهه‌کار تعیین می‌شوند. سپس داده‌های مانیتورینگ غلظت گاز و تنش جمع‌آوری شده و با آنالیز داده‌های مانیتورینگ، انتشار گاز، توزیع تنش و بررسی ارتباط مقادیر غلظت گاز و داده‌های به دست آمده، تحلیل‌ها انجام می‌شود. در نهایت، مقدار شاخص هشدار سریع بر طبق داده‌های مانیتورینگ تنش در لحظه‌ای که تغییرات دینامیکی غلظت زغال مشاهده می‌شود، تعیین می‌گردد. مانیتورینگ تنش در جبهه‌کار می‌تواند به صورت آنلاین انجام شود.



شکل ۷: فلوچارت روش هشدار سریع انفجار سنگ در جبهه‌کار معدن عمیق بر اساس قانون انتشار گاز [۱۷]

۵. انفجار گاز و زغال در معادن ایران

حوادث انفجار گاز و زغال در حین عملیات معدنی، در معادن زغال ایران نیز خسارات جانی و مالی زیادی برجای گذاشته است. به عنوان مثال، در سال ۱۳۸۲ انفجار متان در معدن زغالسنگ باب‌نیزو رخ داد که باعث جان باختن ۹ نفر از کارگران معدن باب نیزو شد. در سالهای اخیر حوادث متعددی در معادن ایران به ویژه معادن کرمان رخ داده است. تنها در فاصله سالهای ۱۳۸۸ تا ۱۳۹۲ بیش از ۳۰ معدنچی در حوادث معدن جان خود را از دست دادند. دلیل بیشتر این تلفات نبود خدمات اضطراری کافی در مناطق نزدیک به معادن عنوان شده‌است. تجزیه و تحلیل آماری از حوادث انفجار متان معمولاً در کشورهای مختلف انجام می‌شود و اطلاعات انتشار متان در گزارش پایه ژئوتکنیک گنجانده می‌شود. متاسفانه آماری به صورت مستند که بیان کننده‌ی حوادث انفجار گاز و زغال در معادن ایران باشد، وجود ندارد. در جدول ۲ برخی از حوادث معدنی ناشی از انفجار گاز و زغال که از منابع مختلف جمع‌آوری شده، ارائه شده است.

جدول ۲: برخی از حوادث انفجار گاز و زغال در معادن ایران

ردیف	نام معدن	استان	تراز ارتفاعی تونل (متر)	سال وقوع حادثه	خسارت انسانی
۱	زمستان یورت	گلستان	۴۱۰ تا ۱۶۵۰	۱۳۹۶	۴۲
۲	کارمزد	مازندران	۱۰۴۷	۱۳۷۹	۴
۳	باب نیزو	کرمان	۲۲۴۶ تا ۲۴۴۶	۱۳۶۴	۶
				۱۳۸۲	۹
				۱۳۸۸	۱۲
۴	طبس	خراسان جنوبی	۸۵۰ تا ۱۰۴۷	۱۳۹۱	۸
۵	طزره	سمنان	۲۰۰۰ تا ۲۸۰۰	۱۳۹۸	۱
				۱۴۰۲	۶
۶	چشمه پودنه	کرمان	۲۴۰۰ تا ۲۵۵۰	۱۳۹۲	۳
۷	هجدک	کرمان	۱۷۵۰ تا ۱۹۷۰	۱۳۹۶	۱
۸	شمشک	تهران	۲۵۶۹ تا ۲۶۶۷	۱۳۳۹	۲۱
۹	سنگرود	گیلان	۱۳۷۰	۱۳۷۶	۲۱

معدن زمستان یورت یا به عبارت دیگر کلات زمستان یورت جز معادن البرز شرقی در روستای چشمه ساران می‌باشد. منطقه زمستان یورت در فاصله ۱۱۰ کیلومتری شمال‌شرق شاهرود و در فاصله ۱۴ کیلومتری شهرستان آزادشهر از توابع استان گلستان قرار دارد.

انفجار متان در تونل معدنی زغال‌سنگ زمستان یورت در سال ۹۶ رخ داد. این انفجار باعث ریزش شدید تونل شد. موقعیت انفجار در عمق ۱۰۸۰ متری رخ داد. قطع برق و دید ضعیف در تونل عملیات نجات را با مشکل مواجه کرد و ۱۲۶ نفر به طور مستقیم و غیرمستقیم آسیب دیدند. پس از انفجار، غلظت متان در محل حادثه همچنان بالا بود و کار هوا رسانی را با مشکل مواجه نمود. با وجود گاز حاصل از انفجار در معدن هر لحظه امکان انفجار بعدی وجود داشت. در این حادثه ۱۲۶ نفر دچار آسیب شدند که ۴۳ کارگر بلافاصله پس از انفجار فوت و ۵۵ کارگر به بیمارستان‌ها اعزام شدند. کارشناسان علت حادثه را چنین عنوان نمودند که دو دستگاه لوکوموتیو به همراه واگن در داخل تونل بوده که لوکوموتیو اول انتهای تونل خراب می‌شود و باطری از بیرون برای استارت مجدد آن به داخل تونل حمل می‌شود. انفجار و ریزش در محل لوکوموتیو دوم صورت می‌گیرد که زیر آوار مدفون می‌شود. تجمع احتمالی گاز در منطقه انفجار به دلیل عدم کفایت تهویه طبیعی و نبود سیستم تهویه مکانیزه، حبس گاز در فضای تخریبی به جا مانده ناشی از استخراج در محل انفجار و همچنین وجود گرد زغال در محیط معدن از دلایل حادثه بوده‌اند. همچنین عدم وجود گاز سنج به تعداد کافی، نبود سیستم پایش نشت گاز، عدم وجود دستگاه خودنجات به تعداد کافی در معدن از دلایل اصلی تلافات بالای حادثه بوده است.

۱-۵. اقدامات پیشگیرانه
کاهش حوادث انفجار در معادن ایران

با توجه به بررسی انفجارهای رخ داده در معادن ایران، موارد زیر جهت کاهش اینگونه حوادث توصیه می‌شود.

- ۱- الزامات و مشخصات طراحی ایمنی مربوط به تونل باید طبق دستورالعمل‌ها و نشریه‌ها اجرا شود.
- ۲- شرکت‌های مشاوره و اجرا باید اجرای آموزش ایمنی و نجات به کارگران را تقویت کنند.
- ۳- تشخیص گازخیزی تونل بایستی حتماً انجام شود.
- ۴- تهویه مناسب تونل برای حفظ میزان گاز متان الزامی است.
- ۵- معدن بایستی به سیستم پایش گاز مجهز باشد؛ نصب تجهیزات تشخیص متان در معادن زغال‌سنگ با قابلیت هشدار گاز بیش از حد و کنترل خودکار هواکش نصب شود.
- ۶- مطالعات زمین‌شناسی قبل از احداث تونل، به خصوص در لایه‌های زغالسنگ انجام شود و موقعیت احتمالی گاز خیزی و میزان خطر مناطق گازخیز به دقت بررسی شود.
- ۷- اطمینان از ماشین آلات و تجهیزات ضد انفجار باید مورد ارزیابی قرار گیرد.
- ۸- کنترل و تحقیق در مورد جلوگیری از انفجار گاز از ابتدا تا پایان ساخت تونل باید انجام شود. در حال حاضر، روشی که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، زهکشی گمانه است و نوع جدیدی از دستگاه زهکشی متان را می‌توان بر اساس این روش توسعه داد. باتوجه به اینکه متان به سمت ناحیه کم فشار حرکت می‌کند، وارد فضای تونل می‌شود. در نتیجه پیشگیری و کنترل هجوم ناگهانی گاز متان به داخل تونل امری ضروری است.
- ۹- تجهیزات الکتریکی باید به جای ایجاد جرقه در هوا، اتصال کوتاه (ارات) داشته باشند.

نتیجه‌گیری

انفجار زغال سنگ و گاز از حوادثی است که در حین انجام عملیات معدنی در معادن زغال سنگ رخ می‌دهد. این پدیده به یک مشکل کلیدی تبدیل شده که بر ایمنی معادن تاثیر گذاشته و باعث تلفات جانی و خسارات مالی قابل توجه می‌شود. این رخداد یک فرآیند دینامیکی بسیار پیچیده است که در مدت زمان بسیار کوتاه و با قابلیت انفجاری شدید رخ می‌دهد. جلوگیری از این فاجعه نیازمند فهم صحیح از مکانیزم انفجار است.

در حال حاضر، مکانیزم‌های انفجار زغال‌سنگ و گاز در مرحله فرضیه هستند، مانند فرضیه گاز غالب، تنش غالب، فعل و انفعالات شیمیایی و سایر فرضیه‌های تک عاملی که نمی‌توانند برخی از رخدادها را به طور منطقی توضیح دهند. با این حال، محققان بیش از پیش معتقدند که انفجار زغال سنگ و گاز تحت اثر ترکیبی سه عامل اصلی یعنی فشار گاز، تنش برجا و خواص فیزیکی و مکانیکی توده غال‌سنگ می‌باشد.

حوادث انفجار گاز و زغال رخ داده در معادن ایران نشان می‌دهد که نظام سلامت دستورالعمل‌ها، برنامه‌های آموزشی و همچنین نیروهای آموزش دیده و آماده برای مدیریت حوادث مرتبط با انفجار گاز متان در معادن زغال را ندارد. می‌توان اقداماتی را جهت کاهش ریسک وقوع اینگونه حوادث انجام داد. آمار حوادث رخ داده در ایران نشان می‌دهد که اکثر انفجارها حدود ظهر و نزدیک به تعویض شیفت یا در هنگام شروع شیفت کاری بوده است. می‌توان با برنامه زمان‌بندی تعویض شیف برای اپراتور و پرسنل تهویه و با استفاده از سیستم پایش، هوای داخل تونل را به صورت مستمر برای انواع گازها پایش و کنترل نمود. برای تعمیر و تعویض قطعات لوکوموتیو و سایر قطعات مکانیکی دیگر، ابتدا این قطعات و دستگاه‌ها به خارج از تونل هدایت شوند و در صورت امکان تعمیرات آنها در خارج از تونل انجام شود. استفاده از قطعات به روز و استاندار بجای استفاده از قطعات مستهلک و فرسوده، استفاده از لباس‌های ایمنی مناسب برای جلوگیری از ایجاد جرقه و الکتریسیته ساکن امری مهم و ناگزیر است. برای خنثی کردن الکتریسیته ساکن، نشتی جریان و یا ایجاد جرقه در محل دستگاه‌های حفاری، واگن‌های حمل مواد، ژنراتور برق، سیستم تهویه و محل اتصال ریل‌ها به یکدیگر استفاده از چاه ارت لازم و ضروری است. همچنین شناخت کافی از وضعیت زمین‌شناسی منطقه، تنش‌های برجا و شناسایی محل‌های تجمع گاز و خطر آفرین در تمامی طول عمر معدن الزامی است. بعلاوه طراحی سیستم تهویه مناسب جهت ترقیق گاز متان بایستی در دستور کار قرار گیرد. اگرچه تعداد حوادث گازی و تلفات در سال‌های اخیر کاهش یافته است، ایمنی معادن همچنان موضوع مهمی است. بدین منظور برای به حداقل رساندن این نوع حوادث ایجاد یک پایگاه داده جهت پایش مستمر گازخیزی و حوادث ناشی از گاز متان، نیازمند ملزومات بیشتر و تلاش مشترک دست اندرکاران این صنعت است.

مراجع

1- Y. K. Ma, B. Nie, X.q. He, X. C. Li, J.q. H, X. Li, J. q. M, D.zh. S, Mechanism investigation on coal and gas outburst: An overview, International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials.27 (2020), No. 7. P. 872.

2- Y. Zhu, D. Wang, Z. Shao, C. Xu, M. Li, and Y. Zhang, "Characteristics of methane-air explosions in large-scale tunnels with different structures," Tunnelling and Underground Space Technology, vol. 109, p. 103767, 2021.

3- Q.X. Yu, Study on the threshold gas pressure in coal and gas outburst, J. China Univ. Min. Technol., 1(1990), No. 1, p. 60.

4- Y.X. Cao, D.D. He, and D.C. Glick, Coal and gas outbursts in footwalls of reverse faults, Int. J. Coal Geol., 48(2001), No. 1- 2, p. 47.

5- Y.C. Cao, A. Davis, R.X. Liu, X.W. Liu, and Y.G. Zhang, The influence of techtonic deformation on some geochemical properties of Coals –A possible indicator of outburst potential, Int. J. Coal Geol., 53(2003), No.2, P. 69.

6- Q.T. Hu, Study on the Mechanical Mechanism of Coal and Gas Outburst and Its Application [Dissertation], China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing, 2007.

7- J.L. Cao and G. Fu, Statistical analysis of unsafe act reasons in coal and gas outburst accidents, Ind. Saf. Environ. Prot., 42(2016), No. 12, p. 37.

8- X.Q. He, E.Y. Wang, B.S. Nie, M.J. Liu, and L. Zhang, Electromagnetic Dynamics of Coal or Rock Rheology, Science Press, Beijing, 2003, p. 7.

9- Y. X. Cao, A. Davis, R. X. Liu, X.W. Liu, and Y.G. Zhang, The influence of tectonic deformation on some geochemical properties of coal- A possible indicator of outburst potential, Int. J. Coal Geol., 53(2003), No. 2, p. 69.

10- G. Zhang, Z.M. Zhang, and Y.X. Cao, Deformed-coal structure and control to coal–gas outburst, J. China Coal Soc., 32(2007), No. 3, p. 281.

11- H.J. Ji, Z.H. Li, Y.L. Yang, S.B. Hu, and Y.J. Peng, Effects of organic macromolecules in coal on its pore structure and gas diffusion characteristics, Transp. Porous Media, 107(2015), No. 2, p. 419.

12- Y.L. Yang, J.J. Sun, Z.H. Li, J.H. Li, X.Y. Zhang, L.W. Liu,D.C. Yan, and Y.B. Zhou, Influence of soluble organic matter on mechanical properties of coal and occurrence of coal and gas outburst, Powder Technol., 332(2018), p. 8.

13- Y.J. Dong, Y.Z. Han, Q.L. Hou, and J. Wang, Mechanochemistry mechanism of gas generation during coal deformation, J. China Coal Soc., 42(2017), No. 4, p. 942.

14- L. Shu, K. Wang, Q. G. Qi, S. Fan, L. Zhang, and X. Fan, "Key structural body theory of coal and gas outburst," Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, vol. 36, no. 3, pp. 347–356, 2017.

15- Q.T. Hu, S.N. Zhou, and X.Q. Zhou, Mechanical mechanism of coal and gas outburst process, J. China Coal Soc., 33(2008), No. 12, p. 1368.

16- Fan CJ, Li S, Luo MK et al (2017) Coal and gas outburst dynamic system. Int J Min Sci Technol 27(01):49–55.

17- Q. Zhang and S. He, "Study on Rock Burst Early Warning in the Working Face of Deep Coal Mines Based on the Law of Gas Emission", Advances in Civil Engineering Volume 2021.

18- J. P. Tang, S. L. Yang, Y. L. Wang, and J. Q. Lv, "Experiment of coal and gas outbursts underground stress and gas pressure in deep mines," Rock and Soil Mechanics, vol. 35, no. 10, pp. 2769–2774, 2014.

19- J. R. Wang, C. B. Deng, and H. Z. Deng, "Study on the microcosmic mechanism for coal-gas outbrust," Journal of China Coal Society, vol. 2, pp. 131–135, 2008.

20- Q. X. Qi, Y. W. Shi, and T. Q. Liu, "Mechanism of instability caused by viscous sliding in rock burst," Journal of China Coal Society, vol. 22, no. 2, pp. 144–148, 1997

21- Q. Zhang, C. L. Yang, X. C. Li, Z. B. Li, and Y. Li, "Mechanism and Classification of Coal and Gas Outbursts in China", Advances in Civil Engineering Volume 2021.

22- Z. F. Ma and Q. X. Yu, ", e pilot study on outburst mechanism for compression disseminated values of coal and gas out of control," Journal of China Coal Society, vol. 3, pp. 329–333, 2006.

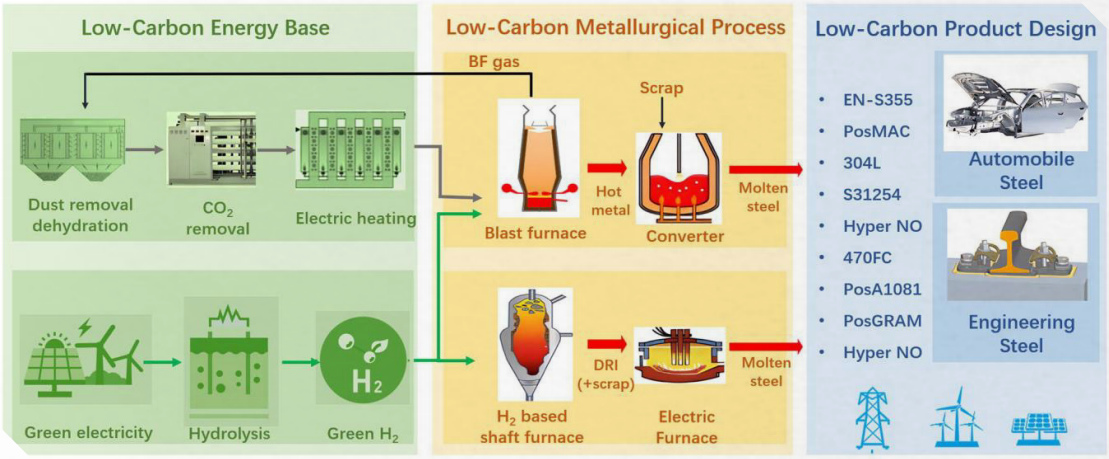
23- L. Xu, Ch. Fan, M. Luo, Sh. Li, J. Han, X. Fu, B. Xiao, "Elimination mechanism of coal gas outburst based on geo-dynamic system with stress-damage-seepage interactions", International Journal of Coal Science & Technology,10:74, 2023.

