راهبردهای نوآورانه در هوشمندسازی صنعت پتروشیمی

صدف سلیمی شیخ تیمور[1]، شیوا کرمی [2]

1و2- اداره پژوهش و فناوری شرکت پتروشیمی خوزستان، sh.karami@kzpc.ir

خلاصه

صنعت پتروشیمی نقش مهمی در تقویت اقتصاد و پیشبرد نوآوری در سراسر جهان ایفا می‌کند. با این حال، با افزایش رقابت و نیاز به شیوه های پایدار عملکرد، ایجاد تحول در فرآیندهای تولید و مدیریت پتروشیمی الزامی است. چالش مبرم حفظ منابع و انرژی، تاب آوری اقتصادی در برابر تهدیدهای خارجی، افزایش بهره‌وری عملیاتی، پرورش فرهنگ نوآوری، بهینه‌سازی هزینه و رشد پایدار در پتروشیمی، در چشم انداز صنعتی ایران اولویت اصلی می باشد. برای مرتفع سازی این اهداف، راه حل های دیجیتال برای مدیریت عرضه، فرآیندهای تولید، نوآفرینی، لجستیک، توزیع، مراحل نگهداری و تعمیر و همچنین خدمات پس از فروش مورد نیاز است. هدف از این مطالعه، بررسی پتانسیل فناوری‌های هوشمند صنعت نسل 4.0 در بهبود کارایی، استفاده بهینه از منابع و پیشبرد نوآوری در بخش پتروشیمی می‌باشد.

کلمات کلیدی: صنعت نسل 0.4، تحول دیجیتال، نوآوری، پایداری، صنایع پتروشیمی

1. مقدمه

انقلاب صنعتی چهارم را می‌توان به عنوان ادغام فناوری* های دیجیتال هوشمند در فرآیندهای تولید و صنعتی تعریف نمود. این مفهوم مجموعه ای از فناوری ها همچون اینترنت اشیا صنعتی، هوش مصنوعی، تجزیه و تحلیل داده های بزرگ، روباتیک و اتوماسیون را شامل می‌شود. صنعت نسل 4.0 امکان تولید هوشمندانه و ایجاد کارخانه های هوشمند را فراهم می‌کند. افزایش بهره‌وری، کارایی، انعطاف‌پذیری و بهینه سازی و در عین حال تصمیم‌گیری هوشمندانه‌تر و سفارشی‌سازی در عملیات‌های تولید و زنجیره تامین در صنایع پتروشیمی از نتایج آن می‌باشد. امروزه، تولید به طور فزاینده ای توسط اطلاعات تقویت می‌شود. حجم عظیمی از داده ها در پتروشیمی ها و صنایع، در زمان واقعی و در تمام ساعات شبانه روز به دست می‌آید. هوش مصنوعی در قلب انقلاب صنعتی چهارم قرار دارد و به تولیدکنندگان این امکان را می‌دهد، با کشف الگوهای پنهان، همبستگی ها و سایر بینش هایی که می‌توانند به اطلاعات معنی‌دار تبدیل شوند، پیش‌بینی کرده و ارائه گزارش را تسهیل کنند. منظور از صنعت نسل 4.0 تنها یک فناوری مشخص نیست بلکه با ادغام یکپارچه تعدادی از سیستم ها، ابزارها و نوآوری ها تعریف می‌شود.

در ادامه تکنولوژی های پایه ای برای صنعت نسل 4.0 آورده شده است. این نوآوری ها میان دنیای فیزیکی و دیجیتال پل می‌زند و سیستم های هوشمند و مستقل را ممکن می‌سازد. برخی صنایع در حال حاضر از تعدادی از این فناوری‌های پیشرفته استفاده می‌کنند، اما پتانسیل کامل صنعت نسل 4.0 زمانی زنده می‌شود که آنها با هم استفاده شوند.

* Industry 4.0

2. تکنولوژی های پایه برای صنعت نسل 4.0

2-1 اینترنت اشیا صنعتی*

به شبکه ای از دستگاه‌ها، حسگرها، ماشین‌ها و سیستم‌های متصل به یکدیگر اطلاق می‌شود که داده ها را جهت بهبود فرآیند صنعتی، جمع آوری، مبادله و تجزیه و تحلیل می‌کنند. این فناوری با فعال کردن نظارت در زمان واقعی، بینش های مبتنی بر داده و اتوماسیون، نقش اساسی در بهینه سازی عملیات، افزایش کارایی و تضمین ایمنی ایفا می‌کند.[20] به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا زنجیره‌های تامین روان‌تری را اجرا کنند، محصولات و موجودی را دنبال کنند و اولویت‌ها و ارزش های مصرف‌کننده را حفظ کنند. همچنین از طریق توانایی آشکارسازی ماشین آلات فرسوده یا خرابی تجهیزات در زمان واقعی امکان تعمیر و نگهداری پیشگیرانه را فراهم می‌کند.[2] که منجر به کاهش هزینه، خطا و زمان از کار افتادن دستگاه، استفاده بهینه از منابع و افزایش بهره‌وری می‌گردد. در صنعت پتروشیمی پیاده‌سازی اینترنت اشیا، طیف متنوعی از فناوری ها و مولفه ها شامل حسگرهای پیشرفته، پروتکل‌های ارتباطی، ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها، پلتفرم‌های ابری و سیستم‌های محاسبه لبه را در بر می‌گیرد.

