سامانه‌های سایبری فیزیکی: تأثیر ژرف تحول دیجیتال

حرکت پرشتاب در صنعت ۴.۰ با ترکیب هوشمندی و خودکارسازی

محمد امینی، مناچنانی

چکیده مقاله

سامانه‌های سایبری فیزیکی یکی روندهای کلیدی فناوری است که تحولی عظیم را در بخش‌های مختلف صنعتی و کسب‌وکار به وجود خواهد آورد. این سامانه‌ها یکپارچگی رایانش، شبکه، تجهیزات و فرایندهای فیزیکی را فراهم می‌سازند و باعث ایجاد خودکارسازی بهینه و افزایش بهره‌وری و کنترل در امور کسب‌وکار می‌شوند. تعامل فراگیر بین دو بخش فیزیکی و سایبری یک قابلیت اساسی برای پیش‌برد صنعت ۴.۰ و ایجاد تحول در فرایندهای مختلف است و باعث دست یافتن به پایداری، کارایی، قابلیت اعتماد و استحکام در مواجهه با سیستم‌های فیزیکی مختلف در کاربردهای متنوع از جمله حمل و نقل، انرژی، تولید صنعتی، و پزشکی می‌گردد. در این مقاله مفهوم سامانه‌های سایبری فیزیکی و جنبه‌های مختلف کاربردی آنها تشریح می‌شود و چالش‌ها و فرصت‌های پیش‌رو برای این سامانه‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد.

مقدمه

آیا می توانید کارخانه ای را تصور کنید که در آن ربات‌ها، وسایل نقلیه هدایت شونده خودکار[1]، سنسورها، کنترل‌گرها، مواد خام، محصولات و پایگاه‌های داده با یکدیگر ارتباط برقرار کنند؟ اگر این ابزار به وسیله یک هوش مرکزی که عملیات را در تمام سطوح نظارت و کنترل می‌کند، هماهنگ شوند چه اتفاقی می‌افتد؟ آیا می توانید یک بندر در زمان آینده را در نظر بگیرید که جرثقیل‌ها، شناورها، کامیون‌ها و کانتینرها با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و یک هوش مرکزی تمام تدارکات را برای بهینه‌سازی عملیات و کاهش زمان انتظار برای بارگیری و تخلیه کانتینرهای باری و کامیون‌ها ترتیب دهد؟ یا حتی در یک بیمارستان که شامل عوامل مختلف زیادی است که با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند هوشمندی و ارتباط کمک کند که بهترین نتیجه سراسری محقق شود؟

اینها تنها چند نمونه از دورنمای سامانه‌های سایبری فیزیکی در آینده صنعت ۴.۰ است. اما کاربردها و نقشی که سامانه‌های سایبری فیزیکی می‌توانند ایفا کنند تقریباً بی پایان است. در واقع، سامانه‌های سایبری فیزیکی یکی از پنج روند کلیدی فناوری است که اریکسون برای تعامل شناختی بین انسان و ماشین متصور شد. این نوع از سامانه‌های مختلط و منعطف وعده تغییرات بسیاری از مشاغل، صنایع و سازمان‌ها را به روش های خلاقانه می‌دهند. به طور خلاصه می‌توان

[1] Automated guided vehicles (AGVs)

گفت که سـامانه های سـایبری فیزیکی عبارتند از یکپارچگی رایانش، شـبکه و فرایندهای فیزیکی. این سامانه‌ها ترکیب میان چند سیستم با ماهیت‌های مختلف را ایجاد می‌کنند که هدف از آن کنترل فرایندهای فیزیکی و انطباق خود با شرایط جدید در زمان واقعی از طریق دریافت بازخورد است.