مروری بر تکنولوژی‌های احیا آهن
مبتنی بر هیدروژن

محمد رادپور

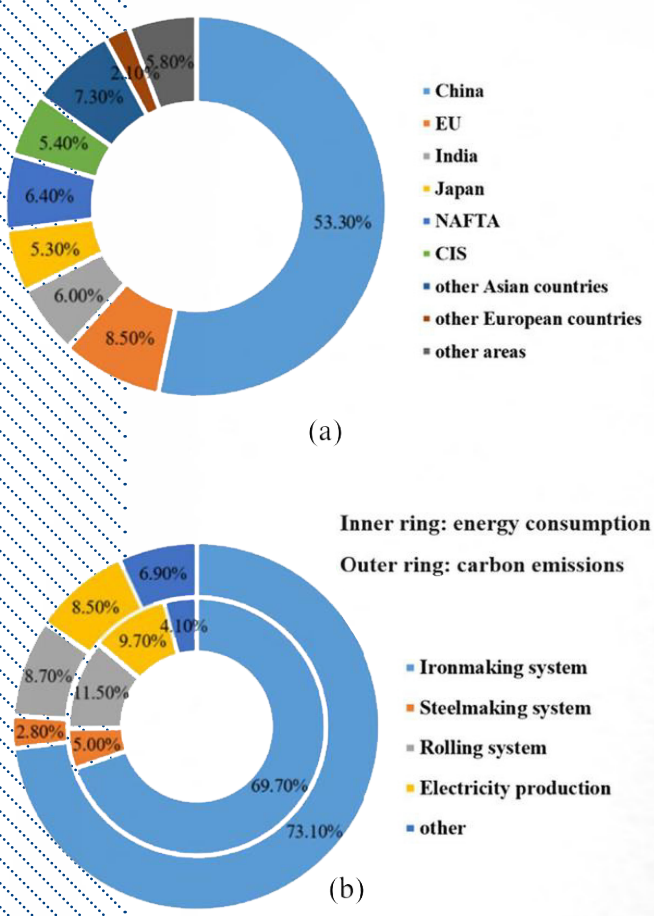
تکنولوژی‌های سنتی تولید آهن (شامل کک زنی، زینترسازی، گندله‌سازی و فرآیند تولید آهن به‌وسیله کوره بلند)، مشخصا برپایه کربن هستند که این صنعت را به یک عامل مهم در انتشار جهانی CO_2 تبدیل می‌کند. جایگزینی کربن با هیدروژن در فرآیندهای فولادسازی یک راه پایدار برای کاهش انتشار دی‌اکسید کربن است. در این تحقیق ابتدا ترمودینامیک احیا و سینتیک اکسید آهن توسط کربن و هیدروژن مقایسه شده‌است. سپس آخرین تحقیقات در مورد تکنولوژی‌های مختلف احیا هیدروژنی در صنعت آهن‌سازی مورد مقایسه و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. بر این اساس، مزایا و معایبی که احیا مبتنی بر هیدروژن نسبت به احیا مبتنی بر کربن با آن مواجه است، ارائه شده‌است. و در نهایت، مسیرهای ممکن برای توسعه آینده متالورژی احیا بر پایه هیدروژن پیشنهاد شده‌است، با این امید که راهنمایی برای احیا هیدروژنی در صنعت فولاد فراهم کند. محصول احیا متالورژیکی هیدروژنی، H_2O است و نسبت به احیای CO سرعت احیا بالاتری دارد. بنابراین، متالورژی هیدروژن به عنوان یک روش موثر برای دستیابی به تبدیل صنعت فولادبه صنعت سبز در نظر گرفته می‌شود.

شکل۱- چکیده گرافیکی



مقدمه

توسعه سریع صنعتی منجر به تشدید گرمایش جهانی هوای کره زمین شده‌است. غلظت گازهای گل‌خانه‌ای جهانی در سال ۲۰۲۰ به بالاترین حد خود رسید، با غلظت‌های CH_4، CO_2 و NO_X بالاتر از سطوح پیش صنعتی، به ترتیب ۱۴۹ ٪، ۲۶۲ ٪ و ۱۲۳ ٪ [۱ - ۳]. به عنوان مهم‌ترین گاز گلخانه ای، CO_2 به کانون توجه برای مدیریت انرژی و کاهش میزان انتشار تبدیل شده‌است [۴، ۶]. در سال ۲۰۲۱، انتشار جهانی CO_2 تا ۶ ٪ افزایش یافت و به ۳۶.۳ میلیارد تن رسید که از این مقدار، انتشار بواسطه مصرف انرژی تا ۷۳.۲ ٪ شامل تولید برق، گرما و حمل و نقل است [۷، ۸]. انتشار CO_2 صنعت فولاد حدود ۶.۷ درصد از نرخ جهانی را تشکیل می‌دهد و یک تن فولاد تولید شده از سنگ معدن ویرجین، ۱.۸ تن CO_2 [۹، ۱۰] را منتشر می‌کند. شکل ۱ توزیع تولید جهانی فولاد، و نسبت مصرف انرژی و انتشار کربن فرآیند فولادسازی در چین را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۱، تولید جهانی فولاد خام ۱.۹۵ میلیارد تن بود، با نرخ رشد ۳.۷ ٪ و در کشورچین بیش از ۵۰ ٪ با ۱۱.۹ میلیارد تن CO_2 محاسبه شد. ۳۳ ٪ از کل کربن جهان، آن را به بزرگ‌ترین منبع کربنی جهان تبدیل کرده‌است [۱۱، ۱۲].



شکل۲-a- نسبت‌های منطقه‌ای تولید جهانی فولاد خام در سال ۲۰۲۱؛ b- نسبت مصرف انرژی و انتشار کربن صنعت فولاد در چین

حدود ۸۰ درصد از انتشار CO_2 از صنعت فولاد از سیستم احیا آهن است. کوره بلند تولید آهن، مقادیر زیادی زغال‌سنگ را به عنوان سوخت و عامل احیا مصرف می‌کند که منجر به انتشار بیش از ۷۰ ٪ گاز CO_2 در صنعت فولاد می‌شود [۱۳، ۱۴]. انتشار کربن سیستم آهن‌سازی (شامل کک زنی، زینتر کردن، گندله‌سازی، و فرآیند آهن‌سازی کوره بلند)، ۸۲.۷۹ درصد از انتشار کل فرآیند تولید آهن و فولاد را تشکیل می‌دهد، که آهن‌سازی بوسیله کوره بلند ۶۷.۰۲ درصد، زینتراسیون ۸.۵۴ درصد و کک زنی ۶.۱۳ درصد آن را تشکیل می‌دهند [۱۵]. در نتیجه، تمرکز کربن زدایی در صنعت فولاد بر روی واحدهای کوره بلند است [۱۶، ۱۷]. روش‌های مختلفی برای تولید آهن وجود دارد از جمله کوره بلند، احیا مستقیم، احیا ذوبی، و غیره. اصل اساسی پشت تمام این روش‌ها، احیا سنگ معدن به آهن فلزی (شامل فلز داغ، آهن اسفنجی / آهن احیای شده مستقیم (DRI)با قرار دادن آن در یک جو ویژه از گازهای احیاکننده مانند CO، H_2 در دمای مناسب است. تولید آهن بوسیله کوره بلند فرآیندی است که شامل حرارت دادن مخلوطی از سنگ‌آهن، نفت، زغال‌سنگ، کک و دیگر مواد خام در یک کوره بلند برای گرفتن اکسیژن از اکسید آهن و تولید آهن فلزی است. تولید آهن بوسیله کوره بلند فرآیندی است که شامل حرارت دادن مخلوطی از سنگ‌آهن، نفت، زغال‌سنگ، کک و دیگر مواد خام در یک کوره بلند برای گرفتن اکسیژن از اکسید آهن و تولید آهن فلزی است. احیا مستقیم آهن فرآیندی است که شامل احیا گندله آهن برای به دست آوردن آهن فلزی در یک راکتور واکنش با استفاده از گاز یا عوامل کاهنده جامد در دمایی پایین‌تر از نقطه ذوب آهن است. از سوی دیگر، فرآیند احیا ذوبی، از زغال‌سنگ به عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند. در این فرآیند، احیای اکسید آهن در حالت ذوب دمای بالا رخ می‌دهد و آهن مذاب پس از جداسازی کامل آهن از سرباره تولید می‌شود. جدول ۱ مزایا و معایب روش‌های مختلف تولید آهن را نشان می‌دهد. در سال ۲۰۲۲، ۴۲۶ شرکت فولاد در چین ۴۲۳،۸۰۰ تن ذرات معلق، ۱۵۲،۲۰۰ تن SO_2 و ۳۵۲،۹۰۰ تن NOx منتشر کردند. این نشان‌دهنده ۶.۰۵ ٪ کاهش در انتشار ذرات و ۱۷.۵۵ ٪ و ۱۳.۷۱ ٪ کاهش در انتشار SO_2 و NOx در مقایسه با شرکت‌های با اندازه مشابه در سال ۲۰۲۱ است. این داده‌ها نشان می‌دهند که برای کربن زدایی صنعت فولاد در چین(که بزرگترین فولادساز جهان است) تغییر عمده در روش‌های آهن‌سازی ضروری است [۱۹].

هیدروژن به عنوان یک عامل احیایی پاک و حامل انرژی در حال ظهور، با منابع فراوان، بازدهی حرارتی بالا و چگالی انرژی بالا را دارد [۲۰]. همچنین قابل‌حمل، قابل ذخیره، و به طور بالقوه تجدید پذیر است، که نقش مهمی در تغییر ساختار انرژی جهانی آینده ایفا می‌کند [۲۱]. استراتژی‌های کاهش کربن براساس میزان سهولت اجرا، هزینه، و در دسترس بودن زیرساخت و منابع مورد نیاز، در حال پیشرفت مرحله به مرحله هستند. حفاظت از انرژی به عنوان مهم‌ترین معیار در نظر گرفته می‌شود و پس از آن جایگزینی جزئی زغال‌سنگ با زیست‌توده یا هیدروژن، توسعه فن‌آوری کوره بلند غنی از هیدروژن و بسط فرایندهای کاهش مستقیم / ذوب غیر کوره بلند مبتنی بر هیدروژن در حال حاضر روش مفاهیم تولید آهن و فولاد بر پایه عامل احیای هیدروژن شامل تکنولوژی کوره بلند غنی شده از گاز هیدروژن [۲۵و۲۶]،فرآیند احیای مستقیم بر پایه هیدروژن [۲۸و۲۷]،احیای ذوبی بر پایه هیدروژن [۲۹]،فولادسازی پلاسما بر پایه هیدروژن مطرح هستند.

این مقاله امکان‌سنجی نظری متالورژی هیدروژن را مرور خواهد کرد و فرآیندهای معمول متالورژی هیدروژن در جهان مقایسه خواهد شد. فرصت‌ها و چالش‌های توسعه متالورژی هیدروژن نیز مورد بحث قرار خواهد گرفت. در نهایت، جهت توسعه فن‌آوری تولید آهن برپایه هیدروژن پیش‌بینی شده‌است. هدف ارائه مرجعی برای تسریع تحقیق و توسعه متالورژی هیدروژن و ترویج فرآیند کم کربن صنعت آهن و فولاد جهانی است.

جدول ۱ مزایا و معایب روش‌های تولید آهن در جهان روش مزایا

روش	مزایا	معایب
کوره بلند	ظرفیت تولید بالا،سازگاری با گستره بالاتر از مواد خام	وابستگی شدید به منابع زغال سنگ و کک. آلودگی زیست محیطی جدی فرآیند تولید طولانی، میزان مصرف انرژی بالا
احیای مستقیم	استفاده از گاز طبیعی به عنوان تولید کننده عامل احیا و تولید کمتر کربن‌دی‌اکسید	استفاده از پودر سنگ آهن با کیفیت بالا استفاده ازگاز طبیعی با کیفیت بالا
احیای ذوبی	وابستگی کم به زغال سنگ / کک با کیفیت بالا سازگار با محیط زیست، انتشارات کم CO_2	عملکرد کم تجهیزات و راندمان پایین

استراتژی سوم، کنار گذاشتن کامل زغال‌سنگ با استفاده از هیدروژن به عنوان تنها عامل احیایی در راکتورهای بستر سیال یا شفت است. آهن‌سازی مبتنی بر هیدروژن که توسط برق تجدید پذیر یا هسته‌ای تولید می‌شود، به عنوان راه‌حل نهایی برای فولاد بدون کربن در حال ظهور است [۲۴].
انرژی هیدروژن یکی از پاک‌ترین و کم‌کربن ترین منابع است. این به یک موضوع مهم برای تولید فولاد کم کربن تبدیل شده‌است که در آن هیدروژن برای جایگزینی کربن استفاده می‌شود. متاسفانه امکان ترجمه این جمله وجود ندارد. لطفا جمله مبدا را اصلاح کنید. متاسفانه امکان ترجمه این جمله وجود ندارد. لطفا جمله مبدا را اصلاح کنید.

رفتار احیایی اکسید آهن با کربن و هیدروژن:

فرآیند احیا اکسید آهن با استفاده از عامل احیای مبتنی بر کربن یا هیدروژن پیچیده است. اگرچه مکانیزم واکنش نسبتا ساده است، اما فرآیند واکنش احیا به دلیل تغییرات در پارامترهای فرآیند، محیط واکنش و انواع واکنش، دست‌خوش تغییرات پیچیده‌ای می‌شود. با انجام تجزیه و تحلیل ترمودینامیکی و سینتیکی فرآیند واکنش احیا، می توان یک فرآیند واکنش احیا هیدروژنی موثرتر طراحی کرد که منجر به بهبود مزایای اقتصادی می‌شود.

ملاحظات ترمودینامیکی

فرآیند ذوب، به دست آوردن مذاب فلز با دما و ترکیب مورد نیاز از سنگ معدن آهن از نظر اقتصادی است. تحت شرایط کم‌ترین مصرف انرژی ممکن، فرایندهای احیا، سرباره گیری، انتقال حرارت، و واکنش سرباره - آهن به طور موثری از طریق جریان متقابل کنترل‌شده بار و گاز کنترل می‌شوند [۳۲، ۳۳]. متالورژی کربن شامل تبدیل کربن جامد (زغال‌سنگ، کک و غیره)به CO تحت شرایط احتراق ناقص برای یک واکنش احیا است، در حالی که هیدروژن گازی به طور مستقیم در واکنش احیا بدون هیچ تبدیلی شرکت می‌کند. متالورژی کربن نه تنها مقدار زیادی CO_2 تولید می‌کند بلکه آلاینده‌های دیگری مانند NO_X، SO_X و دی اکسین ها را آزاد می‌کند که با احتراق زغال‌سنگ / کک مرتبط هستند. در مقابل، احیای هیدروژن برای تولید می‌تواند در هماهنگی با طبیعت همسو باشد [۳۴].

دو دمای مهم برای H_2 و CO برای احیا اکسید آهن وجود دارد، که به ترتیب ۵۷۰ و ۸۲۰ درجه سانتی گراد هستند، همانطور که در شکل نشان‌داده شده‌است.

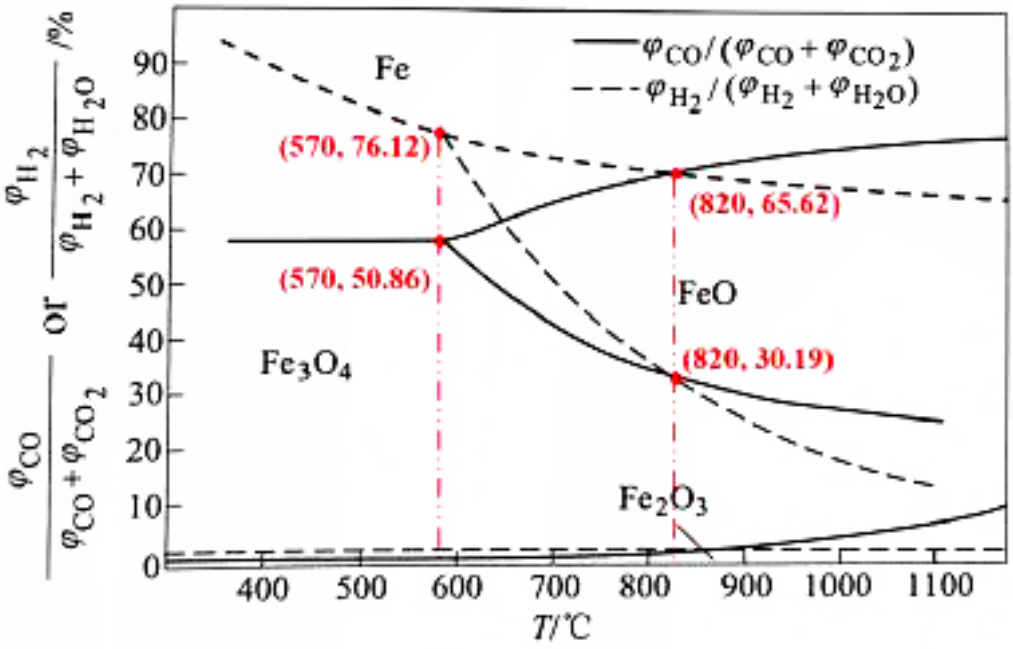
دو دمای مهم برای H_2 و CO برای احیا اکسید آهن وجود دارد، که به ترتیب ۵۷۰ و ۸۲۰ درجه سانتی گراد هستند، همانطور که در شکل 2نشان‌داده شده‌است.