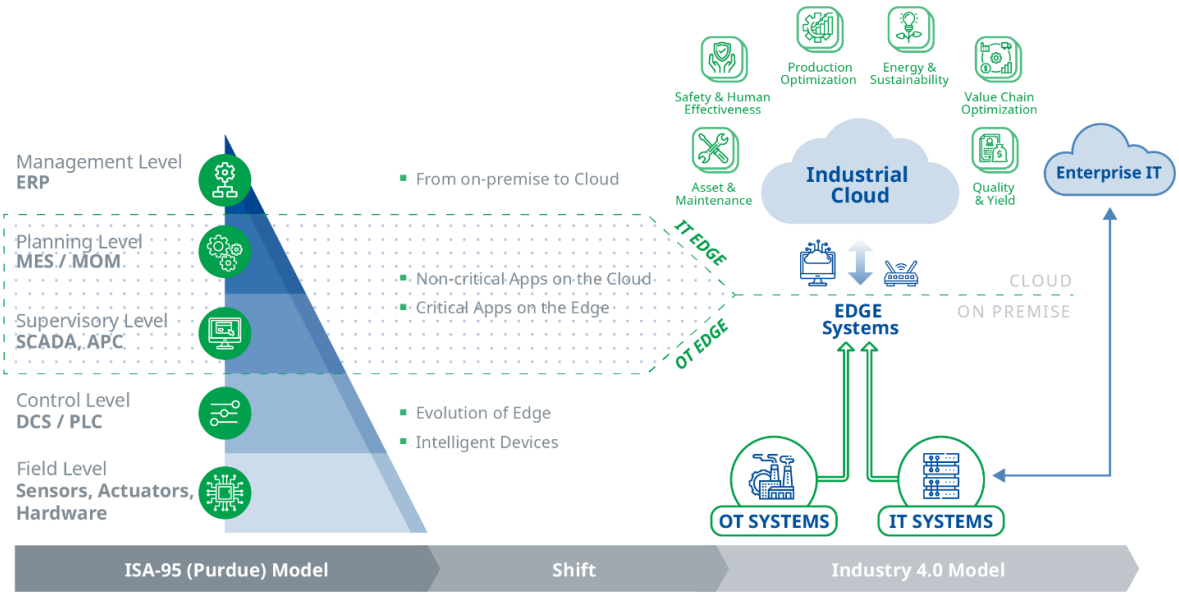
- سنسورها: اینترنت اشیا برای جمع‌آوری داده‌های بلادرنگ از نقاط مختلف زیرساخت پتروشیمی، به شدت به حسگرها متکی است. در جایی که سنسورهای ابزاردقیق وجود ندارد، از حسگرها برای نظارت بر عواملی مانند دما، فشار، نرخ جریان و ترکیبات شیمیایی استفاده می‌گردد. این حسگرها جریان پیوسته ای از داده‌ها را فراهم می‌کنند که پایه و اساس تصمیم‌گیری آگاهانه را تشکیل می‌دهد.
- پروتکل‌های ارتباطی: ارتباط کارآمد بین دستگاه‌ها و سیستم‌ها در صنعت پتروشیمی بسیار مهم است. پروتکل‌های ارتباطی مانند MQTT و OPC UA، تبادل یکپارچه داده بین سنسورها، دستگاه‌ها و سیستم‌های کنترل مرکزی را امکان‌پذیر می‌کنند. این پروتکل‌ها تضمین می‌کنند که داده‌ها حتی در محیط‌های راه دور و چالش برانگیز که معمولا در صنعت پتروشیمی یافت می‌شوند، به طور قابل اعتماد و ایمن منتقل شوند[24].
- تجزیه و تحلیل داده‌ها: حجم عظیمی از داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها باید پردازش، تجزیه و تحلیل و تبدیل به بینش‌های عملی شوند. ابزارهای تجزیه و تحلیل داده‌ها، اغلب توسط هوش مصنوعی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین پشتیبانی می‌شوند.
- محاسبات لبه : در محیط‌هایی که پردازش و تصمیم‌گیری† در زمان واقعی بسیار مهم است، محاسبات لبه وارد عمل می‌شود. این دستگاه ها که نزدیک‌تر به منبع داده قرار دارند، می‌توانند پردازش و فیلتر داده اولیه را انجام دهند و نیاز به انتقال همه داده‌ها به یک ابر متمرکز را کاهش دهند. این رویکرد تاخیر را به حداقل می‌رساند و پاسخ های سریعتری را فراهم می‌کند و آن را برای کاربردهای حساس در صنعت پتروشیمی ایده‌آل می‌کند.[15]

۲-۲ پردازش ابری‡

فناوری‌های رایانش ابری، بایگانی و پردازش مقادیر زیادی از داده‌های مرتبط با فناوری‌های صنعت نسل 4.0 را با عملکرد بالا از نظر سرعت، انعطاف‌پذیری و کارایی تسهیل می‌کنند و امکان دسترسی از راه دور به اطلاعات لحظه ای را از هر نقطه جهان فراهم می‌نمایند. رایانش ابری همچنین منجر به تولید تعداد بیشتری از خدمات توسعه‌یافته و فناوری‌های پیشرفته، از

* Industrial Internet of Things (IIOT)
† Edge computing
‡ Cloud computing

جمله هوش مصنوعی،یادگیری ماشین و یکپارچه‌سازی اینترنت اشیا بر اساس داده‌ها برای یک سیستم تولیدی جهت اطمینان از کیفیت و بهبود عملیات و تولید می‌شود[19].



شکل 1- ادغام OT و IT با کمک پردازش ابری

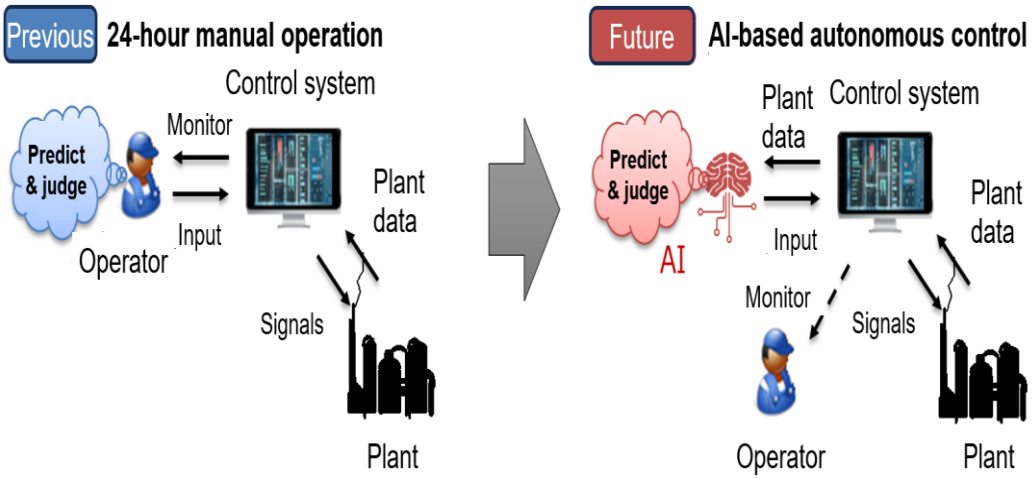
برای بیش از 50 سال، فناوری اطلاعات و فناوری عملیاتی ، بر اساس طرّاحی، در حوزه‌های[†]متمایز عمل کرده‌اند. به دلیل کنترل یا نظارت بر فرآیندها و عملیات‌های حیاتی، فناوری عملیاتی همانند جزیره‌ای، از شبکه فناوری اطلاعات در سطح سازمانی جدا شده بود و با استفاده از پروتکل‌های اختصاصی در داخل یک شبکه محدود، ارتباط برقرار می‌کرد. همانطور که در شکل۱ نمایش داده شده است، تمرکز فناوری اطلاعات تا حد زیادی بر نگهداری و حفاظت از داده‌ها بوده است. در حالی که فناوری عملیاتی بیشتر بر روی کنترل ایمن، قابل اعتماد، کارآمد و مطمئن عملیات متمرکز بود. با این حال، مرزهای بین این دو جهان به طور پیوسته در حال از بین رفتن است. حسگرهای هوشمند، پروتکل‌های جدید و رایانش ابری، فناوری عملیاتی را قادر می‌سازد تا به داده‌ها در سراسر شبکه سازمانی دسترسی داشته باشد و همچنین آن‌ها را به اشتراک بگذارد[25].

۳-۲ کلان داده و تجزیه و تحلیل به کمک هوش مصنوعی

به فناوری‌هایی اطلاق می‌شود که مقادیر زیادی از داده‌های مشتق‌شده از محصولات، فرآیندها، ماشین‌ها و افراد مرتبط در پتروشیمی و همچنین محیط اطراف آن را جمع‌آوری، بایگانی، تجزیه و تحلیل و انتشار می‌دهند. با افزایش رقابت جهانی در تولیدات صنعتی، تجزیه و تحلیل کلان داده بخشی جدایی ناپذیر از هر سازمان پایدار است.[10]

به عنوان مثال، در سال ۲۰۲۱ شرکت ENEOS و PFN اعلام کردند که موفق به بهره برداری خودگردان واحد استخراج بوتادین در کارخانه پتروشیمی ENEOS کاوازاکی ژاپن برای ۲ روز متوالی شدند. تحقیقات نشان داد که این آزمایش دو روزه، اولین مورد موفقیت آمیز فرآیند تولید خودمختار مجهز به هوش مصنوعی در یک کارخانه پتروشیمی در ژاپن است.

[*] Information technology
[†] Operational technology



شکل۲- استفاده از هوش مصنوعی در کنترل فرآیند پتروشیمی

سیستم هوش مصنوعی برای پیش بینی مقادیر آتی سنسور و الزامات عملکرد شیر کنترلی، از تاریخچه ی همبستگی داده‌های چندین سنسور و عملکرد ولو به همراه داده‌های شبیه‌سازی، استفاده کرده‌اند. سیستم هوش مصنوعی به‌طور مداوم ۲۵ عامل مهم از جمله دما، فشار، سرعت جریان و شرایط محصول را تحت نظر داشت، در حالی که به طور مستقل ۱۲ ولو را تنظیم می‌کرد. همچنین شرکت ENEOS و PFN اعلام کردند که سیستم هوش مصنوعی خود از ژانویه ۲۰۲۳ به‌طور مداوم فرآیند تولید واحد استخراج بوتادین را کنترل می‌نماید. که در نتیجه آن، نسبت به عملیات دستی، به صرفه اقتصادی و بازده بالاتری دست یافته که در شکل۲ به آن اشاره شده است. براساس تحقیقات PFN، این سیستم هوش مصنوعی، یکی از بزرگترین سیستم‌های جهان برای کنترل عملیات تولید در پتروشیمی است که در مجموع ۳۶۳ حسگر برای پیش بینی و ۱۳ ولو کنترلی دارد[7].

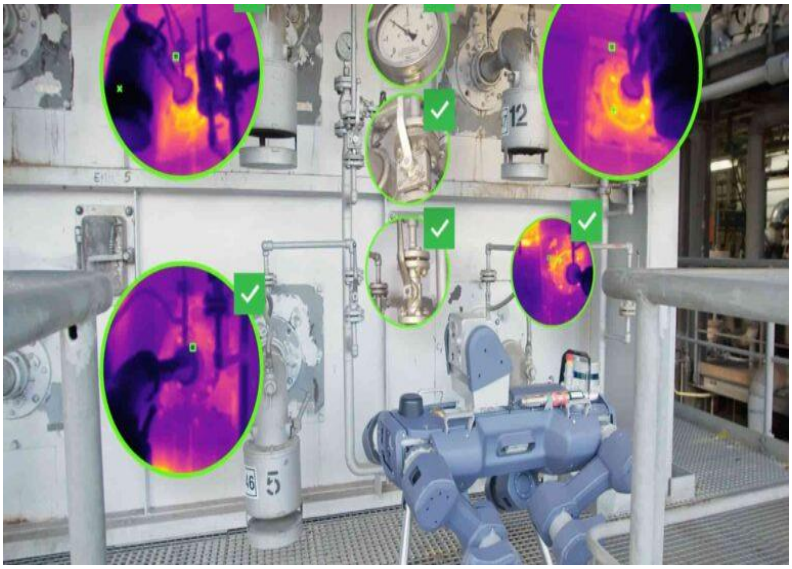
۲-4 امنیت سایبری

سیستم‌های کنترل صنعتی به‌عنوان اهداف جذاب برای عوامل تهدید سایبری شناخته می‌شوند. درحالی که به‌طور کلی تصور می‌شد که این شبکه‌ها به‌دلیل عدم اتصال به دنیای خارج از شبکه شرکت یا اینترنت، از امنیت بیشتری برخوردار هستند، اکنون مهاجمان موفق شده‌اند آن را به خطر بیاندازند و داده‌های با ارزش تولید را به سرقت ببرند. علاوه بر این، می‌توانند کنترل تجهیزات و عملیات تولید را مختل کرده و منجر به تخریب کل تجهیزات صنعتی، آسیب دائمی و یا به خطر انداختن جان پرسنل شوند. امنیت سایبری شامل اقدامات امنیتی است که برای محافظت از جریان اطلاعات در سیستم‌های شرکتی و همچنین عملیات تولید و کنترل فرآیند طراحی شده است. با پیاده‌سازی معماری Zero Trust و فناوری‌هایی مانند یادگیری ماشین و بلاک‌چین، شرکت‌ها می‌توانند تشخیص، پیشگیری و پاسخ به تهدید را خودکار کنند.
[23]

۲-5 ربات‌های خودمختار

نسل جدیدی از ربات‌های مستقل در حال ظهور است که برای انجام وظایف با حداقل دخالت انسان برنامه‌ریزی شده‌اند. این ربات‌ها، از نظر اندازه و عملکرد بسیار متفاوت هستند، از جمله می‌توان پهپادهای اسکن موجودی، ربات‌های متحرک

برای عملیات جابجایی مواد و بازرسی های صنعتی خودکار را نام برد. این ربات‌ها که به هوش مصنوعی، حسگرها و بینایی ماشین مجهز شده‌اند و قادر به انجام کارهای دشوار و ظریف هستند همچنین می‌توانند اطلاعاتی را که از محیط اطراف خود دریافت می‌کنند، شناسایی و تجزیه و تحلیل کنند. شرکت BASF با همکاری شرکت Anybotics، ارزیابی پتانسیل نظارت بر وضعیت خودکار و مستندسازی دیجیتال داده‌های عملیاتی با کمک ربات‌ها را در تاسیسات خود را آغاز کرده است. ربات Anymalx که در شکل۳ نشان داده شده است، می‌تواند بازرسی‌های صنعتی را خودکار کند و به صورت بصری سطوح مایع، مقادیر نمایش داده شده برروی گیج ها و موقعیت اهرم ها را بررسی کند. به‌علاوه بازرسی حرارتی روی پمپ ها را انجام داده و عملکرد آن‌ها را از طریق ثبت فرکانس کنترل کند. که در نهایت منجر به کاهش هزینه، بهبود ایمنی و بالا رفتن راندمان تولید می‌شود.[3]



شکل۳- ربات بازرسی عملکرد شرکت Anybotics

۲-6 دوقلوهای دیجیتال

یک دوقلو دیجیتال مجموعه‌ای سازمان یافته از روش‌های مبتنی بر فیزیک و تجزیه و تحلیل پیشرفته است که برای مدل‌سازی مجازی یک ماشین، محصول، فرآیند یا سیستم واقعی بر اساس داده‌های حسگر و سنسورها استفاده می‌شود. در این مدل داده‌ها به‌طور یکپارچه از طریق همگرایی دنیای فیزیکی و دیجیتالی به‌یکدیگر متصل می‌شوند و هوش مصنوعی در همه فرآیندها تعبیه می‌شود. این مؤلفه اصلی صنعت نسل 4.0 به کسب و کارها اجازه می‌دهد تا عملکرد و نگهداری سیستم‌ها و محصولات صنعتی را بهتر تجزیه و تحلیل کرده و بهبود بخشند. شکل۴ نمونه‌ای از یک مدل دوقلوی دیجیتال است. دوقلوهای دیجیتال با ترکیب شبیه‌سازی، تجزیه و تحلیل داده‌ها و قابلیت‌های یادگیری ماشین، می‌توانند تأثیر تغییر طراحی، سناریوهای عملکرد مختلف، شرایط محیطی و سایر متغیرها را نشان دهند. این فناوری منجر به از بین رفتن نیاز به نمونه‌های اولیه فیزیکی، کاهش زمان توسعه و بهبود کیفیت محصول یا فرآیند نهایی می‌گردد.