FeO کم‌تر از ۵۷۰ درجه وجود ندارد و Fe_3O_4به طور مستقیم به آهن فلزی احیا می‌شود. احیا توسط CO یک واکنش گرمازا است، در حالی که احیای H_2 گرماگیر است. بالاتر از ۵۷۰ درجه سانتی گراد، اولین مرحله کاهش (Fe_2O_3-Fe_3O_4) نیاز به اتمسفر احیایی ضعیف دارد و می‌تواند به عنوان یک واکنش برگشت‌ناپذیر در نظر گرفته شود [۳۵]. برای مرحله دوم (FeO- Fe_3O_4)، احیا توسط هر دو CO و H_2 گرماگیر است. مرحله سوم (FeO - Fe) که سخت‌ترین مرحله واکنش‌ها است، به شرایط احیایی قوی نیاز دارد. احیای ووستیت توسط H_2 نیز یک واکنش گرماگیر است، در حالی که با گاز CO گرمازا است [۳۶، ۳۷]. بالاتر از ۸۲۰ درجه سانتیگراد، پتانسیل احیا H_2بالاتر از CO است، که به لطف رفتار سینتیکی بهتر آن و واکنش انتقالی آب - گاز، واکنش (۹)در جدول ۲ است. اگر گازهای تولید شده در فرآیند احیا مجبور به خروج از سیستم نشوند، واکنش‌ها می‌توانند به دلیل افزایش غلظت و متوقف شوند. به طور خاص، معتقدند که بخار آب به آسانی به سطح اکسیدها جذب می‌شود، مانع از دسترسی گاز احیا کننده و کند شدن واکنش‌ها می‌شود [۴۰،۴۱]. اثرات حرارتی احیای اکسید آهن، مصرف انرژی با کاهش CO کم‌تر ازH_2 است که به CO مزیت انرژی می‌دهد. به طور کلی، با تغییر عامل احیایی از CO به H_2 منجر به افزایش تقاضای انرژی در حدود ۹۰۰ kJ / kg Fe می‌شود.

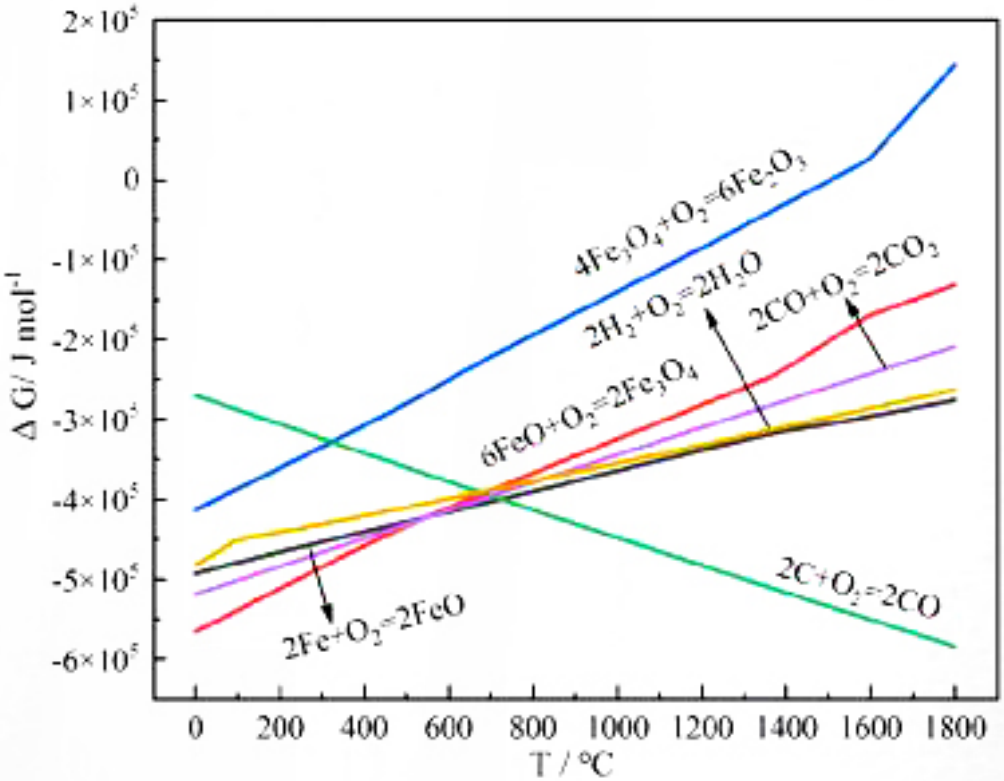
جدول ۲ پارامترهای ترمودینامیکی واکنش برای احیا گازی اکسید آهن [۲۹، ۳۱]

No	Reaction	$\Delta_r G_m^\theta$ J/mol	K
1	$3Fe_2O_{3(S)} + CO_{(g)} = 2Fe_3O_{4(S)} + CO_{2(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = -41.00T - 53131$	$lgK = 2726/T + 2.144$
2	$Fe_3O_{4(S)} + CO_{(g)} = 3FeO_{(S)} + CO_{2(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = -40.16T - 35380$	$lgK = -1373/T - 0.341lgT + 0.41 - 10^{-3}T + 2.303$
3	$\frac{1}{4}Fe_3O_{4(S)} + CO_{(g)} = \frac{3}{4}Fe_{(S)} + CO_{2(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = 8.58T - 9382$	$lgK = -2426/T - 0.99T$
4	$FeO_{(S)} + CO_{(g)} = Fe_{(S)} + CO_{2(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = 24.60T - 22800$	$lgK = 688/T - 0.9$
5	$3Fe_2O_{3(S)} + H_{2(g)} = 2Fe_3O_{4(S)} + H_2O_{(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = -111.42T - 41425$	$lgK = -131/T + 4.42$
6	$Fe_3O_{4(S)} + H_{2(g)} = 3FeO_{(S)} + H_2O_{(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = -69.16T - 66105$	$lgK = -3410/T + 3.61$
7	$\frac{1}{4}Fe_3O_{4(S)} + H_{2(g)} = \frac{3}{4}Fe_{(S)} + H_2O_{(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = -25.94T + 29700$	$lgK = -3110/T + 2.72T$
8	$FeO_{(S)} + H_{2(g)} = Fe_{(S)} + H_2O_{(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = -11.6T + 17580$	$lgK = -1225/T + 0.845$
9	$CO_{2(g)} + H_{2(g)} = CO_{(g)} + H_2O_{(g)}$	$\Delta_r G_m^\theta = -26.8T + 29490$	$lgK = 1951/T - 1.469$
10	$2CO_{(g)} = CO_{2(g)} + C_{(s)}$	$\Delta_r G_m^\theta = 174.47T - 166550$	$lgK = 8698.5/T - 8.931$

شکل۲-aدیاگرام پایداری آهن و اکسید آهن در حضور CO/CO_2 و -H_2/H_2O
شکلb دیاگرام پتانسیل اکسیژن برای واکنش اکسیداسیون آهن



(a)



(b)

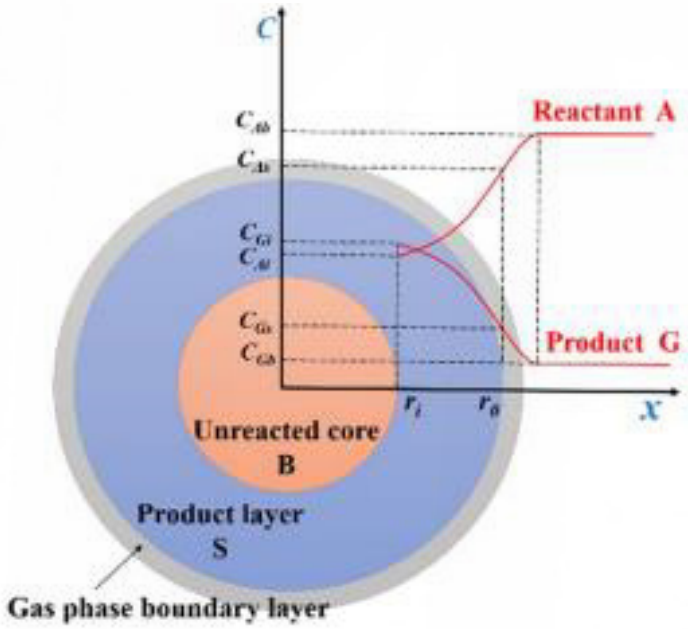
ملاحظات سینتیکی

مدل‌های موجود برای توصیف واکنش گاز - جامد عمدتا شامل تئوری جذب اتوکاتالیز، تئوری نفوذ فاز جامد و تئوری مدل هسته کوچک شونده می‌باشند. مطالعات سینتیکی در مورد احیا اکسید آهن توسط CO و H_2 به طور معمول توسط مدل هسته کوچک شونده توضیح داده می‌شود، که در شکل نشان‌داده شده‌است. مطالعات سینتیکی در مورد احیا اکسید آهن توسط CO و H_2 به طور معمول توسط مدل هسته کوچک شونده توضیح داده می‌شود، که در شکل۳ نشان‌داده شده‌است. در این مدل، ذرات اکسید آهن،که به صورت کروی در نظر گرفته می‌شوند، در تماس با گاز احیا می‌شوند، و یک محصول واکنش را بر روی سطحی که با پیشرفت احیا به داخل حرکت می‌کند، به جای می‌گذارند.

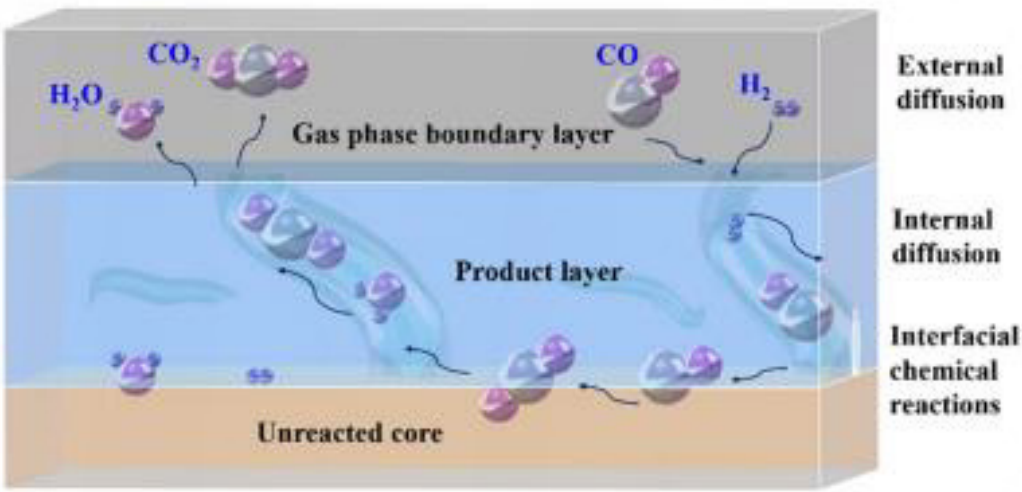
از نقطه‌نظر سینتیکی، احیا اکسید آهن با H_2 سریع‌تر از کاهش با CO است. زوو و همکاران ۴۶ رفتار احیا گندله‌های هماتیت در مخلوط های گازی مختلف در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد را مورد مطالعه قرار داد. این پارامترها براساس مدل هسته کوچک شونده شامل احیا داخلی، نفوذ از تخلخل و انتقال جرم گاز - فیلم تعیین شدند. نتایج در شکل۴ نشان‌داده شده‌اند. که در آن t۱ نشان‌دهنده زمان کل احیا در زمانی است که نرخ احیا تنها با نفوذ از خارجی کنترل می‌شود، و F نشان‌دهنده نسبت زمان به کل زمان واکنش است. در حضور CO، ضریب انتشار موثر به شدت کاهش می‌یابد. به طور کلی، H_2 همیشه نرخ احیا بالاتری نسبت به CO دارد، به خصوص بین ۷۰۰ و ۹۰۰ درجه سانتی گراد. با افزایش دما، اختلاف در نرخ احیا به دلیل انرژی فعال‌سازی هیدروژن کم‌تر می‌شود [۴۷].

نفوذ گاز به دما و خواص فیزیکی مخلوط گاز و گونه‌های نفوذی مانند ویسکوزیته، اندازه مولکولی و فشار بستگی دارد [۴۸ -۵۰]. هر چه دما بالاتر باشد، حرکت مولکول‌های گاز سریع‌تر خواهد بود.

شکل ۳ - a تصویر شماتیک از فرآیند مدل هسته‌ای کوچک شونده؛ b دیاگرام میکروسکوپی فرآیند مدل هسته‌ای کوچک شونده



(a)



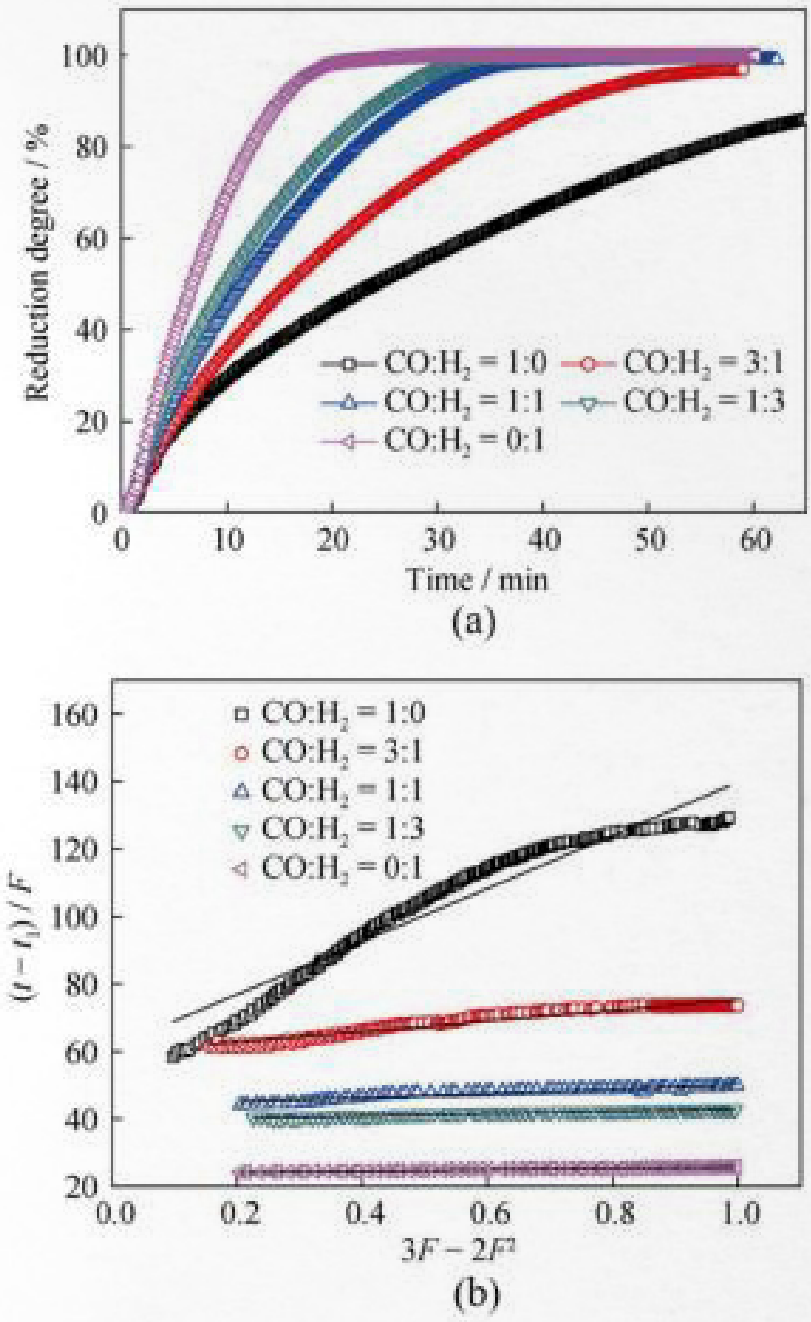
(b)

در مقایسه با CO، هیدروژن ویسکوزیته و مولکول کوچکتری دارد، بنابراین ضریب انتشار بالاتری دارد. در نتیجه، نرخ فازگازی انتقال جرم برای هیدروژن ۵ الی ۶ برابر بیشتر از CO تخمین زده می‌شود [۵۱، ۵۲].

ثوابت سرعت واکنش برای H_2 و CO در دمای ۸۰۰ تا ۹۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۰.۰۱ تا ۰.۰۲ s - ۱ و ۰.۰۰۱ تا ۰.۰۰۲ s - ۱ است [۵۱]. ضریب نفوذ موثر H_2 در حضور CO به شدت کاهش می‌یابد.

وضعیت تکنولوژیکی احیا هیدروژنی در صنعت فولاد

متالورژی هیدروژن مفهومی است که در قرن گذشته مطرح شد و جایگزین کربن با هیدروژن برای احیا اکسید آهن شد. این روش ابتکاری تولید فولاد به طور کامل آلاینده‌ها و انتشار CO_2را از منبع حذف می‌کند و مهم‌ترین رویکرد برای دستیابی به انتشار کربن صفر در نظر گرفته می‌شود. در سراسر جهان، محبوبیت فرآیندهای متالورژی هیدروژن مبتنی بر کوره‌های شفت و استفاده از فن‌آوری غنی از هیدروژن مبتنی بر کوره بلند در حال افزایش است، زیرا آن‌ها تکنیک‌های تولید فولاد پاک و پیشرو هستند.



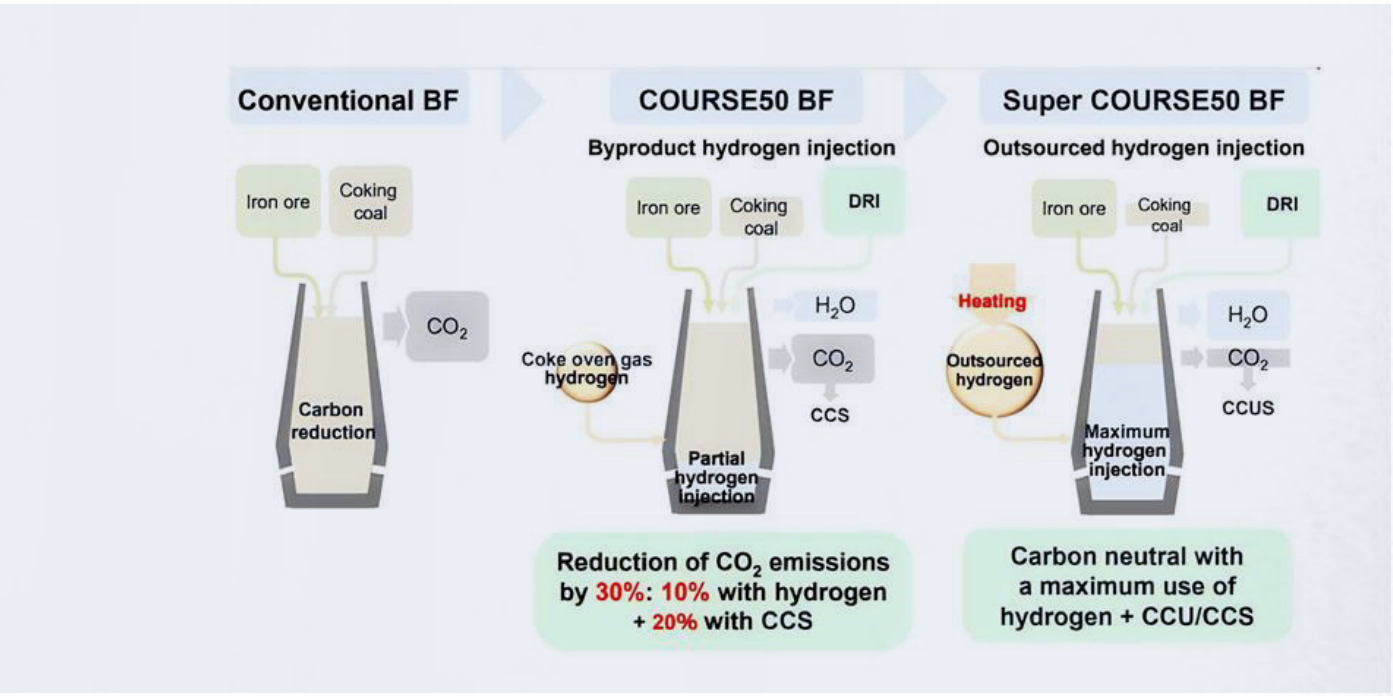
شکل۴-a تغییر درجه احیا با کاهش زمان تحت مقادیر متفاوت CO_2 / H در ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد b- رابطه $(t-t_1)/F$ و $3F-2F^2$

توسعه تکنولوژی‌های احیا مبتنی بر هیدروژن

احیا کامل CO_2 در فرآیند فولادسازی ی برای (COURSE50) در ژاپن

دی اکسید کربن حاصل از صنعت فولاد در ژاپن ۱۲٫۴ درصد از انتشار گازهای گلخانه ای کشور را در سال ۲۰۲۰ به خود اختصاص داده است. به عنوان یکی از طولانی ترین برنامه‌های کربن زدایی، ژاپن یک آهن‌سازی هماهنگ با محیط زیست، COURSE50، را برای دستیابی به کاهش انتشار CO_2 موثرتر راه اندازی کرده است[۵۳, ۵۴]. طرح کلی فولادسازی کاهش انتشار نهایی CO_2 توسط پروژه COURSE50 در شکل ۵ نشان داده شده است. این تحقیق عمدتاً بر دو حوزه متمرکز شده است۱)احیا مستقیم سنگ معدن آهن با هیدروژن همراه با بهبود در مسیر مرسوم کوره بلند، با هدف دستیابی به کاهش ۱۰ ٪ CO_2.

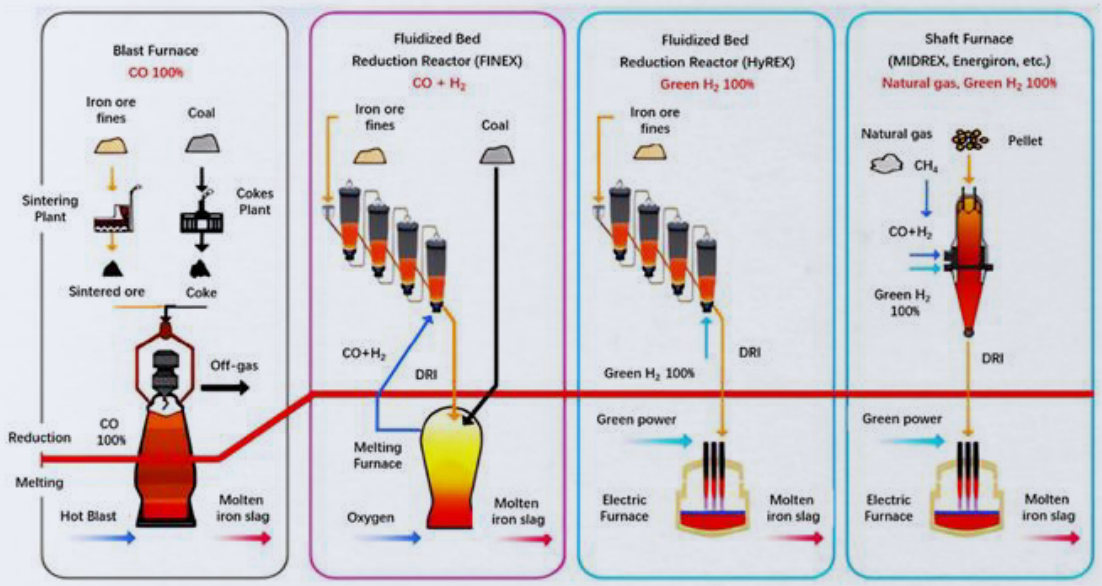
برخی از فن آوری‌های پیشنهادی شامل استفاده از هیدروژن برای احیا مستقیم سنگ آهن، فناوری ارتقاء گاز کوره کک برای افزایش محتوای هیدروژن، تولید کک با مقاومت بالا و واکنش پذیری بالا می باشد. ۲) جداسازی و بازیابی CO_2 از گاز کوره بلند، برای کاهش انتشار CO_2 تا ۲۰٪.



شکل۵ -مقایسه کوره بلند معمولی، برنامه COURSE50 و superCOURSE50 [۳۷]

فرآیند احیا هیدروژنی POSCO در کشور کره

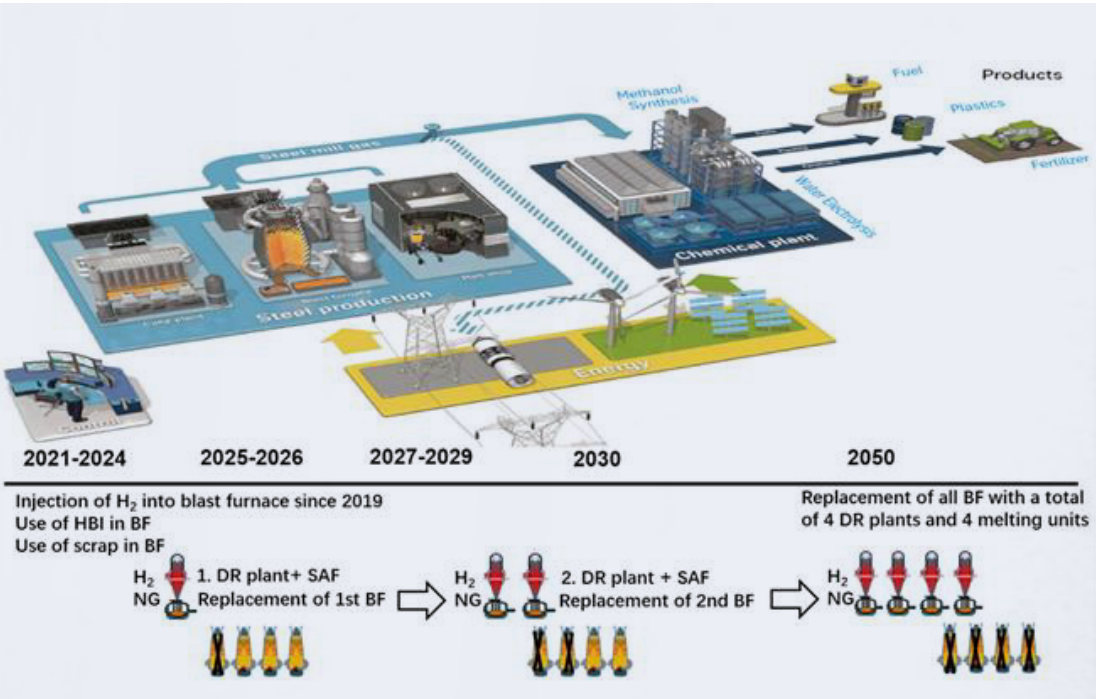
POSCO شروع به توسعه VHTR (راکتور با دمای بسیار بالا) و SMART (راکتور پیشرفته مدولار یکپارچه سیستم) در می ۲۰۱۰ کرد [۵۵، ۵۶]. چهار مسیر فنی برای کاهش انتشار CO_2 تا بیش از ۱۵٪ استفاده می شود. (۱) فناوری تقویت محتوی هیدروژن: محتوای هیدروژن در گاز کوره کک پس از اصلاح افزایش می یابد تا نیازهای کاهش مبتنی بر هیدروژن کوره بلند برآورده شود. (۲) بهبود عملیات موجود با تزریق H_2 به کوره بلند. گاز کوره کک (COG) و گاز طبیعی تولید شده در فرآیند تولید کک استفاده می‌شود و H_2 برای کنترل دما و جلوگیری از اکسیداسیون در فرآیند تولید فولاد استفاده می شود. علاوه بر این، استفاده کامل از ضایعات قابل بازیافت، استفاده از فناوری CCUS، استفاده از اکسیژن خالص به جای هوای پیش گرمایش سنتی، استفاده از گلوله‌های قلیایی منیزیم، و کک- آهن بسیار واکنش‌پذیر، راه‌های عملی برای کاهش کک هستند[۵۷]. (۳) توسعه مواد برای جابجایی هیدروژن مانند مواد اولیه فوق العاده مقاوم در برابر حرارت و فوق العاده مقاوم در برابر خوردگی: لازم است ابتدا مواد بسیار مقاوم در برابر خوردگی با درجه حرارت بالا ایجاد شود که بتوان از آنها در تحویل و ذخیره‌سازی استفاده کرد.استفاده از هیدروژن با دمای بالا، فشار بالا .(۴) تولید DRI مبتنی بر هیدروژن و به دنبال آن ذوب آن در کوره‌های الکتریکی جایگزین ضایعات درجه بالا می شود. POSCO در حال حاضر در حال بهره برداری از تاسیسات FINEX است که از گاز احیا کننده حاوی ۲۵٪ هیدروژن استفاده می کند و در حال توسعه یک مدل جدید کاهش هیدروژن به نام (HyREX) برای ساخت DRI است. شکل ۶ مقایسه کوره بلند، FINEX، HyREX و سایر فرآیندهای احیای مستقیم کوره شفت را نشان می دهد [۵۸].



شکل ۶ مقایسه کوره بلند، FINEX، HyREX، و سایر فرآیندهای احیای مستقیم کوره شفت [۴۰]

پروژه آهن‌سازی مبتنی بر هیدروژن ThyssenKrupp در آلمان

ThyssenKrupp آزمایش هایی را برای استفاده از هیدروژن و انرژی سبز برای تولید فولاد در نوامبر ۲۰۱۹ با نام تجاری "۲٫۰ BF" [۵۹-۶۱] راه اندازی کرده است. شکل ۷ نقشه راه توسعه متالورژی هیدروژن ThyssenKrupp را نشان می‌دهد. ThyssenKrupp قصد دارد یک کارخانه احیا مستقیم آهن را در Duisburg در سال ۲۰۲۵ با ظرفیت سالانه ۱٫۲ میلیون تن احداث کند. هدف کاهش در انتشار گازهای گلخانه ای به میزان۳۰٪ تا سال ۲۰۳۰ است. مسیر فنی متالورژی هیدروژن ابتدا تزریق هیدروژن به کوره بلند و سپس جایگزینی تدریجی کوره بلند با فناوری احیا مستقیم (DR) است. گازهای خروجی کارخانه فولاد حاوی مواد خام شیمیایی با ارزشی مانند کربن به شکل CO و CO_2 و همچنین N و H هستند. در برنامه ThyssenKrupp از این مواد برای تولید گاز سنتز و همچنین مواد شیمیایی مانند آمونیاک، متانول، پلیمرها استفاده می شود.



شکل ۷ -نقشه راه تولید فولاد هیدروژنی ThyssenKrupp

فرصت ها و چالش‌های متالورژی هیدروژن در صنعت فولاد

کاهش انتشار کربن بسیار مهم است و رسیدگی به مشکل انرژی کلید دستیابی به این هدف است. برای دستیابی به فرآیند کم کربن، صنعت فولاد باید رویکردی را اتخاذ کند که شامل تنظیم ساختار انرژی با جایگزینی کربن با هیدروژن باشد. اصلاح فرآیند متالورژی هیدروژن در کل زنجیره صنعت انرژی هیدروژن توجه را به خود جلب کرده است و منجر به پیشرفت‌هایی در فناوری‌های تولید، ذخیره و حمل و نقل هیدروژن شده است. کشف مزایا و چالش‌های توسعه فناوری‌های جدید متالورژی مبتنی بر هیدروژن ضروری است.