شکل۴- یک مدل دوقلوی دیجیتال

در شکل۵ مراحل تشکیل یک مدل دوقلوی دیجیتال مبتنی بر یادگیری ماشین توضیح داده شده است.

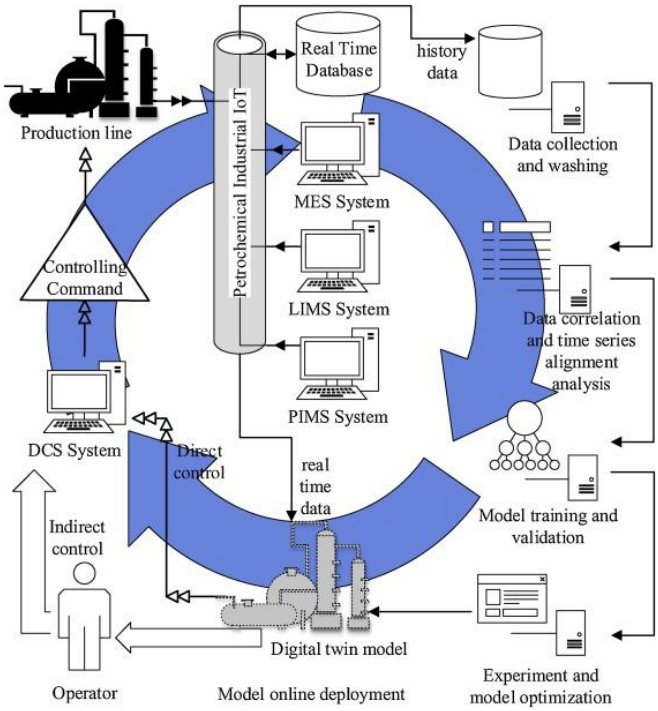
الف) آماده سازی و جمع‌آوری داده؛ به ما در درک فرآیندها و اصول تولید پتروشیمی کمک می‌کند.

ب) مهندسی ویژگی داده؛ شامل تمیز کردن داده‌ها، تبدیل داده‌ها و سایر اقدامات لازم.

پ) آموزش و اعتبارسنجی مدل.

ت) آزمایش و بهینه‌سازی؛ آزمایش در محیط واقعی و برای تست امنیت و کارایی.

ث) استقرار مدل آنلاین؛ دستورات کنترلی را از طریق DCS یا غیرمستقیم از طریق اپراتورها با ادغام اطلاعات توصیه‌ای به سیستم اعمال می‌نماید.[17]



شکل۵- تشکیل یک مدل دوقلوی دیجیتال مبتنی بر یادگیری ماشین

۲-7 تولید افزودنی/چاپ سه بعدی

فرآیند تولید افزودنی با ایجاد لایه‌هایی از مواد، از جمله انواع مختلفی از مواد مانند پلاستیک، سرامیک، فلزات و رزین‌ها، امکان تولید محصولات پیچیده را فراهم می‌کند و نیاز به مونتاژ مواد را از بین می‌برد. یک مثال قابل توجه چاپ سه بعدی است. با پرینت سه بعدی، قطعات و محصولات را می‌توان به‌عنوان فایل‌های طراحی در موجودی های مجازی ذخیره کرد و در صورت نیاز آن را چاپ کرد.[16] پتروشیمی شل، یکی از بزرگترین شرکت های نفت و گاز جهان، موفق به پرینت سه بعدی کلمپ‌های تعمیری و نصب آن در سایت خود شده است. اتصالات نشت‌بند جزو آن دست از تجهیزات تعمیراتی خطوط لوله می‌باشند که در زمانی‌که در خط لوله امکان قطع جریان سیال وجود ندارد یا دسترسی به خط برای انجام تعمیرات امکان‌پذیر نیست استفاده می‌شوند. ساخت و تحویل گیره‌های به روش قدیمی هفته ها طول می‌کشد. نسخه‌های پرینت سه‌بعدی که از قطعات کمتری تشکیل شده‌اند، تنها در 3 تا 5 روز قابل تولید هستند. نمونه این کلمپ در شکل۶ آورده شده است.[11]

(الف) (ب)

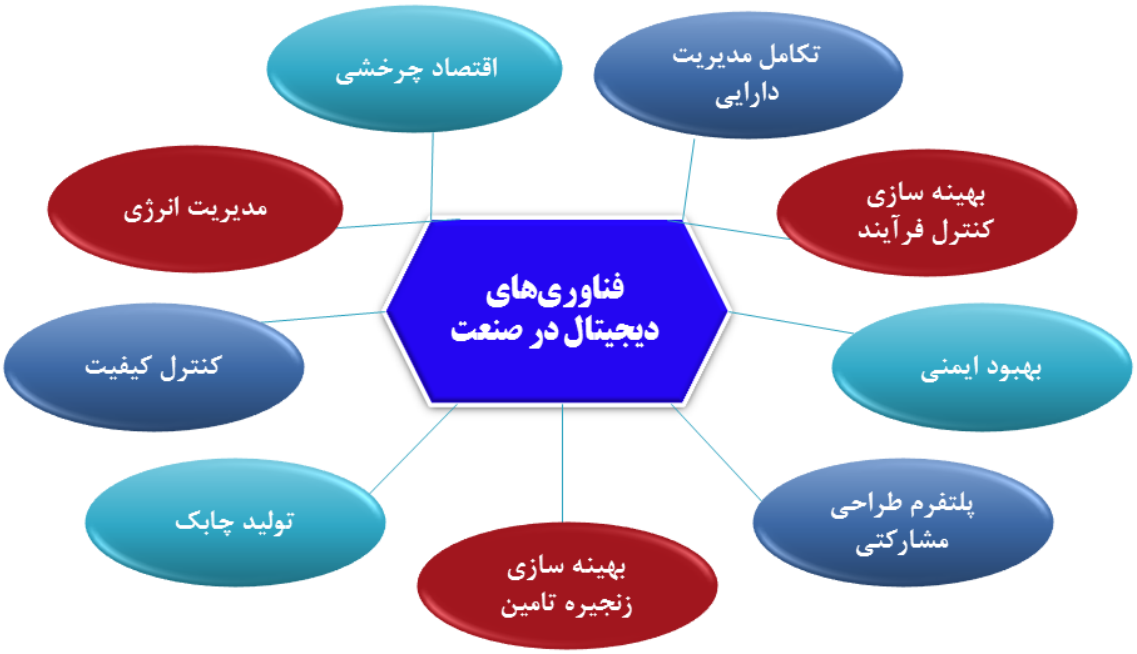
شکل۶- (الف) کلمپ سنتی (ب) کلمپ با چاپ 3 بعدی

۲-۸ ادغام افقی و عمودی

ادغام افقی، به یکپارچگی و تبادل اطلاعات در میان حوزه های مختلف در پتروشیمی مربوط می‌شود که فرآیندها در سطح تولید، در چندین واحد تولیدی و در سراسر زنجیره تامین یکپارچه می‌شوند. ادغام عمودی، به روابط شرکت با تامین کنندگان و مشتریان خود مربوط می‌شود. به عبارت دیگر، تولید با فرآیندهای تجاری همانند تحقیق و توسعه، تضمین کیفیت، فروش و بازاریابی و سایر بخش‌ها ادغام می‌شود که منجر به کاهش داده‌ها و سیلوهای داده و ساده‌سازی عملیات می‌گردد.[5]

۳. کاربرد فناوری های دیجیتال در صنایع پتروشیمی

فناوری های دیجیتال طیف گسترده ای از کاربردها در صنعت پتروشیمی دارند. برخی از این کاربردها در شکل7 آمده اند. که در ادامه به توضیح آن‌ها پرداخته می‌شود.