جدول۳- فرآیند کوره شفت احیای مستقیم مبتنی بر هیدروژن معمولی

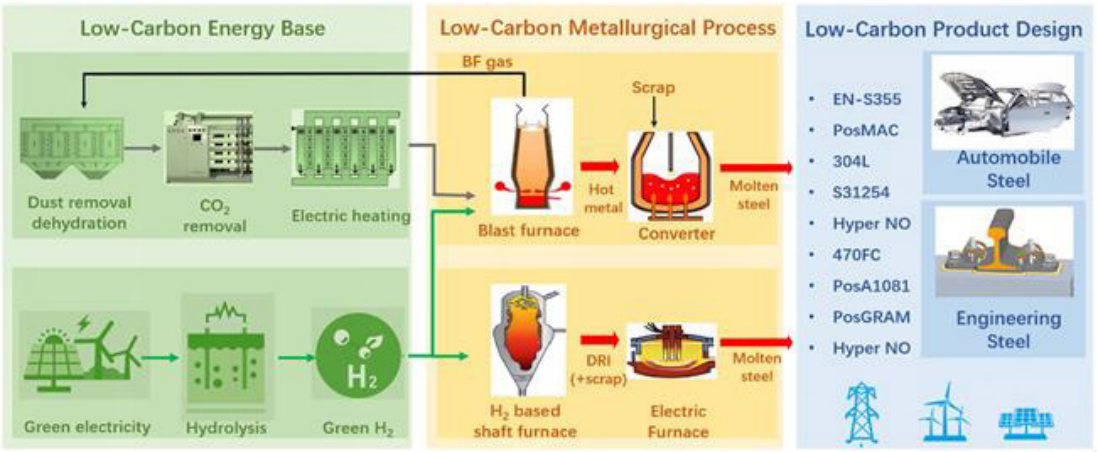
Technology	Market share (%)	Gas supply temperature (°C)	Pressure (Mpa)	Gas supply (H/CO)	Gas supply (Nm^3/t pellet)
MIDREX	60.5	750~900	0.2 ~ 0.3	<2	~1400
ENERGIRON	13.2	960~1080	0.6~0.8	4 ~ 8	>1400
PERED	2.1	~850	0.2	1.5 ~ 2.5	1600
CSDRI	–	820~880	0.5 ~ 0.7	1.5 ~ 2.5	700 ~ 900
HYBRIT	–	1000	0.6~0.8	Pure H_2	>1400

مزایای متالورژی هیدروژن

شکل ۸ نمودار جریان متالورژی آهن و فولاد کم کربن مبتنی بر هیدروژن را نشان می دهد. از منظر انرژی، کاهش اکسیدهای آهن با هیدروژن می تواند مصرف کربن را کاهش دهد. خلوص آهن مذاب را می‌توان با کاهش آلودگی ناشی از سوخت‌ها (کک، زغال‌سنگ) بهبود بخشیده و در نتیجه یک ترکیب شیمیایی منسجم از آهن مذاب ایجاد می‌شود. علاوه بر این، جایگزینی C با H می تواند نسبت سوخت را کاهش دهد، حجم سرباره و مصرف فلاسک را کاهش دهد. از طریق تجزیه و تحلیل رفتار جنبشی H_2 ، اکسیدهای آهن را سریع‌تر از CO کاهش می دهد، که می تواند نرخ کاهش و بهره‌وری را بهبود بخشد و احیا غیرمستقیم را هنگام استفاده در کوره بلند تسریع کند. علاوه بر این، با هیدروژن، کنترل محتوای کربن فولاد آسان تر است، با حداقل نیاز به فرآیندهای کربن زدایی. از این رو سرمایه و هزینه‌های عملیاتی کمتر مرتبط با فولادسازی مورد انتظار است.در کارخانه‌های تولید فولاد مبتنی بر هیدروژن در آینده، هزینه‌های عملیاتی و سرمایه ای با کارخانه‌های سنتی متفاوت خواهد بود. زینتراسیون، کک‌سازی و امکانات مرتبط با آنها منسوخ خواهند شد، در حالی که تولید و جابجایی هیدروژن بسیار مهم خواهد بود. طراحی و شرایط عملیاتی راکتورهای H_2 با شرایط کوره بلند متفاوت خواهد بود که منجر به تغییرات قابل توجهی در فرآیندهای فولادسازی می‌شود. این شامل بازنگری در کنترل کربن، مقدار سرباره و مواد شیمیایی و همچنین تامین گرما (گرمایش الکتریکی) است. اثرات اینها بر اقتصاد هنوز به طور کامل تجزیه و تحلیل یا گزارش نشده است.

برای کوره بلند، تزریق هیدروژن برای جایگزینی بخشی از زغال‌سنگ پودر شده می‌تواند شرایط کوره را بهبود بخشد و تولید زغال‌سنگ پودر نشده نسوخته

را کاهش دهد [۸۱]. نفوذپذیری گاز شارژ را می‌توان بهبود بخشد، که ممکن است دمای ذوب شروع بار را افزایش دهد و موقعیت مناطق نرم شدن و ذوب را کاهش دهد. به طور خاص، هنگام استفاده از روش تزریق گاز کوره کک برای ذوب غنی از هیدروژن، غلظت گاز احیا در کوره افزایش می‌یابد که سرعت احیا بار کوره را تسریع می‌کند. این پیشرفت تکنولوژیکی منجر به کاهش ۱۵ درصدی نسبت کک و کاهش ۹ درصدی انتشار کربن شده است.



شکل ۱۱ -نمودار جریان متالورژی آهن و فولاد کم کربن مبتنی بر هیدروژن

چالش‌های متالورژی هیدروژن

تراکم یا چسبندگی ذرات سنگ آهن در فرآیند احیای مستقیم مبتنی بر هیدروژن یک عامل مهم موثر بر راندمان تولید است. در منطقه گرمای موضعی بیش از حد، کانی‌های مخلوط با نقطه ذوب پایین نرم می‌شوند و به یکدیگر متصل می‌شوند و یک واکنش جامد بین گانگ و FeO فاز مایع تولید می‌کند که منجر به پیوند می‌شود. بنابراین، احیای مستقیم مبتنی بر هیدروژن نیاز به عیار سنگ معدنی بالاتر و تا حد ممکن محتوای گانگ کم دارد. با استخراج تدریجی سنگ آهن، سنگ آهن با عیار بالا کمیاب است و پشتیبانی از توسعه تولید DRI در مقیاس بزرگ را دشوار می کند. علاوه بر این، یک سیاست اقتصادی بر مبنای هیدروژن و زیرساخت برای حمایت از مقادیر قابل توجهی که برای مقیاس صنعتی به بزرگی فولادسازی مورد نیاز است، در حال حاظر دست نیافتنی است. تولید کنونی هیدروژن تقریباً به طور کامل مبتنی بر استفاده از سوخت‌های فسیلی به عنوان منبع اولیه انرژی است که هدف حرکت به سمت فناوری‌های کم کربن را ناکام می‌گذارد [۸۲]. هزینه هیدروژن سبز حاصل از الکترولیز آب ۲ تا ۳ برابر گاز کوره کک و طبیعی اصلاح شده است. شرکت‌های آهن و فولاد تنها در صورتی پایه و اساس توسعه متالورژی هیدروژن را دارند که هیدروژن ارزان و فراوان در دسترس باشد [۸۰]. چالش بعدی برای طرح متالورژی هیدروژن ذخیره، انتقال و استفاده از گازهای غنی از هیدروژن است. دمای مایع شدن هیدروژن بسیار کمتر از سایر گازها است و مقدار قابل توجهی انرژی مصرف می‌کند[۸۳]. یکپارچگی تأسیسات انتقال گاز، مواد سازگار با هیدروژن و بخار آب در دماها و فشارهای بالا، و اقدامات ایمنی در مورد استفاده از هیدروژن باید قبل از اینکه استفاده از هیدروژن گسترده شود، راه حل‌های مناسب پیدا کند.

منابع:

44(5):3865–3882

43.Mondal K, Lorethova H, Hippo E, Wiltowski T, Lalvani S (2004) Reduction of iron oxide in carbon monoxide atmosphere—reac- tion controlled kinetics. Fuel Process Technol 86(1):33–47

44.Barde AA, Klausner JF, Mei R (2016) Solid state reaction kinetics of iron oxide reduction using hydrogen as a reducing agent. Int J Hydrogen Energy 41(24):10103–10119

45.Zhang X (2022) Kinetic analysis of iron ore powder reaction with hydrogen-carbon monoxide. J Miner Metall Mater 29:1882–1890

46.Zuo H-b, Wang C, Dong J-j, Jiao K-x, Xu R-s (2015) Reduction kinetics of iron oxide pellets with H2 and CO mixtures. Int J Miner Metall Mater 22(7):688–696

47.Aidin H, Niusha N, Mikko I, Timo F (2021) A review on the kinetics of iron ore reduction by hydrogen. Materials

14(24):7540–7540

48.Li ZZTCWZW (2022) Direct reduction swelling behavior of pel- lets in hydrogen-based shaft furnaces under typical atmospheres. J Miner Metall Mater 29:1891–1900

49.Metolina P, Ribeiro TR, Guardani R (2022) Hydrogen-based direct reduction of industrial iron ore pellets: statistically designed experiments and computational simulation. Int J Miner Metall Mater 29:1908–1921

50.Thomas W, Daniel S, Johannes S (2022) Using iron ore ultra-fines for hydrogen-based fluidized bed direct reduction—a mathemati- cal evaluation. Materials 15:1

52.Pineau A, Kanari N, Gaballah I (2007) Kinetics of reduction of iron oxides by H2: Part II. Low temperature reduction of magnet- ite. Thermochim Acta 456(2):75–88

53.Ueno H, Endo S, Tomomura S, Ishiwata N (2015) Outline of CO_2 ultimate reduction in steelmaking process by innovative technol- ogy for cool earth 50 (COURSE50 project). J Jpn Inst Energy

94:1277–1283

54.TonomuraS(2013) Outlineofcourse50.EnergyProc

37:7160–7167

55.Quader MA, Ahmed S, Ghazilla RAR, Ahmed S, Dahari M (2015) A comprehensive review on energy efficient CO_2 breakthrough technologies for sustainable green iron and steel manufacturing. Renew Sustain Energy Rev 50:594–614

56.Zhang N, Zhou P, Choi Y (2013) Energy efficiency, CO_2 emission performance and technology gaps in fossil fuel electricity gen- eration in Korea: a meta-frontier non-radial directional distance functionanalysis. Energy Policy 56:653–662

57.Choi J, Cho H, Yun S, Jang M-G, Oh S-Y, Binns M et al (2019) Process design and optimization of MEA-based CO_2 capture pro- cesses for non-power industries. Energy 185:971–980

58.Jeong S-J (2015) System dynamics approach for the impacts of FINEX technology and carbon taxes on steel demand: case study of the POSCO. Int J Precis Eng Manuf Green Technol 2:85–93

59.Ariyama T, Takahashi K, Kawashiri Y, Nouchi T (2019) Diver- sification of the ironmaking process toward the long-term global goal for carbon dioxide mitigation. J Sustain Metall 5(3):276–294

60.Tang J, Chu M-s, Li F, Feng C, Liu Z-g, Zhou Y-s (2020) Devel- opment and progress on hydrogen metallurgy. Int J Miner Metall Mater 27(6):713–723

61.Bhaskar A, Assadi M, Nikpey SH (2020) Decarbonization of the iron and steel industry with direct reduction of iron ore with green hydrogen. Energies 13(3):758

62.Ren L, Zhou S, Peng T, Ou X (2021) A review of CO_2 emissions reduction technologies and low-carbon development in the iron and steel industry focusing on China. Renew Sustain Energy Rev

143:110846

63.Lin Y, Yang H, Ma L, Li Z, Ni W (2021) Low-carbon development for the iron and steel industry in China and the world: status quo, future vision, and key actions. Sustainability 13:12548

64.Zhao J, Zuo H, Wang Y, Wang J, Xue Q (2020) Review of green and low-carbon ironmaking technology. Ironmaking Steelmaking

47(3):296–306

65.Pei M, Petäjäniemi M, Regnell A, Wijk O (2020) Toward a fossil free future with HYBRIT: development of iron and steelmaking technology in Sweden and Finland. Metals 10(7):972

66.Varling AS, Christensen TH, Bisinella V (2023) Life cycle assess- ment of alternative biogas utilisations, including carbon capture and storage or utilisation. Waste Manag 157:168

67.ArcelorMittal (2019) World first for steel: ArcelorMittal investi- gates the industrial use of pure hydrogen-ArcelorMittal. https:// corporate. arcelormittal.com/news-and-media/ news/2019/mar/

28-03-2019

68.Langner AL, L (2019) ArcelorMittal (2023) The carbon reduc- tion potential of hydrogen in the low carbon transition of the iron and steel industry: the case of China. Renewable and Sustainable Energy Reviews 171 in Hamburg. https://corporate.arcelormittal. com/ news-andmedia/news/2019/sep/16-09-2019

69.Vaughan A (2019) Zero carbon's hard problem. New Sci

244(3256):38–41

70.Kar SK, Sinha ASK, Harichandan S, Bansal R, Balathanigaimani MS (2022) Hydrogen economy in India: a status review. Wiley Interdiscipl Rev 1:e459

71.Buergler T, Prammer J (2019) Hydrogen steelmaking: technology options and R&D projects. BHM 164(11):447–451

72.Wang Y, Zuo H, Zhao J (2020) Recent progress and develop- ment of ironmaking in China as of 2019: an overview. Ironmaking Steelmaking 47(6):640–649

73.Li J, Kuang S, Jiao L, Liu L, Zou R, Yu A (2022) Numerical mod- eling and analysis of hydrogen blast furnace ironmaking process. Fuel 323:1243681–1243716

74.Nishioka K, Ujisawa Y, Tonomura S, Ishiwata N, Sikstrom P (2016) Sustainable aspects of CO_2 ultimate reduction in the steel- making process (COURSE50 project), part 1: hydrogen reduction in the blast furnace. J Sustain Metall 2(3):200–208

75.Onoda M, Matsuzaki Y, Chowdhury FA, Yamada H, Goto K, Tonomura S (2016) Sustainable aspects of ultimate reduction of CO_2 in the steelmaking process (COURSE50 project), part 2: CO_2 capture. J Sustain Metall 2(3):209–215

76.Junjie Y (2018) Progress and future of breakthrough low-carbon steelmaking technology (ULCOS) of EU. Int J Miner Process Extract Metall 3(2):15–15

77.Quader MA, Ahmed S, Dawal SZ, Nukman Y (2016) Present needs, recent progress and future trends of energy-efficient ultra- low carbon dioxide (CO_2) steelmaking (ULCOS) program. Renew Sustain Energy Rev 55:537–549

78.Alexandra H, Jan VDS, Dominique S (2012) ULCOS top gas recycling blast furnace. Stahl Undsen 132(4):31–40

79.World Steel Capacity News (2023) EU commission approves funds for Thyssenkrupp's tkH2Steel Programme. World Steel Capacity News

80.Peng S, Binglang R, Jingsong W, Guang W, Haibin Z, Qingguo X (2023) Current situation and development prospects of metal- lurgical by-product gas utilization in China's steel industry. Int J Hydrogen Energy 48(74):28945–28969

81.Yichao H, Yinxuan Q, Jian C, Liangyuan H, Edward RT, Victor R et al (2022) Integrating a top-gas recycling and CO_2 electrolysis process for H2-rich gas injection and reduce CO_2 emissions from an ironmaking blast furnace. Materials 15(6):2008–2008

82.Michael B, Kyriakos P, Panos S, Spyridon V, Ismael M, Alice P et al (2021) Integration of renewable hydrogen production in steelworks off-gases for the synthesis of methanol and methane. Energies 14(10):2904–2904

83.Joakim A, Stefan G (2021) A comparison of two hydrogen stor- ages in a fossil-free direct reduced iron process. Int J Hydrogen Energy 46(56):28657–28674

1. United States Environmental Protection Agency. Overview of greenhouse gases. https://www.epa.gov/ghgemissions/overview-greenhouse-gases

2. Calise F, Cappiello FL, Cimmino L, Vicidomini M (2023) Dynamic modelling and energy, economic, and environmental analysis of a greenhouse supplied by renewable sources. Appl Sci 13:1

3. Sesana E, Gagnon AS, Ciantelli C, Cassar J, Hughes JJ (2021) Climate change impacts on cultural heritage: a literature review. Wiley Interdiscipl Rev 12:e710

4. Hickmann T, Widerberg O, Lederer M, Pattberg P (2021) The United Nations framework convention on climate change sec- retariat as an orchestrator in global climate policymaking. Int Rev Adm Sci 87(1):21–38

5. Verschuuren J (2022) Climate change adaptation under the United Nations Framework Convention on Climate Change and related documents Research handbook on climate change adap- tation law. Edward Elgar Publishing, Cheltenham, pp 14–30

6. Miyamoto M, Takeuchi K (2019) Climate agreement and tech- nology diffusion: impact of the Kyoto protocol on international patent applications for renewable energy technologies. Energy Policy 129:1331–1338

7. Lawrence MG, Schäfer S, Muri H, Scott V, Oschlies A, Vaughan NE et al (2018) Evaluating climate geoengineering proposals in the context of the Paris agreement temperature goals. Nat Commun 9(1):1–19

8. Rogelj J, Huppmann D, Krey V, Riahi K, Clarke L, Gidden M et al (2019) A new scenario logic for the Paris agreement long-term temperature goal. Nature 573(7774):357–363

9. Hall BD, Crotwell AM, Kitzis DR, Mefford T, Miller BR, Schibig MF et al (2021) Revision of the World Meteorological Organi- zation global atmosphere watch (WMO/GAW) CO_2 calibration scale. Atmos Meas Tech 14(4):3015–3032

10.Lei R, Sheng Z, Xunmin O (2023) The carbon reduction poten- tial of hydrogen in the low carbon transition of the iron and steel industry: the case of China. Renew Sustain Energy Rev

171(1):1130261–1130317

11.International Energy Agency (2020) Hydrogen. https://www.iea. org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap

12.Sun M, Pang K, Barati M, Meng X (2023) Development and prob- lems of fluidized bed ironmaking process: an overview. J Sustain Metall. https://doi.org/10.1007/s40831-023-00746-6

13.Gu W, Zhao X, Yan X, Wang C, Li Q (2019) Energy technologi- cal progress, energy consumption, and CO_2 emissions: empirical evidence from China. J Clean Prod 236:117666

14.Lei W, Xie Y, Hafeez M, Ullah S (2022) Assessing the dynamic linkage between energy efficiency, renewable energy consump- tion, and CO_2emissions in China. Environ Sci Pollut Res

29(13):19540–19552

15.Choi J, Kim W, Choi S (2022) The economic effect of the steel industry on sustainable growth in China—a focus on input–output analysis. Sustainability 14:4110

16.Wulf C, Linssen J, Zapp P (2019) Review of power-to-gas pro- jects in Europe. 12th international renewable energy storage con- ference: IRES 2018, Dusseldorf, Germany, 13–15 March 2018,

367–378

17.Rechberger K, Andreas Sasiain C, Wolfmeir A, Harris H (2020) Green hydrogen-based direct reduction for low-carbon steelmak- ing. Steel Res Int 91(11):202000110

18.(2023) 2022 Steel Industry Green Development Level Assessment Report by Environmental Engineering Evaluation Center of the Ministry of Ecology and Environment

19.Yu X, Tan C (2022) China's pathway to carbon neutrality for the iron and steel industry. Glob Environ Chang 76:102574

20.Qazi UY (2022) Future of hydrogen as an alternative fuel for next- generation industrial applications. Challenges Expect Opportuni- ties Energies 15(13):4741

21.Dutta S (2014) A review on production, storage of hydro- gen and its utilization as an energy resource. J Ind Eng Chem

20(4):1148–1156

22.Bailera M, Lisbona P, Pea B, Romeo LM (2021) A review on CO_2 mitigation in the iron and steel industry through power to X processes. J CO_2 Util 46:101456

23.As D, Sabrina G, Sven L, Gilles K, Anand A, Miriam V et al

(2021) Reduction of CO_2 emission from off-gases of steel industry by dry reforming of methane. Angew Chem 60(21):11852–11857

24.Zhidong T, Qi Z, Yongsheng S, Peng G, Yuexin H (2022) Prospects of green extraction of iron from waste dumped flotation tailings by H2: A pilot case study. J Clean Prod

330(1):1298531–1298612

25.Chen Y, Zuo H (2021) Review of hydrogen-rich ironmaking tech- nology in blast furnace. Ironmaking Steelmaking 48(6):749–768

26.Zhang C, Vladislav L, Xu R, Sergey G, Jiao K, Zhang J et al (2022) Blast furnace hydrogen-rich metallurgy-research on efficiency injection of natural gas and pulverized coal. Fuel

311:122412

27.Rechberger K, Spanlang A, Sasiain Conde A, Wolfmeir H, Harris C (2020) Green hydrogen-based direct reduction for low-carbon steelmaking. Steel Res Int 91:2000110

28.Wang R, Zhao Y, Babich A, Senk D, Fan X (2021) Hydrogen direct reduction (H-DR) in steel industry—an overview of chal- lenges and opportunities. J Clean Prod 329:129797

29.Liu W, Zuo H, Wang J, Xue Q, Ren B, Yang F (2021) The production and application of hydrogen in steel industry. Int J Hydrogen Energy 46(17):10548–10569

30.Badr K (2007) Smelting of iron oxides using hydrogen based plasmas. University of Leoben

31.Souza Filho IR, Ma Y, Kulse M, Ponge D, Gault B, Springer H et al (2021) Sustainable steel through hydrogen plasma reduc- tion of iron ore: process, kinetics, microstructure, chemistry. Acta Mater 213:116971

32.Geerdes M, Chaigneau R, Lingiardi O (2020) Modern blast fur- nace ironmaking: an introduction. Ios Press, New York

33.Manuel B (2023) Comparing different syngas for blast furnace ironmaking by using the extended operating line methodology. Fuel 333(1):1265331–1265413

34.Sfi R, Hauke S, Yan M, Ankita M et al (2022) Green steel at its crossroads: Hybrid hydrogen-based reduction of iron ores. J Clean Prod 340(15):1308051–1308115

35.Jozwiak W, Kaczmarek E, Maniecki T, Ignaczak W, Maniukie- wicz W (2007) Reduction behavior of iron oxides in hydrogen and carbon monoxide atmospheres. Appl Catal A 326(1):17–27

36.Yan M, R. SFI, Xue Z, Supriya N, Pere BV, Guillermo R, et al (2022) Hydrogen-based direct reduction of iron oxide at 700°C: heterogeneity at pellet and microstructure scales. Int J Miner Metall Mater 29(10):1901–1907

37.Yan M et al (2022) Hierarchical nature of hydrogen-based direct reduction of iron oxides. Scr Mater 1:114571

38.Zhenxiao X, Zeyi J, Xinru Z, Zhen L, Yuanxiang L, Yewei H et al (2022) The CO_2 reduction potential for the oxygen blast furnace with CO_2 capture and storage under hydrogen-enriched conditions. Int J Gas Control 121:1

39.Ea A, Sl T, SeHo K, Baptiste G, Dierk R (2023) The fate of water in hydrogen-based iron oxide reduction. Adv Sci

10(24):e2300626

40.Spreitzer D, Schenk J (2019) Reduction of iron oxides with hydro- gen—a review. Steel Res Int 90(10):1900108

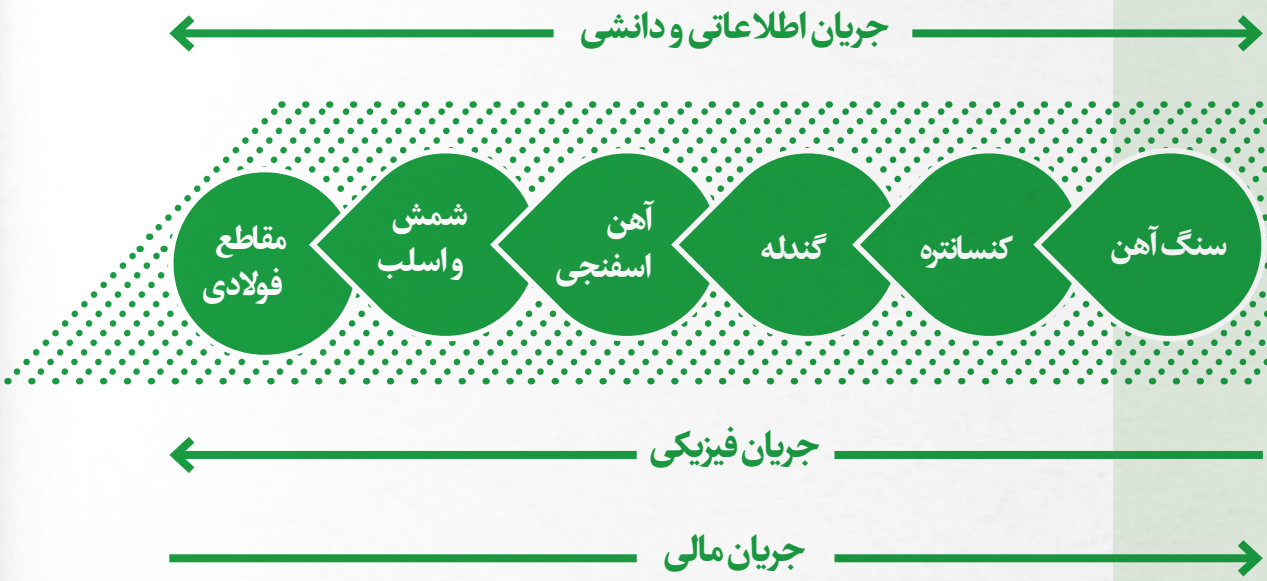
41.Wei Z, Jing D, Chengzhi L, Xiaobing Y, Zhengliang X, Henrik S (2020) A review on explorations of the oxygen blast furnace process. Steel Res Int 92:1

42.Ubando AT, Chen WH, Show PL, Ong HC (2020) Kinetic and thermodynamic analysis of iron oxide reduction by graphite for CO_2 mitigation in chemical-looping combustion. Int J Energy Res

مدیریت دانش
در زنجیرهٔ تامین فولاد

فربد آقالر

از اواخر قرن گذشته میلادی تا زمان حال، بحث مدیریت دارایی‌های نامشهود به‌عنوان بخشی از منابع حیاتی سازمان بسیار مورد توجه واقع شده است. از بین این دارایی‌ها، دانش بیشترین توجه را به خود معطوف ساخته و به‌عنوان مهم‌ترین دارایی نامشهود سازمان مورد تأکید قرار گرفته است. از طرفی در اقتصاد امروز، رقابت دیگر شرکت در برابر شرکت نیست، بلکه این زنجیره‌های تأمین هستند که به رقابت با هم می‌پردازند. زنجیره تأمین شامل تمام مراحلی است که به‌طور مستقیم و یا غیرمستقیم در تحقق نیازهای مشتری مشارکت دارند و شامل طیفی از مشتریان نهایی تا تأمین‌کنندگان اولیه خواهد بود. در این زنجیره سه جریان عمده اطلاعاتی، فیزیکی و مالی در حرکت است. هدف اصلی این زنجیره را می‌توان دستیابی به بیشترین ارزش برای مشتری دانست. به عنوان نمونه در شکل زیر بخشی از زنجیره تامین فولاد به نمایش درآمده است.



در این زنجیره محصول یکی از اعضا به عنوان مواد اولیه برای عضو بعدی ارسال می‌شود و بدین ترتیب جریان مواد و محصولات از اعضای بالادستی زنجیره به سمت اعضای پایین دستی جریان دارد. به طور عکس جریان مالی از سوی اعضای پایین دستی به سمت اعضای بالادستی بابت دریافت مواد و محصولات در جریان است. همچنین اطلاعات مربوط به زمان تحویل، نحوه حمل، ویژگی‌های محصول و غیره نیز در سرتاسر زنجیره تبادل می‌شود.

از آنجایی که موفقیت یک زنجیره تأمین به موفقیت تمامی اعضای زنجیره وابسته است و در مفاهیم مدیریت زنجیره تأمین اعتقاد بر این است که افزایش پایدار بهره‌وري یک عنصر زنجیره در گرو افزایش بهره‌وري سایر عناصر زنجیره است، لذا تسهیم دانش و اطلاعات در بین اعضای زنجیره نیز از الزامات دستیابی به موفقیت پایدار برای تمامی اعضا می‌باشد. تسهیم دانش و اطلاعات موجود در زنجیره یکی از توانمندسازهای اصلی در مدیریت زنجیره تأمین به شمار می‌آید. اعضای زنجیره می‌بایست با استفاده از راهکارهای کارآمد به این مهم بپردازند. به‌طورکلی روند تغییرات جهانی، شرکت‌ها را برای کاهش هزینه‌های عملیاتی و باقی ماندن در صحنه رقابت، وادار به استفاده از فرآیندهای جدیدی کرده است. دارائی‌های نامشهودی همچون مدیریت دانش و زنجیره تأمین اثر مستقیمی بر روی موفقیت سازمان‌ها دارد. امروزه با دگرگون شدن معادلات اقتصادی، رقابت بین شرکتی، اهمیت خود را از دست داده است و رقابت بین زنجیره‌های تأمین جهت ارائه حداکثر ارزش به مشتری، مورد تأکید قرار گرفته است. بنابراین سازمان‌ها می‌بایست بکوشند، به صورت یکپارچه و هماهنگ با سایر اعضای زنجیره، قابلیت‌های رقابتی کل زنجیره تأمین را بهبود دهند. در این مسیر، موضوع مدیریت یکپارچه سرمایه دانشی زنجیره تأمین نیز چه در بهبود ویژگی‌های عملکردی زنجیره و چه در ارتقاء انسجام زنجیره اهمیت دارد.

از آنجایی که هلدینگ میدکو زنجیره‌هایی در حوزه فولاد و مس را داراست، اهمیت گردش دانش در میان اعضای زنجیره را به خوبی درک کرده و طی سال‌های اخیر برنامه‌های متعددی را برای نیل به این منظور اجرایی کرده است. هلدینگ میدکو حتی پا را فراتر گذاشته و انتقال دانش را تا شرکت‌های حوزه مهندسی، ساخت و تامین تجهیزات در پروژه‌های ساخت و راه‌اندازی معادن و صنایع معدنی نیز گسترش داده است.

چرخش دانش در حوزه‌های مختلف ستادی و عملیاتی در بین اعضای زنجیره منجر به همگونی نسبی شرکت‌های هلدینگ شده است به طوریکه اختلاف عملکردی جدی در هر حوزه دانشی بین آنها مشاهده نمی‌شود. اجرای این رویکرد طی سالیان متمادی منجر شده است تا خلأهای دانشی شرکت‌ها با الگوگیری و کسب دانش از سایر اعضای زنجیره ترمیم شود و بنابراین ضعیف‌ترین حلقه‌های زنجیره نیز از استحکام مناسبی برخوردار شده و افزایش پایدار بهره‌وری کل زنجیره را تضمین کند.

هلدینگ میدکو به منظور ایجاد یکپارچگی میان ابزارها، رویکردها و فرآیندهای مدیریت دانش شرکت‌های زیرمجموعه در سال‌های اخیر از ظرفیت‌های مرکز یادگیری میدکو بهره برده است. چراکه اشتراک دانش فراسازمانی در میان اعضای یک زنجیره تامین نیازمند ایجاد زیرساخت‌های مشترک، نگرش‌های همسو و ابزارها و تکنیک‌های کاربردی و تخصصی است. ایجاد درختواره دانش یکپارچه، سامانه دانشی مشترک و انجمن‌های خبرگی فراسازمانی در حوزه‌های دانشی مختلف، گوشه‌ای از اقدامات انجام شده در راستای گردش دانش در زنجیره‌های تامین فولاد و مس می‌باشد.

مرکز یادگیری میدکو با بر عهده داشتن نقش نظارتی در تمامی طرح‌های استقرار و توسعه نظام مدیریت دانش در هر یک از شرکت‌های عضو زنجیره، مسئولیت ایجاد یکپارچگی در ابزارها و رویکردها را برعهده دارد. علاوه بر این خلأهای دانشی مشترک میان اعضای زنجیره از طریق این مرکز شناسایی شده و برنامه‌های ترمیمی مناسب به منظور کسب، ایجاد و یا خلق دانش در نظر گرفته می‌شود.

رویکردهای جدید
یادگیری و توسعه سازمانی

به عنوان متخصصان سرمایه انسانی و یادگیری و توسعه، باید درک کنیم که قلب هر سازمان موفق در کارکنان آن نهفته است. در سال ۲۰۲۴، در حالی که فصل جدیدی را در دنیای یادگیری و توسعه آغاز می‌کنیم، چالش‌ها و فرصت‌هایی که در انتظار ما است که جذاب تر از همیشه هستند. اول از همه، ما باید درک کنیم که یادگیری و توسعه چقدر برای کارکنان ما مهم است.

چرا باید تلاش‌های یادگیری و توسعه را برای کارکنان خود در سال ۲۰۲۴ افزایش دهید؟

بر اساس داده‌های تحلیل شده، تأثیر یادگیری در سال ۲۰۲۳ عمیق بوده و اکثریت قابل توجهی از کارکنان از مزایای آن بهره برده‌اند. بر اساس گزارشات اخیر، ۷۱ درصد از کارکنان اعلام می‌دارند که برای آینده شغلی خود به طور قابل توجهی آمادگی بیشتری داشته و اعتماد به نفس افزایش یافته خود را به آموخته‌هایی که دریافت کرده اند نسبت می‌دهند.

علاوه بر این، ۷۲ درصد پیشرفت شغلی را تجربه کرده اند که مستقیماً به یادگیری‌های ارائه شده توسط شرکت نسبت داده شده و بر نقش محوری آن در رشد حرفه‌ای تاکید دارد. از سوی دیگر ۷۳ درصد از کارکنان از اینکه یادگیری‌هایشان با مهارت‌های مورد تقاضای بازار و کسب و کار مطابقت دارد، رضایت داشته و بر ارتباط و ارزش تجربیات یادگیری خود تأکید می‌کنند.

با این حال، سفر پیشرفت و توسعه هنوز به پایان نرسیده است، زیرا ۶۶ درصد از کارکنان نیاز به توسعه مداوم مهارت‌های جدید برای پیشرفت در موقعیت‌های فعلی خود پ تأیید داشته که این مهم، اهمیت مداوم ذهنیت یادگیری را در محیط کاری پویا امروزی برجسته می‌کند.

روندهای یادگیری و توسعه که باید در سال ۲۰۲۴ در نظر بگیرید

اگر می خواهید بهترین کارکنان خود را حفظ کنید و یک فرآیند مدیریت استعداد موفق داشته باشید، ممکن است به روندهای کلیدی زیر که آینده یادگیری و توسعه سازمانی را شکل می‌دهند، علاقه مند باشید.

۱. چالش رو به رشد مدیریت استعداد

بیایید با بررسی یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بخش سرمایه انسانی در سراسر جهان شروع کنیم: مدیریت استعداد.

بر اساس نظرسنجیهای انجام گرفته در ۲۰۲۴توسط بلانچارد، ۸۷ درصد از پاسخ دهندگان پیش بینی می‌کنند که استخدام در سال ۲۰۲۴ همچنان یک چالش خواهد بود.

این یافته بر نبرد مداوم برای جذب استعدادهای برتر در بازار کار رقابتی فزاینده تاکید می‌کند.

اما چالش‌ها به همین جا ختم نمی‌شود. درصد حتی بالاتری یعنی حدود ۸۸ درصد، معتقدند که حفظ کارکنان نیز در سال آینده چالش مهم تری را ایجاد خواهد کرد.

علاوه بر این، دیدگاه‌های تجاری ۲۰۲۴ در مورد مدیریت یادگیری در کلاس جهانی توسط مجله صنعت آموزش، نشان می‌دهد که ۹۳ درصد سازمان‌ها این نگرانی را در مورد حفظ کارمندان داشته، که بر نگرانی گسترده صنعت در مورد حفظ استعدادها تأکید می‌کند.

در عصری که افراد با استعداد بیش از همیشه گزینه‌های بیشتری دارند، حفظ بهترین و باهوش‌ترین کارها کار پیچیده‌ای است.