شکل۷-کاربرد فناوری های دیجیتال در صنعت پتروشیمی

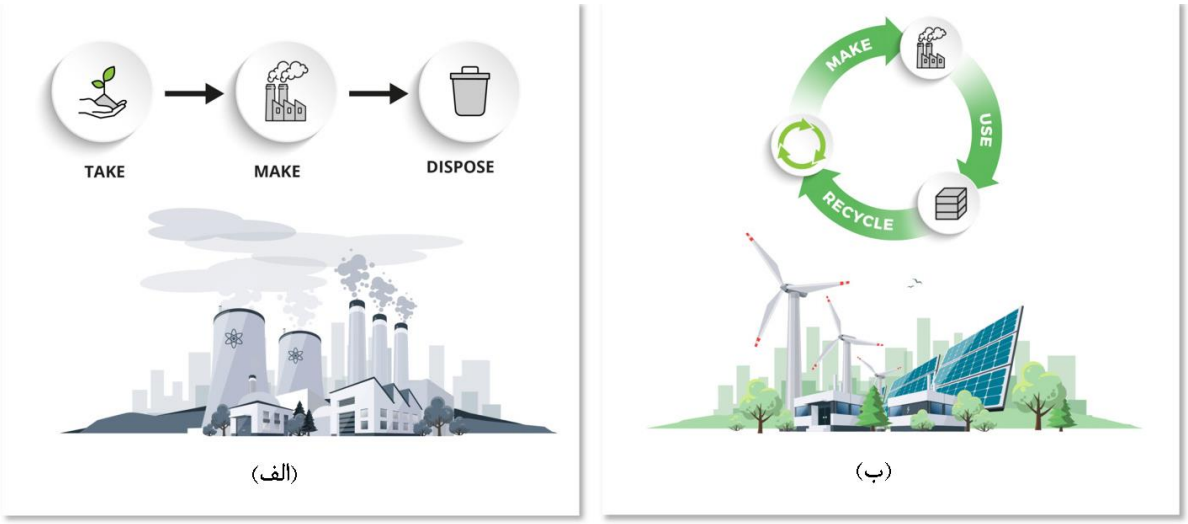
۳-۱ اقتصاد چرخشی*

اقتصاد چرخشی اخیراً به دلیل ارتباط مثبت با پایداری در سراسر جهان محبوبیت پیدا کرده است و مدل‌های کسب‌وکار مبتنی بر آن مورد توجه صنایع قرار گرفته‌اند. این روش می‌تواند توسعه اقتصادی را افزایش دهد، پایداری منابع را به ارمغان بیاورد و از محیط زیست محافظت کند. صنعت نسل 4.0 از اجرای اقتصاد چرخشی، با تمرکز بر کاهش ضایعات، استفاده مجدد، تعمیر، تغییر کاربری، نوسازی و بازیافت مواد پشتیبانی می‌کند.[18] با استفاده از تجزیه و تحلیل داده‌های بزرگ و شبکه‌های اینترنت اشیا، می‌توان چرخه عمر محصول را ردیابی نمود، لجستیک معکوس† را برای بازگشت محصول پیاده‌سازی کرده و بازیابی منابع ارزشمند را اجرا کرد. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل های پیشرفته مبتنی بر هوش مصنوعی می‌تواند به طراحان محصول کمک کند محصولات را به‌گونه ای پایدارتر توسعه دهند تا منابع کمتری هدر رفته و راحت‌تر بازیافت یا تغییر کاربری داده شوند. شکل۸ نمایش اقتصاد چرخشی در مقایسه با اقتصاد خطی می‌باشد.[4]

۳-۲ مدیریت انرژی و بهینه‌سازی ردپای کربن‡

فناوری‌های دیجیتال به بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست محیطی کمک می‌کند. تجزیه و تحلیل داده‌های بی‌درنگ، سیستم‌های نظارت بر انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی کارآمد را ممکن می‌سازد و در نتیجه هزینه و ردپای کربن را کاهش می‌دهد. با اندازه‌گیری و پایش دقیق، می‌توان زمینه‌های بهبود را شناسایی نمود، اقدامات بهینه‌سازی انرژی را اجرا کرد و استراتژی‌هایی را برای کاهش ردپای کربن در نظر گرفت.[13]

* Circular economy
† Reverse logistics
‡ ‡ Carbon footprint optimization



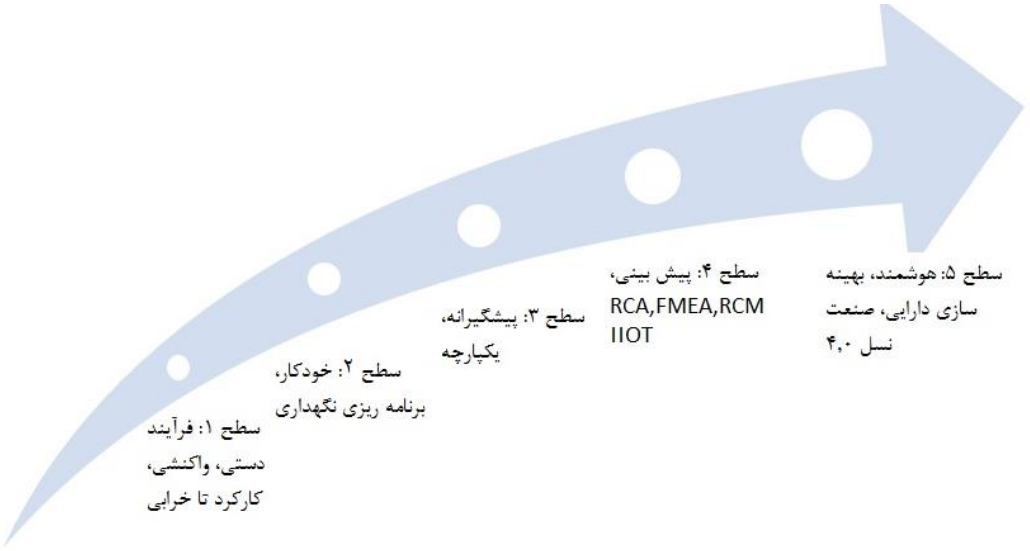
شکل۸- (الف)اقتصاد خطی،انرژی از منابع محدود (ب) اقتصاد چرخشی، انرژی از منابع تجدیدپذیر

برای مثال شرکت بورئالیس که یک شرکت شیمیایی اتریشی و هشتمین تولید کننده بزرگ پلی اتیلن و پلیپروپیلن در جهان است، یک برنامه هوش مصنوعی را برای توسعه استفاده بهینه از انرژی و تاسیسات و در نتیجه کاهش انتشار مواد زائد در محبط و کاهش هزینه ها مورد استفاده قرار داده است.

3-3-تکامل مدیریت دارایی

دنیای صنعتی در مورد استراتژی‌های تعمیر و نگهداری پیشرفت‌های فوق‌العاده ای داشته است. استراتژی تعمیر و نگهداری واکنشی، تعمیر تجهیزات در مواقع خرابی است. این استراتژی قدیمی همچنان برای دارایی‌های غیر بحرانی در صنایع مناسب است. تعمیر و نگهداری پیشگیرانه* که به‌عنوان تعمیر و نگهداری مبتنی بر تقویم نیز شناخته می‌شود، پرکاربردترین روش نگهداری است. در نظرسنجی اخیر ARC برای مدیریت عملکرد دارایی ، حدود نیمی از پاسخ دهندگان†نظرسنجی اظهار داشتند که از تعمیر و نگهداری پیشگیرانه برای اکثر دارایی های خود استفاده می‌کنند. هنگام استفاده از این رویکرد، اکثر سازمان‌ها از برنامه تعمیرات توصیه شده توسط سازندگان تجهیزات اصلی پیروی می‌کنند. طبق تحقیقات ARC، دومین رویکرد محبوب تعمیر و نگهداری، نگهداری مبتنی بر شرایط ‡ است.[22] این رویکرد شامل نظارت بر وضعیت دارایی‌ها در زمان واقعی، برای تعیین زمان نیاز به نگهداری است. با پیشرفت فناوری، صنایع می توانند فراتر از تعمیر و نگهداری مبتنی بر شرایط پیش بروند و به تعمیر و نگهداری پیشبینانه § برسند که در شکل۹ نمایش داده شده است. با ادغام سنسورها و حسگرهای اینترنت اشیا و تجزیه و تحلیل داده‌ها، صنایع پتروشیمی می‌توانند سلامت تجهیزات را در زمان واقعی نظارت کرده و فرسودگی، تخریب دارایی ها یا قطعات و طول عمر باقی مانده تجهیزات را پیش‌بینی کنند.[27] این الگوریتم‌ها، خرابی‌های احتمالی را قبل از وقوع شناسایی می‌کنند و به شما این امکان را می‌دهند که فرآیندهای پیشگیرانه را پیاده‌سازی کنید که می‌تواند زمان خرابی را تا 50٪ کاهش دهد و طول عمر دارایی را تا 40٪ افزایش دهد.

* Preventive maintenance
† Asset performance management
‡ Condition maintenance
§ Predictive maintenance



شکل۹- تکامل مدیریت دارایی

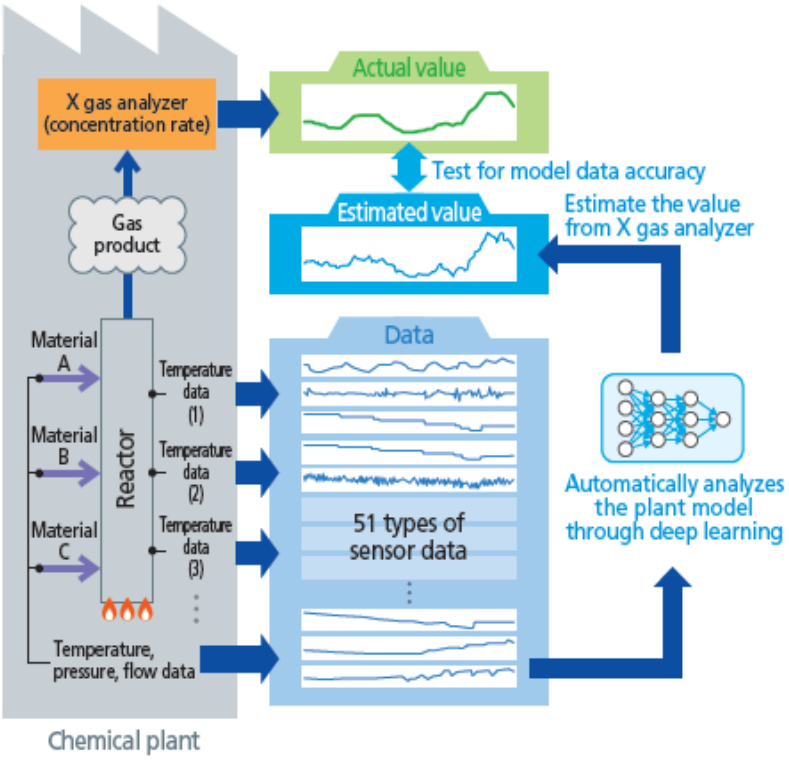
در حادثه موکاندو در سال ۲۰۱۰ در آمریکا براثر نشتی گسترده، ۹میلیون بشکه نفتی در محیط پخش شد که هزینه پاکسازی آن ۸۵۰ میلیون دلار بود. پس از بررسی‌های کارشناسانه مشخص شد که نگهداری نادرست از تجهیزات و قطع بودن سیستم اضطراری دلیل این حادثه بوده است. تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه از چنین حوادثی جلوگیری می‌کند. همچنین شرکت آرامکو عربستان سعودی، به‌طور کامل از این تکنولوژی استقبال کرده که پیاده‌سازی آن، کاهش 25 درصدی هزینه‌های تعمیر و نگهداری و کاهش چشمگیر 50 درصدی زمان توقف برنامه‌ریزی نشده را به همراه داشته است.

۴-۳ کنترل کیفیت

با استفاده از سنسورها و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، می‌توان داده‌ها را در زمان واقعی از تمام خطوط تولید جمع‌آوری کرده و با نظارت مستمر بر روند تولید، ناهنجاری‌ها و مسائل کیفی را حتی در پیچیده‌ترین فرآیندها شناسایی و یا پیش‌بینی کرد و سپس در جهت اصلاح آن اقدام نمود. تاثیر این کار در بهبود کیفیت محصول و ثابت نگه‌داشتن آن و به حداقل رساندن دوباره کاری می‌باشد.[1] بسیاری از متغیرهای فرآیند مانند دما، فشار، نرخ جریان و سطح مایع می‌تواند به‌راحتی توسط سنسورهای فیزیکی مانند ترموکوپل‌ها اندازه‌گیری شود. اما اندازه‌گیری اکثر متغیرهای کلیدی کیفیت محصول در زمان واقعی، برای استراتژی‌های کنترلی به دلایلی مانند شرایط نامناسب محیطی، هزینه هنگفت و تأخیر زیاد اندازه‌گیری فرآیند دشوار است. بنابراین، تکنیک حسگر نرم برای پیش‌بینی متغیرهای کیفیت* توسعه یافته است. حسگر نرم، متغیرهای کیفیتی را با کمک داده‌ها و مدل‌های ریاضی برآورد می‌نماید.[26] شرکت صنایع شیمیایی میتسویی† مدعی است که در پیش‌بینی دقیق کیفیت محصولات گازی در فرآیند تولید با استفاده از هوش مصنوعی موفق بوده است. همان‌طور که در شکل10 نشان داده شده، این شرکت از الگوریتم‌های یادگیری عمیق برای پردازش داده‌های جمع‌آوری شده توسط ۵۱ نوع سنسور از جمله، دما، فشار، لرزش، جریان و.. برای کمک به شناسایی مشکلات کیفیت و پیش‌بینی نتایج ترکیب‌های شیمیایی در عرض 20 دقیقه استفاده کرده است. طراحی این الگوریتم همچنین به اپراتورهای کارخانه شیمیایی اجازه می‌دهد، حسگرها یا ابزارهای اندازه‌گیری معیوب را شناسایی کرده و وضعیت فعلی و احتمالی آینده کارخانه و همچنین هرگونه ناهنجاری در محصول شیمیایی را ارزیابی کنند.[12]