پیشنهاد می‌کنیم به این نکته توجه داشته باشید:

- در عین حال تغییر قابل توجهی در تقاضا برای روش‌های یادگیری وجود دارد. نیمی از پاسخ دهندگان در نظرسنجی بلانچارد بر افزایش تقاضا برای یادگیری حضوری تاکید کردند.
- این روند منعکس کننده این اذعان است که اگرچه فناوری و یادگیری الکترونیکی ارزشمند هستند، اما تمایل زیادی برای تعاملات چهره به چهره و تجربیات عملی وجود دارد.
- علاوه بر این، ۷۰ درصد از سازمان ها بر توسعه اجرایی به عنوان یک هدف کلیدی برای سال ۲۰۲۴ تاکید زیادی دارند.

۲. ارتقاء مهارت/ بازیابی مهارت[1]

کورن فری[2] به عنوان یک شرکت خدماتی بزرگ، می‌گوید که تا سال ۲۰۳۰ با کمبود استعداد ۸۵ میلیون نفر مواجه خواهد شد. به همین دلیل است که در سال ۲۰۲۴، ارتقاء مهارت و بازیابی مهارت به روندهای حیاتی در عرصه یادگیری و توسعه تبدیل شده است. با افزایش سرعت تغییرات تکنولوژیکی و تکامل ماهیت مشاغل، نیاز به توسعه مداوم مهارت هرگز به این اندازه حیاتی نبوده است.

ارتقاء مهارت به فرآیند یادگیری مهارت‌های جدید یا تقویت مهارت‌های موجود برای همگام شدن با تقاضاهای در حال تغییر صنعت اشاره دارد. از سوی دیگر، بازیابی مهارت‌ها شامل یادگیری مهارت‌های کاملاً جدید برای انطباق با نقش شغلی یا مسیر شغلی متفاوت است. این روندها توسط چندین عامل هدایت می‌شوند، از جمله پیشرفت سریع فناوری‌هایی مانند هوش مصنوعی و اتوماسیون، که نیازهای شغلی را در بخش‌های مختلف تغییر شکل می‌دهند.

سازمان‌ها به طور فزاینده‌ای اهمیت ارتقاء مهارت و بازیابی مهارت را به عنوان الزامات استراتژیک برای حفظ مزیت رقابتی و اطمینان از ارتباط نیروی کار تشخیص می‌دهند. آنها در برنامه‌های یادگیری سرمایه‌گذاری می‌کنند که به کارکنان کمک می‌کند تا با فناوری‌ها و روش‌های جدید سازگار شده و در نتیجه از منسوخ شدن مهارت‌ها محافظت کنند. به عنوان مثال، یک توسعه‌دهنده نرم‌افزار ممکن است با یادگیری زبان‌های برنامه‌نویسی جدید یا فناوری‌های ابری مهارت بیشتری کسب کند، در حالی که یک کارمند خرده‌فروشی ممکن است دوباره مهارت داشته باشد تا به سمت یک نقش بازاریابی

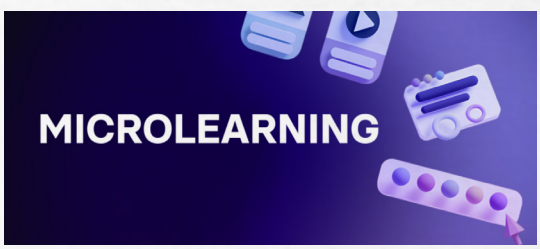
1. Upskilling/ Reskilling
2. Korn Ferry

دیجیتال در همان شرکت حرکت کند. این رویکرد نه تنها با افزایش چشم اندازهای شغلی و امنیت شغلی کارکنان به نفع آنهاست، بلکه با پر کردن شکاف‌های مهارتی در داخل به جای جستجوی استعدادهای بیرونی، به سازمان‌ها کمک خواهد کرد.

۳. یادگیری خُرد[3]

روندهای یادگیری و توسعه ۲۰۲۴ شامل این مفهوم بسیار خاص است. هیچ تعریف رسمی برای این واژه وجود ندارد، اما مفهوم یادگیری خرد به یک رویکرد یادگیری و استراتژی اشاره دارد که شامل ارائه محتوا در فواصل کوچک و خاص، با تمرکز بر نکات و مفاهیم کلیدی است. این به ویژه برای دنیای مدرن و پرشتاب و جایی که مخاطبان یادگیری زمان لازم برای دوره‌های دقیق را ندارند، مناسب است.

یادگیری خرد ایده جدیدی نیست، اما در سال‌های اخیر محبوبیت زیادی پیدا کرده است. همه چیز در مورد تجزیه اطلاعات پیچیده به بخش‌های قابل مدیریت‌تر و اجتناب از اطلاعات طاقت فرسا است تا یادگیرنده بار شناختی زیادی را احساس نکند. زیبایی یادگیری خر در کارایی و اثربخشی آن است. بهترین مثال از چنین روشی Udemy's است که در آن درس‌ها به ویدیوهای کوچکی تقسیم می‌شوند که توجه کاربر را جلب کرده و خسته کننده نمی‌شوند. این روش از یادگیری برای کسانی که برنامه‌های شلوغ کاری دارند، بسیار مناسب است.



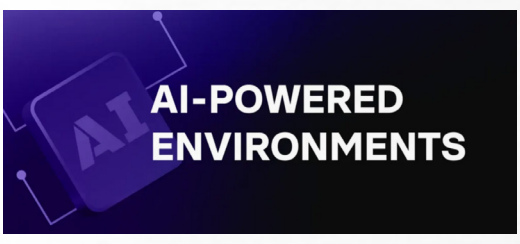
۴. ظهور هوش مصنوعی و فناوری در حوزه یادگیری و توسعه

علاوه بر پرداختن به چالش‌های موجود در مدیریت استعداد، روند مهم دیگری که نمی‌توانیم نادیده بگیریم، نقش رو به رشد هوش مصنوع و فناوری در یادگیری و توسعه است. هوش مصنوعی که زمانی یک کلمه کلیدی بود، اکنون یک نیروی دگرگون کننده در فعالیت‌های سرمایه انسانی و یادگیری و توسعه است.

گزارش بلانچارد بر استفاده روزافزون از هوش مصنوعی در سرمایه انسانی و یادگیری و توسعه تاکید می‌کند. کاربرد آن در توسعه شغلی و مدیریت عملکرد بسیار جالب توجه است. ابزارهای مبتنی بر هوش مصنوعی اکنون می‌توانند مهارت‌ها و شایستگی‌های کارکنان را تجزیه و تحلیل کرده، پیشنهاداتی برای بهبود ارائه داده و حتی بینش‌های ارزشمندی را در مورد تیم‌هایشان به مدیران ارائه دهند.

اما این فقط به خاطر فناوری مربوط به هوش مصنوعی نیست. گزارش منتشر شده روندهای یادگیری و توسعه در ۲۰۲۴توسط HowNow بر اهمیت استفاده از هوش مصنوعی در یادگیری و توسعه با تمرکز بر حل چالش‌های خاص و ارزش افزوده تأکید می‌کند. بر اساس گزارش مجله صنعت آموزش، ۸۵ درصد از سازمان‌ها قصد دارند در پنج سال آینده پذیرش فناوری‌های مرزی مانند هوش مصنوعی را افزایش دهند.

این یک یادآوری است که فناوری باید در خدمت هدفی باشد و حل مسئله و تأثیر عملکرد را افزایش دهد.



3. Microlearning

۵. تجارب فراگیر[۴]

یکی دیگر از روندهای یادگیری در سال ۲۰۲۴، تجارب فراگیر است. این رویکرد نحوه کسب دانش و توسعه مهارت‌ها را تغییر داده است. این تجربیات، که عمدتاً توسط فناوری‌های واقعیت مجازی (VR) و واقعیت افزوده (AR) ارائه می‌شوند، محیط تعاملی و عمیقاً جذابی را در اختیار مخاطبان قرار داده که سناریوهای دنیای واقعی را از نزدیک شبیه‌سازی می‌کند.

برای مثال، دانشجویان پزشکی می‌توانند جراحی‌های مجازی را انجام دهند و تجربه عملی را بدون خطرات مربوط به عمل‌های واقعی ارائه دهند. در یادگیری شرکتی، کارکنان می‌توانند ماشین آلات پیچیده یا نرم‌افزارهای پیچیده را در یک محیط کاملا مجازی هدایت و امکان یادگیری ایمن و کامل را فراهم کنند. این رویکرد همه جانبه نه تنها جذاب‌تر است، بلکه به طور قابل توجهی حفظ اطلاعات را با ارائه عملی واقعی و عملی که تنظیمات رویکرد سنتی نمی‌توانند تکرار کنند، افزایش می‌دهد.

۶. شخصی‌سازی و توسعه مهارت

آخرین روندها در یادگیری و توسعه شامل یک مسیر یادگیری فردی است. این یک مسیر یادگیری سفارشی است که متناسب با نیازها، توانایی‌ها و اهداف منحصر به فرد یک یادگیرنده است. این مفهوم تصدیق می‌کند که هر فرد به طور متفاوتی یاد می‌گیرد و بنابراین، از یک برنامه یادگیری سود می‌برد که منعکس کننده نقاط قوت، ضعف، علایق و سرعت یادگیری فردی اوست.

به جای یک رویکرد یک اندازه و مناسب برای همه، یک مسیر یادگیری فردی، پیشینه، دانش قبلی و اهداف شخصی یادگیرنده را در نظر می‌گیرد و تجربه یادگیری شخصی و مؤثرتری را ارائه می‌دهد. این مانند داشتن یک کت و شلوار سفارشی به جای یک لباس غیر معمول است. مناسب تر است و احساس راحتی بیشتری می‌کند زیرا فقط برای شما ساخته شده است.

گزارش منتشر شده روندهای یادگیری و توسعه در ۲۰۲۴ توسط HowNow بر تغییرات رو به رشد به سمت یادگیری شخصی و یادگیرنده محور تأکید دارد.

یگر یک رویکرد یکسان برای همه کافی نیست.

سازمان ها متوجه شده اند که کارکنان نیازها و ترجیحات یادگیری منحصر به فردی دارند. این روند نه تنها در مورد سبک‌های یادگیری فردی است، بلکه ابتکارات یادگیری و توسعه را با اهداف شغلی هر کارمند همسو می‌کند.

مانند بسیاری از تیم‌های یادگیری و توسعه، ما متوجه شدیم که زمان برای افرادی که به طور کامل با فرصت‌های یادگیری درگیر می‌شوند، بزرگترین مانع است. برای مبارزه با این، ما در حال ایجاد یک فرهنگ یادگیری بر اساس مدل ۷۰:۲۰:۱۰ هستیم.

جو اسمال وود، رئیس یادگیری و توسعه شرکت سولدو[۵]، این تغییر را به اختصار بیان می‌کند و می‌گوید: «مانند بسیاری از تیم‌های یادگیری و توسعه، ما متوجه شده‌ایم که زمان برای افرادی که به طور کامل با فرصت‌های یادگیری درگیر می‌شوند، بزرگترین مانع است. برای مبارزه با این، ما در حال ایجاد یک فرهنگ یادگیری بر اساس مدل ۷۰:۲۰:۱۰ هستیم. این مدل تاکید می کند که یادگیری نه تنها از طریق آموزش رسمی (۱۰٪) بلکه از طریق تجارب و تعاملات در حین کار (۷۰٪ و ۲۰٪) نیز رخ می‌دهد. این گواهی بر اهمیت روزافزون تجربیات فراگیر و یادگیرنده محور است.

گرایش به سمت شخصی‌سازی فراتر از محتوا است و شامل زمان بندی و روش‌های تحویل محتوای یادگیری می‌شود.

4. Immersive Experiences
5. Soldo

۷. ایجاد تعادل بین روش‌های یادگیری سنتی و نوآورانه

پذیرش رویکردهای یادگیرنده محور به معنای کنار گذاشتن کامل روش‌های سنتی نیست. چالش ایجاد تعادل بین شیوه‌های اثبات شده و روش‌های نوآورانه است.

این نیاز به ادغام یکپارچه یادگیری در جریان کار روزانه را نشان می‌دهد، و آن را به راحتی در زمان و جایی که کارمندان به آن نیاز دارند در دسترس قرار می دهد. کیت کیتینگ، مدیر ارشد یادگیری و نویسنده، در گزارش HowNowبه نیاز متخصصان یادگیری و توسعه برای تبدیل شدن از «سفارش‌گیرندگان» به «مشاوران یادگیری مورد اعتماد» اشاره می‌کند. این تحول نه تنها مستلزم اتخاذ رویکردهای نوآورانه است، بلکه مستلزم همسویی استراتژی‌های یادگیری و توسعه با اهداف سازمانی است.

در حالی که رویکردهای شخصی‌سازی و یادگیرنده محور در یادگیری و توسعه اهمیت پیدا می‌کنند، به رسمیت شناخته شده است که روش‌های سنتی هنوز ارزش دارند. نکته کلیدی در یافتن ترکیب مناسبی از روش‌های سنتی و نوآورانه برای پاسخگویی به نیازهای منحصر به فرد سازمان شما و نیروی کار آن نهفته است.

۸. یادگیری در جریان کار

یادگیری در جریان کار مفهومی است که یادگیری و توسعه را در فعالیت‌های کاری روزانه کارکنان ادغام می‌کند. این رویکردی است که یادگیری را به‌عنوان یک فرآیند مداوم تشخیص داده و نه مفهومی که جدا از وظایف کاری اتفاق می‌افتد. این مفهوم در توسعه سازمانی و مدیریت سرمایه انسانی محبوبیت پیدا کرده است.

یک شرکت توسعه نرم‌افزار را تصور کنید که در آن تیم‌ها با استفاده از زبان‌ها و فناوری‌های مختلف برنامه‌نویسی روی پروژه‌های مختلف کار می‌کنند.

این شرکت از یک پلتفرم توسعه استفاده می‌کند که ابزارهای یادگیری یکپارچه دارد. به عنوان مثال، زمانی که یک برنامه نویس به زبانی که کمتر با آن آشنایی دارد، برنامه نویسی می کند، پلتفرم می تواند نکات درون متنی و درس‌های کوچک مرتبط با کدی که می نویسد ارائه دهد. همانطور که برنامه نویس کد می‌نویسد، یک دستیار مجهز به هوش مصنوعی بازخوردی را در زمان واقعی ارائه می‌دهد، پیشرفت‌هایی را پیشنهاد یا خطاهای احتمالی را نشان می‌دهد. این بازخورد فوری به برنامه نویس کمک می‌کند تا در لحظه و جریان کار یاد بگیرد و پیشرفت کند.

۹. همسویی یادگیری و توسعه با اهداف کسب و کار

در چشم انداز به سرعت در حال تغییر سرمایه انسانی و یادگیری و توسعه، یکی از گرایش هایی که برجسته می شود، ضرورت فزاینده همسو کردن ابتکارات یادگیری و توسعه با اهداف کلی کسب و کار است. گزارش منتشر شده روندهای یادگیری و توسعه در ۲۰۲۴ توسط HowNow این نیاز به هم افزایی بین سرمایه انسانی و اهداف سازمانی را برجسته می‌کند.

در حالی که توسعه استعداد و رشد کارکنان همیشه برای سرمایه انسانی محور بوده است، اکنون تمرکز به سمت حصول اطمینان از اینکه هر تلاش یادگیری و توسعه به طور مستقیم به دستیابی به نتایج استراتژیک کسب و کار کمک می کند، تغییر کرده است.

به گفته بلانچارد، ۶۲ درصد از پاسخ دهندگان در حال

برنامه ریزی برای افزایش بودجه آموزش یادگیری خود با میانگین پیش بینی افزایش ۸٫۳ درصدی در تمام طرح‌های یادگیری، در سال ۲۰۲۴ هستند. این داده ها نیاز متخصصان سرمایه انسانی را برای ارائه شواهد ملموس نشان می‌دهد که چگونه تلاش‌های آنها در یادگیری و توسعه نه تنها به رشد و رضایت کارکنان بلکه به موفقیت کلی کسب و کار کمک می‌کند.

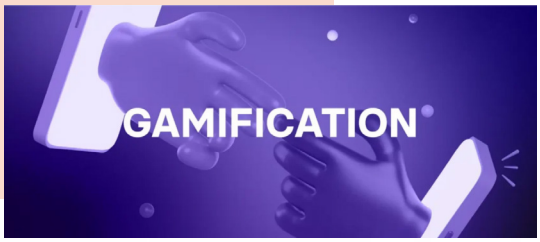
با این حال، این همسویی بدون چالش نیست. اندازه‌گیری موفقیت و تأثیر ابتکارات یادگیری و توسعه، به‌ویژه در شرایط کمی که با نگاه و نظرات مدیران عالی سازمان همخوانی داشته باشد، کار پیچیده‌ای است. این امر مستلزم متخصصان سرمایه انسانی است که نه تنها در طراحی تجربیات یادگیری مؤثر خبره باشند، بلکه در تجزیه و تحلیل داده‌ها و گزارش دهی نیز مهارت لازم را دارا باشند.

در سال ۲۰۲۴ متخصصان سرمایه انسانی باید در انطباق با این روندها فعال باشند. آینده یادگیری و توسعه در یک رویکرد استراتژیک نهفته است که فناوری، شخصی‌سازی و همسویی کسب و کار را ادغام می‌کند. این در مورد درک نیازهای یادگیری کارکنان و چگونگی کمک این نیازها به رشد و موفقیت سازمان بصورت همزمان است.