* Soft sensor
† Mitsui chemicals

Figure: Quality prediction of gas products with deep learning



شکل۱۰-پیش بینی کیفیت محصول گازی با یادگیری عمیق

۳-۵ تولید چابک

هوش مصنوعی و تجزیه و تحلیل پیشرفته امکان جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل بینش‌ها و بازخوردهای مشتری را در زمان واقعی می‌دهد. تیم‌های تحقیق و توسعه و طراحان محصول می‌توانند از این داده‌ها برای شناسایی ترجیحات مصرف‌کننده، نقاط قابل اصلاح و نوآوری در محصول استفاده کنند.[8] با گنجاندن این بازخورد در فرآیند طراحی، شرکت‌ها می‌توانند به سرعت محصولاتی را توسعه دهند که با خواسته‌های بازار هماهنگی بهتری داشته باشند.[21]

۳-۶ بهینه سازی زنجیره تامین

فناوری‌های دیجیتال نقش مهمی در بهینه‌سازی زنجیره تامین در صنایع پتروشیمی دارند. الگوریتم های مبتنی بر هوش مصنوعی با پیش‌بینی تقاضا، بهینه‌سازی سطوح موجودی و برنامه‌های تولید و تنظیم پویا مسیرهای لجستیکی، عملیات زنجیره تامین را بهینه می‌کنند. این فناوری‌ها عرضه و تقاضا را متعادل کرده، انجام سفارش را بهبود بخشیده و زنجیره تامین و کارایی تولید را بهینه می‌کنند.[9; 14] شرکت شل، از هوش مصنوعی برای پیش بینی تقاضا برای محصولات خود استفاده می‌کند. این به شل کمک کرده است تا سطح تولید و موجودی خود را بهینه کند که منجر به افزایش سودآوری شده است.

۳-۷ پلتفرم‌های طراحی مشارکتی

صنعت نسل 4.0 از ایجاد پلتفرم‌های طراحی مشارکتی پشتیبانی می‌کند، که در آن تیم‌های تحقیق و توسعه، طراحان محصول و سهامداران از سراسر سازمان می‌توانند به داده‌ها و بینش‌های طراحی دسترسی داشته باشند و در آن مشارکت داشته باشند. این رویکرد باز، همکاری متقابل، به اشتراک‌گذاری ایده و تبادل دانش را تقویت می‌کند. که تاثیر آن در طراحی آگاهانه‌تر، توسعه سریعتر محصولات نوآورانه و مشتری محور می‌باشد.[14]

۳-۸ بهبود ایمنی

سیستم‌های ایمنی مبتنی بر هوش مصنوعی می‌توانند با تحلیل الگوها و رفتارها در زمان واقعی، حوادث را پیش‌بینی کرده و از آن جلوگیری کنند. سنسورها و دوربین ها می‌توانند سطح پتروشیمی را کنترل کرده و در صورت تشخیص شرایط ناامن مداخله کنند. همچنین استفاده از وسایل پوشیدنی برای اطمینان از ایمنی کارگران امکان ردیابی موقعیت پرسنل در ساعات کاری، پیش‌بینی وقوع شرایط اضطراری و واکنش سریع به حوادث احتمالی را می‌دهد.[28] شرکت شورون* یکی از بزرگترین شرکت های نفتی جهان، از هوش مصنوعی برای پیش‌بینی احتمال حوادث استفاده می‌کند. این به شورون کمک کرد تا اقدامات اصلاحی و جلوگیری از حوادث را انجام دهد، که باعث بهبود ایمنی و کاهش هزینه ها شده است.

۳-۹ بهینه سازی کنترل فرآیند

ابزارهای جدید مبتنی بر هوش مصنوعی به سیستم‌های کنترل فرآیند اجازه می‌دهند تا به طور مداوم ارزیابی عملکرد جهت شناسایی و کنترل انحرافات را انجام دهند. این ابزارها، شرایط آتی که بر فرآیند تأثیر می‌گذارد یا ممکن است عملکرد فرآیند را محدود کند، پیش‌بینی کرده و با تصمیم‌گیری به موقع و آگاهانه شرایط تولید را ارتقا می‌دهند. همچنین، امکان در نظر گرفتن وابستگی‌های زمانی مجموعه‌ای از متغیرها جهت شناسایی الگوها در سری‌های زمانی برای شناسایی علل ریشه‌ای و پیش‌بینی دقیق‌تر پیامدهای آن ها فراهم می‌کند. به حداقل رساندن تولید محصول نامرغوب و توقف های برنامه‌ریزی نشده، بهبود ایمنی افراد و تأسیسات، کاهش هزینه‌های تولید، یکپارچگی عملیات و کاهش مصرف انرژی از تاثیرات بهینه‌سازی کنترل فرآیند می باشد.[6]

۴- زیرساخت توسعه دیجیتال در صنایع

پیاده سازی فناوری های صنعت نسل 4.0 به سرمایه گذاری های اولیه قابل توجهی در زیرساخت و آموزش نیاز دارد. در جدول۱ به طرح های زیرساختی جهت تحول دیجیتال در صنایع پتروشیمی اشاره شده است.

جدول۱- زیرساخت مورد نیاز توسعه دیجیتال

* CHEVRON CORP.

ردیف	عنوان	توضیحات
1	اتصال پهن باند	این زیرساخت، ستون فقرات تحول دیجیتال را تشکیل می‌دهد و ارتباطات یکپارچه، انتقال داده و دسترسی به خدمات مبتنی بر ابر را ممکن می‌سازد.
2	مراکز داده	ایجاد مراکز داده قوی و ایمن، ذخیره، پردازش و تجزیه و تحلیل حجم زیادی از داده ها را تسهیل می کند. این زیرساخت برای صنایع برای استفاده از بینش‌های مبتنی بر داده و پیاده سازی فناوری‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی و یادگیری ماشین بسیار مهم است.
3	شبکه‌های صنعتی اینترنت اشیا	ساخت شبکه های اختصاصی برای دستگاه ها و حسگرهای صنعتی اینترنت اشیا جمع‌آوری داده‌ها و نظارت بر فرآیندهای صنعتی را در زمان واقعی امکان پذیر می‌کند.
4	چارچوب‌های امنیت سایبری	زیرساخت‌های جامع امنیت سایبری برای محافظت از سیستم‌های دیجیتال و داده‌ها در برابر تهدیدات سایبری بسیار مهم است. این شامل سرمایه‌گذاری در فناوری‌های امنیتی پیشرفته، انجام ممیزی‌های منظم، ارتقای آگاهی و برنامه‌های آموزشی امنیت سایبری است.
5	بسترهای همکاری	توسعه پلتفرم‌های دیجیتالی که همکاری بین صنایع، دانشگاه‌ها و دولت را ترویج می‌کند برای به اشتراک‌گذاری دانش، نوآوری و تبادل بهترین شیوه ها، ضروری است.
6	برنامه‌های توسعه مهارت	شروع برنامه‌های توسعه مهارت برای افزایش سواد دیجیتالی نیروی کار بسیار مهم است. این شامل ارائه آموزش در فن‌آوری های نوظهور، ابزارهای دیجیتال و تجزیه و تحلیل داده‌ها، جهت تجهیز نیروی کار به مهارت‌های لازم برای پیشرفت در یک چشم‌انداز صنعت دیجیتالی است.

5- نتیجه گیری

برای افزایش رقابت‌پذیری شرکت‌های صنعتی، افزایش بهره‌وری نیروی کار، بهبود کیفیت محصول و تسریع زمان عرضه محصولات جدید به بازار، پذیرش فناوری‌های دیجیتال و همسویی با اهداف استراتژیک مشخص شده در دستور کار اقتصادی کشور، بسیار مهم است. با استفاده از فناوری‌های دیجیتال، همانند تجزیه و تحلیل داده‌ها، هوش مصنوعی و اینترنت اشیا، شرکت‌های پتروشیمی می‌توانند عملیات خود را بهینه کنند، فرآیندهای تصمیم‌گیری را ساده‌سازی کنند و بینش‌های ارزشمندی برای نوآوری به‌دست آورند. علاوه بر این، ادغام فناوری‌های دیجیتال امکان بهبود مدیریت زنجیره تامین، پیش‌بینی بهتر و برنامه‌ریزی تقاضا، افزایش کارایی عملیاتی و پاسخگویی به پویایی بازار را فراهم می‌کند. پذیرش تحول دیجیتال، شرکت‌های پتروشیمی را قادر می‌سازد مسیری را به سوی رشد پایدار، رقابت‌پذیری و موفقیت در اقتصاد دیجیتال در حال تکامل، ترسیم کنند.

۶- مراجع

[1] Allioui, H., & Mourdi, Y. (2023), "Unleashing the Potential of AI: Investigating Cutting-Edge Technologies That Are Transforming Businesses." International Journal of Computer Engineering and Data Science (IJCEDS), 3, 1-12 .

[2] Alqahtani, A., Gupta ,S., & Nakashima, K. (2018), "Warranty and maintenance analysis of sensor embedded products using internet of things in industry 4.0." International Journal of Production Economics, 208. doi:10.1016/j.ijpe.2018.12.022

[3] ANYBOTICS. (2023), *"ANYmal X Tested for Autonomous Robot Inspections in Ex-zones at BASF."*

[4] Bag, S., & Pretorius, J.-H. (2020), "Relationships between Industry 4.0, Sustainable Manufacturing and Circular Economy: proposal of a research framework." International Journal of Organizational Analysis. doi:10.1108/IJOA-04-2020-2120

[5] Büchi, G., Cugno, M., & Castagnoli, R. (2020), "Smart factory performance and Industry 4.0." Technological Forecasting and Social Change, 150, 119790. doi:10.1016/j.techfore.2019.119790

[6] Dozie, E.A., Johnson, N., Andrew, N.H., & Justine, A.C. (2023), "Revolutionizing Petrochemical Production: Unleashing the Full Potential of Industry 4.0 to Drive Efficiency, Harness Reserve and Propel Innovation." Preprints.org.

[7] ENEOS. (2023), *"ENEOS and PFN Succeed in Autonomous Operation of Petrochemical Plant Using AI Technology."* Retrieved from https://www.preferred.jp/en/news/pr20230807 :/

[8] Ersa, J., & Tambunan, J. (2020), "Review Article : Smart Process Manufacturing for the Transformation and Development of Petrochemical Industry ".

[9] Fatorachian, H., & Kazemi, H. (2021), "Impact of Industry 4.0 on supply chain performance." Production Planning & Control, 32, 63-81. doi:10.1080/09537287.2020.1712487

[10] Ghaithan ,A., Khan, M., Mohammed, A., & Hadidi, L. (2021), "Impact of Industry 4.0 and Lean Manufacturing on the Sustainability Performance of Plastic and Petrochemical Organizations in Saudi Arabia." Sustainability, 13, 11252 .

[11] Goh, A. (2022), *"Shell printed and deployed industry first leak repair clamp."* Retrieved from

[12] Inc., M.C. (2019), *"Deep learning model predicts gas product quality and identifies quality anomalies in 20 minutes."* Retrieved from NTT Communications :

[13] Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., Suman, R., & Gonzalez, E.S. (2022), "Understanding the adoption of Industry 4.0 technologies in improving environmental sustainability." Sustainable Operations and Computers, 3, 203-217. doi:https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.01.008

[14] Jiao ,R., Commuri, S., Panchal, J., Milisavljevic-Syed, J., Allen, J.K., Mistree, F., & Schaefer, D. (2021), "Design Engineering in the Age of Industry 4.0." Journal of Mechanical Design, 143. doi:10.1115/1.4051041

[15] Joy, D., & Smith, D. (2019). *Processing Asset Data at the Intelligent Edge: Implementation of an Industrial IoT Architecture to Drive Business Value.* Paper presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition.

[16] khorram niaki, M., & Nonino, F. (2016), "Additive manufacturing management: a review and future research agenda." International Journal of Production Research, 55, 1-21. doi:10.1080/00207543.2016.1229064

[17] Min, Q., Lu, Y., Liu, Z., Su, C., & Wang, B. (2019), "Machine Learning based Digital Twin Framework for Production Optimization in Petrochemical Industry."

International Journal of Information Management, 49. doi:10.1016/j.ijinfomgt.2019.05.020

[18] Morseletto, P. (2020), "Targets for a circular economy." Resources, Conservation and Recycling, 153, 104553. doi:https//:doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104553

[19] Nieuwenhuis, B., Ehrenhard, M., & Prause, L. (2017), "The shift to Cloud Computing: The impact of disruptive technology on the enterprise software business ecosystem." Technological Forecasting and Social Change, 129. doi:10.1016/j.techfore.2017.09.037

[20] Onu, P., Pradhan, A., & Mbohwa, C. (2023), "Industrial internet of things (IIoT): opportunities, challenges, and requirements in manufacturing businesses in emerging economies." Procedia Computer Science .865-856 ,217 , doi:10.1016/j.procs.2022.12.282

[21] Scheuermann, C., Verclas, S., & Bruegge, B. (2015, 19-21 Aug. 2015). *Agile Factory - An Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process.* Paper presented at the 2015 IEEE 3rd International Conference on Cyber-Physical Systems, Networks, and Applications.

[22] SHOKER, I. *"Taking Predictive Maintenance to the Next Level."* Retrieved from ARC Advisory Group :

[23] Singh, S., Karimipour, H., HaddadPajouh, H., & Dehghantanha, A. (2020), "Artificial Intelligence and Security of Industrial Control Systems." Handbook of Big Data Privacy, 121-164 .

[24] Vaclavova, A., Strelec, P., Horak, T., Kebisek, M., Tanuska, P., & Huraj, L. (2022), "Proposal for an IIoT Device Solution According to Industry 4.0 Concept." Sensors, 22, 325 .

[25] Yokogawa. (2021), *"IT/OT Convergence: Bringing Two Worlds Together."* Retrieved from https://www.yokogawa.com/library/resources/white-papers/itot-convergence-bringing-two-worlds-together :/

[26] Yuan, X., Gu, Y., & Wang, Y. (2021), "Supervised Deep Belief Network for Quality Prediction in Industrial Processes." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, 70, 1-11. doi:10.1109/TIM.2020.3035464

[27] Zhang, W., Yang, D., & Wang, H. (2019), "Data-Driven Methods for Predictive Maintenance of Industrial Equipment: A Survey." IEEE Systems Journal, 13, 2213-2227. doi:10.1109/JSYST.2019.2905565

[28] Zhdaneev, O.V., Korenev, V.V., & Lyadov, A.S. (2020), "Opportunities and Challenges to Deploy Industry 4.0 Technologies in the Russian Oil Refining and Petrochemical Industries." Russian Journal of Applied Chemistry, 93, 1926-1930. doi:10.1134/S1070427220120150