۱۰. بازیکاری[۶]

در سال ۲۰۲۴، بازیکاری به روند برجسته‌ای در یادگیری و توسعه ادامه می‌دهد و اساساً روش ارائه و تجربه محتوای یادگیری را تغییر می‌دهد. بازیکاری شامل استفاده از عناصری مانند امتیازدهی، رقابت و قوانین بازی، در فرآیند یادگیری است که معمولاً در بازی‌ها یافت می‌شوند. این رویکرد بر این اصل استوار است که اگر یادگیری سرگرم کننده و جذاب باشد، نه تنها لذت بخش تر، بلکه موثرتر نیز خواهد بود.

یکی از جذاب‌ترین جنبه‌های بازیکاری ، توانایی آن در افزایش تعامل و انگیزه در بین یادگیرندگان است. با معرفی عناصری مانند تابلوهای امتیازات، نشان‌ها و ردیابی پیشرفت، یادگیرندگان با انگیزه می‌شوند تا فعالانه‌تر مشارکت کنند و به اهداف خاصی دست یابند. برای مثال، یک برنامه یادگیری فروش ممکن است شامل تابلوی امتیازاتی باشد که بهترین عملکردها را در یک چالش فروش ساختگی نشان می‌دهد و رقابت سالم را بین شرکت‌کنندگان تشویق می‌کند. در نمونه‌ای دیگر، یک دوره یادگیری الکترونیکی ممکن است برای هر ماژول تکمیل‌شده نشان‌های دیجیتالی اعطا کند که به یادگیرندگان احساس موفقیت داده و آنها را تشویق می‌کند تا دوره را ادامه دهند.



به طور خلاصه، روندهای یادگیری و توسعه جدید نشان دهنده تغییر قابل توجهی به سمت تجربیات یادگیری شخصی تر، تعاملی‌تر و انعطاف پذیرتر است. محور این تحول، ادغام فناوری‌های پیشرفته مانند AI، VR/AR، بازیکاری و برنامه‌های مبتنی بر ویدیو است که روش‌های یادگیری سنتی را بازتعریف می‌کنند. این گرایش‌ها بر اهمیت یادگیری مستمر، هم برای غنی‌سازی شخصی و هم برای پیشرفت حرفه‌ای، با توجه به نیازها و ترجیحات مختلف یادگیرندگان تأکید می‌کنند. به این ترتیب، این تغییرات صرفاً تغییرات موقتی نیستند، بلکه نشان‌دهنده یک تحول عمیق‌تر و مداوم در رویکرد یادگیری و توسعه مهارت در دنیای دیجیتال و پویا ما هستند.

6. Gamification

ارزیابی و بهبود فرآیند
روابط عمومی از مسیر یادگیری

سازمان‌هایی که خلاقیت و نوآوری یکی از فاکتورهای مهم و درخور توجه در کارشان محسوب می‌شود هیچگاه به گذشته رضایت نداده و همواره با بهره گیری از ساز و کارهای خلاقانه، تغییر در نگرش و رفتار را سرلوحه امور خویش می دانند. آنان به ایده‌های نو احترام می گذارند و با رغبت و حساسیت آنها را دنبال می نمایند.
یکی از واحدهای هر سازمان پویا، روابط عمومی آن سازمان می‌باشد و اگر این واحد، برخوردار از پویایی و خلاقیت باشد می‌تواند تحرک و نشاط را به تمامی سازمان منتقل سازد. اصولاً نوآوری در کارها و برنامه‌های روابط عمومی فعال یکی از مؤلفه‌های اصلی به شمار می‌رود. با جهانی که هر لحظه در حال تغییر است روابط عمومی‌ها ناچارند به سمت ایده‌های نو گام بردارند.

روابط عمومی پویا نه تنها به ایجاد ارتباط مؤثر بین سازمان و مخاطبانش می‌پردازد، بلکه در ارتقای وجهه و شهرت برند نیز نقش اساسی دارد. هدف از وجود و فعالیت روابط عمومی در سازمان‌ها و کسب‌وکارها، متقاعد کردن مخاطبان به حمایت از برند و تقویت تصویر مثبت آن است. این حوزه حیاتی و مهم در سازمان امکانات زیر را میسر می سازد:

- **مدیریت ارتباط با مخاطبان**
- **مدیریت رویدادها و ارتباط با رسانه‌ها**
- **تبیین ارزش‌ها و خدمات سازمانی**

به طور کلی، روابط عمومی ابزاری قدرتمند برای ارتقاء تصویر برند، جلب حمایت مخاطبان، و ایجاد ارتباطات مؤثر است.
بر اساس درک اهمیت موضوع در سطح مدیران عالی هلدینگ میدکو، طی دو طرح ارزیابی و بهبود فرایند روابط عمومی در سطح شرکت‌های میدکو، انجام گرفته است. دردوره دوم که در نیمه دوم سال ۱۴۰۲ اجرایی گردید، یکی مهمترین نقاط قوت شناسایی شده در دوره اول به عنوان یک دوره یادگیری کاربردی و گام اول دوره دوم، تعریف شد.

ارائه بازخورد بهبودی

- جمع‌بندی نقاط قوت و قابل بهبود
- تدوین گزارش بازخورد اختصاصی هر شرکت
- تدوین گزارش جامع فرآیند روابط عمومی در میدکو

ارزیابی حضوری

- تدوین تقویم اجرایی ارزیابی
- ارسال، دریافت و تحلیل اظهارنامه
- برگزاری جلسات ارزیابی

یادگیری

- شناسایی نیاز یادگیری
- تدوین محتوای یادگیری متناسب
- تدوین تقویم مجزا برای همکاران تهران و کرمان
- برگزاری دوره یادگیری ۱۶ ساعتی

گام اول . برگزاری دوره یادگیری برنامه‌ریزی راهبردی حوزه روابط عمومی شرکت‌های میدکو

بر اساس تقویم و برنامه ریزی دوره دوم ارزیابی فرایند روابط عمومی در سطح شرکت‌های هلدینگ میدکو ، مجموعه دوره یادگیری برنامه‌ریزی راهبردی حوزه روابط عمومی در تهران و کرمان برگزار شد. نیاز یادگیری، از فرایند ارزیابی سال گذشته شرکت‌ها به عنوان نقطه قابل بهبود حیاتی و با اولویت بالا، شناسایی و دوره مرتبط بر اساس رویکرد کاملا کارگاهی و مشارکتی، برگزار شد.
در این دوره ۱۶ ساعتی مباحث مقدماتی ارکان جهت ساز و راهبرد سازمانی، اتصال آن به حوزه روابط عمومی و ایجاد مهارت و نگرش استراتژیک به این مقوله به عنوان سرفصل‌های اصلی یادگیری پیگیری شد.

گام دوم. بررسی اظهارنامه تدوین شده و برگزاری جلسات ارزیابی حضوری در سطح شرکت‌ها

در گام دوم طرح و بر اساس تقویم اجرایی تعریف شده و بعد از مطالعه و بررسی اظهارنامه‌های تدوین شده توسط شرکت‌ها، جلسات ارزیابی حضوری برگزار شد. هدف اصلی این جلسات علاوه بر ارزیابی نقاط قوت و بهبود و مقایسه وضعیت ارتقای فرایند روابط عمومی نسبت به دوره اول، مربیگری و راهنمایی لازم جهت بهبود سریع و ارائه بازخورد مناسب بود.

یادگیری و بهبود
در حوزه روابط عمومی سازمانی

حوزه و فرایند روابط عمومی نقشی محوری در مدیریت ارتباطات و روابط بین سازمان ها و ذینفعان کلیدی آنها ایفا می‌کند. به عنوان یک رشته ارتباطات استراتژیک، روابط عمومی با هدف تأثیرگذاری بر نظرات، ایجاد اعتماد و شکل دادن به ادراک عمومی در اکوسیستم فعالیت آن سازمان است. برخی از مهم ترین دلایل اهمیت موضوع یادگیری در حوزه مهم و راهبردی روابط عمومی سازمانی به شرح زیر است:

آگاهی پیشرفته و تحلیل انتقادی

یادگیری در مورد روابط عمومی آگاهی شما را از پویایی صنعت افزایش داده و تجزیه و تحلیل انتقادی استراتژی‌های ارتباطی را امکان پذیر می سازد. این مهم به شما قدرت می‌دهد تا زمینه‌های سازمانی را درک ، چالش‌ها را پیش‌بینی و راه‌حل‌های مؤثر را ابداع کنید.

مدیریت اعتبار پیشگیرانه

متخصصان روابط عمومی با مدیریت فعال تصویر، برند و شهرت یک نهاد، در ارتقای برند کارفرمایی و حسن شهرت سازمان، نقش حیاتی دارندو آنها دستاوردها را ترویج می کنند، روایت‌های مثبت را به نمایش می گذارند و روابط متقابل سودمندی را با سهامداران و ذینفعان سازمان ایجاد می‌کنند. ارتباط موثر از طریق کانال‌های رسانه‌ای، ادراک عمومی را افزایش داده و به موفقیت بلندمدت کمک می‌کند.

استراتژی پژوهش محور

پژوهش جزء لاینفک مدیریت روابط عمومی است. بر اساس توانمندی در پژوهش محیط داخلی و خارجی سازمان، مسائل مهم شناسایی شده، راه‌حل‌های ممکن و بهینه ایجاد و نهایتا مدیریت بحران مدیریت می‌شود. پژوهش‌های استراتژیک به جلوگیری از بحران ها کمک کرده، سازمان‌ها را با جامعه خود همسو و سیاست‌های بهتری را شکل می‌دهد.

نشان دادن ارزش برای مدیریت

روابط عمومی باید ارزش خود را برای مدیریت سازمانی نشان دهد. متخصصان روابط عمومی با انجام تحقیقات، تجزیه و تحلیل داده ها و نشان دادن تأثیر استراتژیک، نقش مهمی در تصمیم گیری ایمن برای سازمان دارند.

ایجاد روابط متقابل سودمند

روابط عمومی روابط با ذینفعان را در سراسر پلتفرم ها تقویت می کند. این ادراک عمومی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، درگیر می‌کند و چارچوب‌بندی می‌کند و به تصویر کلی و موفقیت سازمان کمک می‌کند.

به طور خلاصه، یادگیری در زمینه روابط عمومی شما را به ابزارهایی برای عبور از چالش‌های ارتباطی، ترویج روایت‌های مثبت و ایجاد ارتباط پایدار با مخاطبان مختلف مجهز می‌سازد.

استقرار نظام اجرایی
مدیریت چرخه بهره وری در میدکو

در ادامه ماموریت امور توسعه مدیریت نسبت به استقرار نظام چرخه مدیریت بهره وری در میدکو، امسال نیز اقداماتی صورت گرفته است. این اقدامات که با مشاوره شرکت پژوهش و نوآوری فرتاک ایرانیان انجام می شود، در دو محور اصلی ترویج بهره وری و پیاده‌سازی چرخه بهره وری برنامه ریزی شده است.

در بخش نخست، آموزش و برگزاری کارگاه‌های آشنایی با سیستم چرخه مدیریت بهره وری برای تمامی شرکت‌های هلدینگ هدف گذاری شده است. تاکنون این جلسات در شرکت‌های پابدانا، فروسیلیس، کارآوران، فولاد زرند و فولاد سیرجان برگزار شده است.

در بخش دوم، با توجه به گام‌های برنامه ریزی شده در نظام بهره وری میدکو، اقداماتی در سال گذشته و امسال صورت گرفت است. نظام چرخه مدیریت بهره وری به صورت کامل در شرکت پابدانا پیاده‌سازی شده است و در شرکت‌های فولاد سیرجان، کارآوران و مجتمع کک‌سازی زرند در گام پایش می باشد. پیاده‌سازی در دیگر شرکت‌های هلدینگ نیز در حال برنامه ریزی می باشد.

استقرار نظام اجرایی مدیریت چرخه بهره وری در شرکت کاراوران صنعت خاورمیانه

(۱۲ و ۱۸ فروردین ماه در معادن جلال آباد زرند و معدن شماره ۴ گل گهر سیرجان)

حضور شرکت فولاد بوتیای ایرانیان در فرآیند ارزیابی جایزه بهره وری ایمیدرو

تاریخ‌های ۲۸ و ۲۹ فروردین ماه

حضور شرکت بابک مس ایرانیان در فرآیند ارزیابی جایزه بهره وری ایمیدرو

تاریخ‌های ۱ و ۲ اردیبهشت ماه

حضور مجتمع کک‌سازی و پالایشگاه زرند در فرآیند ارزیابی جایزه بهره وری ایمیدرو

تاریخ‌های ۱۰، ۱۱ و ۱۲ اردیبهشت ماه

مدیریت تجربه کارکنان

دنیای خدمات منابع و سرمایه انسانی به طور اساسی از ارائه مزایا، انطباق و پردازش پرداخت، به میزبانی راه حل‌های گسترده‌تر از جمله نوسازی سرمایه انسانی، برنامه‌ریزی و توسعه مهارت تغییر یافته است.

افزایش تجربه کارکنان عملا کاتالیزوری است که باعث ایجاد مزیت رقابتی و تعامل عمیق تر در حوزه‌های شخصی، اجتماعی و سازمانی می‌شود. رهبران سرمایه انسانی با تمرکز بر این حوزه مهم و حیاتی، تجربه کارکنان را در عملکرد سرمایه انسانی و در هماهنگی با رهبری در سراسر سازمان هدایت می‌کنند. تجربه مثبت کارکنان در یک سازمان بسیار مهم است، زیرا نه تنها قصد یک کارمند برای ماندن در سازمان، بلکه بهره‌وری و میزان مشارکت او در فرایندهای سازمانی را نیز تعیین می‌سازد.

طبق گزارشات مطالعاتی، شرکت‌هایی که در چارک بالای رتبه بندی برتر تجربه کارکنان قرار دارند، ۲ برابر رضایت مشتری بیشتر، ۲ برابر نوآوری بیشتر از منظر درصد درآمد حاصل از محصولات و خدمات جدید و در نهایت، ۲۵ درصد سود بیشتر به دست می‌آورند.

مایر معتقد است، مفهوم تجربه کارکنان عمیقتر از رابطه سطحی بین شرکت و کارکنان است. تجربه کارکنان به هر لحظه مهمی از تعاملات شرکت با هر کارمند و کارکن اطلاق می‌شود که قبل از ورود فرد به سازمان (هنگامی که درگیر فرآیند استخدام است) آغاز می‌شود و تا مرحله آشنایی وی با سازمان، توسعه و رشد ادامه دارد.

دستاورد سازمان‌هایی که به سرمایه انسانی و کارکنان خود توجه نشان داده و یک محیط کاری متنوع ایجاد می‌کنند که برای همه کارکنان جذاب باشد، داشتن کارکنانی است که دارای سطح بالای رضایت شغلی هستند و منجر به توسعه و بهبود نظام‌ها و فرآیندها و در نتیجه دستیابی به اهداف سازمان می‌شوند.

نکته اساسی و الزام توجه به بهبود تجربه کارکنان در سازمان‌های ایرانی، کاهش ملموس سرمایه انسانی متخصص و مستعد، عدم انگیزه لازم کارکنان موجود سازمان و در نتیجه کاهش چشم‌گیر بهره‌وری و حرکت تدریجی به سمت مانایی و ایستایی شدید و تبدیل شدن به سازمان ناکارآمد است.

این موضوع زمانی اهمیت دوچندان پیدا می‌کند که در بسیاری از سازمان‌ها علی رغم محدودیت‌ها و مشکلات مالی، تمام تلاش جهت پرداخت و جبران خدمت به خوبی انجام شده ولی همچنان نارضایتی کارکنان در طی سفر کاری و نبود انگیزه لازم جهت پیشبرد اهداف و مأموریت سازمانی، کاملا محسوس و قابل توجه است.

یادگیری و راهبری مدیریت تجربه کارکنان

حوزه یادگیری و راهبری طرح بهبود تجربه کارکنان، به عنوان بخشی از طرح بزرگ توسعه و انتقال مفاهیم مدیریتی در هلدینگ میدکو، یکی از خدمات تخصصی مرکز یادگیری میدکو بوده که بر اساس چندین سال مطالعه ادبیات موضوعی، بررسی روندهای روز دنیا و رصد شرکت های برتر بین المللی در این حوزه و تجربه راهبری طرح‌های عملیاتی در سازمان‌های ایرانی شکل گرفته و بلوغ یافته است.

بر همین اساس و با حمایت مدیریت امور توسعه مدیریت میدکو و راهبری مرکز یادگیری میدکو، یکشنبه ۲۰ خرداد ماه، دوره یادگیری مدیریت تجربه کارکنان، با دعوت و حضور عالی تمامی همکاران توسعه مدیریت هلدینگ میدکو از تهران، کرمان و همدان، برگزار شد.

علاوه بر انتقال مباحث یادگیری حوزه تجربه کارکنان که با مشارکت و تعامل خوب همکاران محقق شد، فرصت خوبی برای تعامل، گپ و گفت و آشنایی بیشتر همکاران حوزه توسعه مدیریت درستاد وشرکت‌های زیر مجموعه فراهم گردید.