سامانه‌های سایبری فیزیکی نحوهٔ تعامل انسان با سیستم‌های مهندسی شده را تغییر می‌دهند، درسـت همانطور که اینترنت نحوهٔ تعامل انسـان با اطلاعات را تغییر داد. در این سـناریو نقش اسـاسـی انسـان حفظ می شـود. انسـان به عنوان باهوش‌ترین و انعطاف‌پذیرترین «موجودیت» در سامانه‌های فیزیکی سایبری نقش نوعی «نمونه بالاترین سـطح کنترل کننده» را بر عهده می‌گیرد که عملیات فرایندهای خودکار و خودسـازمان یافته را نظارت می‌کنند. در این مقاله به بررسـی بعضی از جنبه‌های مهم سیستم‌های سایبری فیزیکی می‌پردازیم و نقش آنها را در آینده صـنایع و کسب‌وکار ها نشـان می‌دهیم. مدیران و متخصـصـان حوزه تحول دیجیتال پس از آشنایی با کاربرد مهم این سیستمها و تأثیر آنها در آینده می‌توانند راهکارهای مناسب را برای کسب‌وکارها ارائه نمایند.

سامانه‌های سایبری فیزیکی

اصطلاح سامانه‌های فیزیکی–سایبری (CPS)[2] به یک نسل جدید از سامانه‌ها با قابلیت‌های فیزیکی و رایانشی یکپارچه اشاره دارد که به روشهای متعدد قادر به تعامل با انسـان اسـت. توانایی تعامل با دنیای فیزیکی و وسـعت بخشـیدن به قابلیت‌های آن از طریق رایانش، ارتباطات و کنترل، یک توانمندسـاز کلیدی برای توسـعه فناوری در آینده اسـت. در این زمینه فرصـت‌ها و چالش‌های تحقیقاتی زیادی به وجود آمده است که از آن جمله می‌توان به طراحی و توسعه هواپیماها و وسایل نقلیه فضایی، وسایل نقلیه هیبریدی گازی–برقی، رانندگی کاملاً خودمختار و پروتزهای نسـل آینده‌ای که امکان کنترل اشیاء فیزیکی را به سیگنال‌های مغز می‌دهد، نام برد.

اگرچه سـامانه‌های سـایبری–فیزیکی از اوایل دهه ۱۹۷۰ در حال اسـتفاده بوده‌اند، اما تا سـال ۲۰۰۶ با این نام خوانده نمی‌شـدند، تا این که هلن گیل[3]، در بنیاد علوم آمریکا این واژه را معرفی کرد و از آن زمان اصـطلاح سـیسـتمهای سایبری–فیزیکی برای توصیف سیستمهایی به کار گرفته شد که دنیای فیزیکی را به دنیای مجازی پیوند می‌دهند. تا کنون این سـامانه‌ها در جوامع علمی از منظرهای مختلفی تعریف شـده‌اند. به عنوان مثال CPS را می‌توان به عنوان مجموعه‌ای از سامانه‌های فیزیکی و مهندسـی شـده که عملیات آنها توسـط یک عنصر مرکزی رایانشی و ارتباطی کنترل، هماهنگ و یکپارچه می‌شود تعریف کرد. جلوه‌های این همزیسـتی صـمیمانه بین دنیای فیزیکی و سـایبری را می‌توان از دنیای نانو تا سامانه‌های غول پیکر وسیع مشاهده کرد. می‌توان گفت که CPS نسل جدیدی از سامانه‌ها است که قابلیت‌های فیزیکی و محاسباتی را به گونه‌ای با هم یکپارچه می‌کند که توانایی تعامل با انسـان را داشـته باشـند. این یکپارچگی اساساً شامل جنبه‌های نظارتی، ارتباطی و کنترلی سیستمهای فیزیکی از منظرهای بین‌رشته‌ای می‌شود. رایانه‌های ادغام شده می‌توانند فرایندهای فیزیکی را معمولاً از طریق حلقـه‌هـای بـازخوردی نظارت و کنترل کننـد، در حـالی کـه فراینـدهـای فیزیکی بر رایانش اثر می‌گذارند و بالعکس. از سـویی دیگر ، تعامل فراگیر بین دو بخش فیزیکی و سـایبری نیز قابلیت کلیدی را برای پیش‌برد صـنعت ۴.۰ و ایجاد تحول در فرایندهای مختلف به متخصـصـــان می‌دهد و باعث دسـت یافتن به پایداری، کارایی، قابلیت اعتماد، اسـتحکام و کارامدی در مواجهه با سـیسـتم‌های فیزیکی مختلف در حوزه‌های کاربردی متنوع از جمله حمل و نقل، انرژی، تولید صـنعتی، پزشـکی، امور دفاعی و هوا فضـا می‌گردد. شـکل ۱ نمایی منطقی از سامانه‌های سایبری فیزیکی را نشان می‌دهد. به طور کلی خصوصیات سیستمهای CPS را می‌توان به شکل زیر بر شمرد:

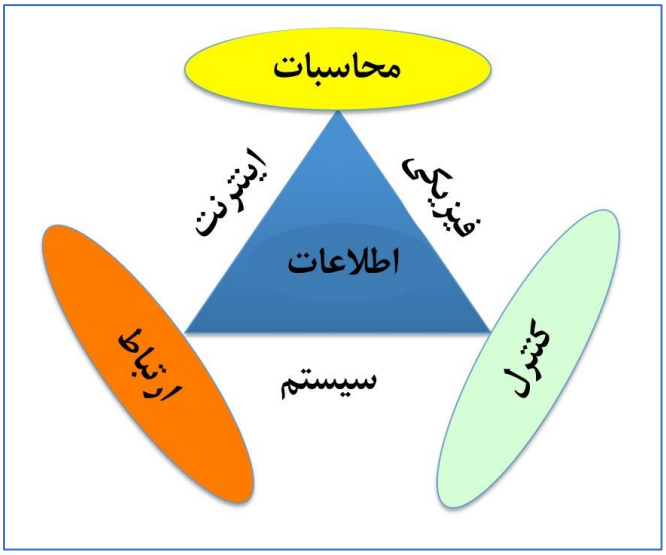
- اتصـال مؤلفه‌های فیزیکی و نرم‌افزاری: بر اسـاس نوع نیازمندی و کاربرد مورد انتظار بخشـــهای فیزیکی از جمله ابزارها، تجهیزات و فرایندهای فیزیکی در محل کسـب وکار به نرم‌افزارهای نظارتی و کنترل کننده متصـل می‌شـوند. به طور معمول تولنایی ارتباط نرم‌افزاری در هر مؤلفه فیزیکی وجود دارد و ارتباط آن با بخش سـایبری با اسـتفاده از شـبکه‌های بی سیم و یا سیم‌دار در مقیاس کوچک یا بزرگ انجام می‌شود.
- سیستمی از سیستم‌ها: CPS را می‌توان نوعی سیستم سطح بالاتر از مجموعه سیستمهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری مرتبط دانست. از این رو یک نام دیگر برای CPS سیسـتمی از سیسـتم‌ها است. به منظور انجام کنترل سـطح بالا لازم است تا محدودیت‌های زمانی و مکانی خاصی وضع شود. این سیستمها از قابلیت تغییر پیکربندی و سـازمان دهی مجدد به طور پویا بر حسـب شـرایط برخوردار هستند.
- تعـاملات بـدیع بین اجزای رایـانشـــی، کنترلی و ارتبـاطی: بـه منظور ایجـاد خودکارسازی بالا لازم است که حلقه‌های بازخوردی بین مولفه های فیزیکی و سـایبری در تمامی مقیاس ها برقرار شـود. این حلقه ها نیازمند مکانیزمهای ارتباطی بین اجزای مختلف با استفاده از پروتکل‌ها و روشهای جدید می‌باشند.

[2] Cyber-Physical Systems
[3] Helen Gill

در عین حال در این حلقه‌ها تعداد زیادی کاربر غیر متخصص نیز درگیر هستند.

- امنیت و حریم خصوصی پیچیده: با توجه به ماهیت این سیستم‌ها و برقراری تعاملات وسیع بین سیستم‌ها که احتمالا گستره آن در فضای وب نیز کشیده خواهد شد فراهم سازی امنیت و حریم خصوصی برای داده‌ها و اطلاعات رد و بدل شده بسیار حساس و پیچیده خواهد بود.

نکته مهم درباره CPS آن است که این گونه سیستم‌ها نشان دهنده «اشتراک» و نه «اجتماع» دو دنیای سایبری و فیزیکی هستند. بنابر این، فهم جداگانه مؤلفه‌های فیزیکی و رایانشی به طور جداگانه کافی نیست، بلکه باید تعامل این دو دسته مؤلفه به خوبی درک شود. یک سامانه فیزیکی سایبری، که از عوامل ناهمگنی تشکیل شده است، مستلزم مدل‌های پیچیده‌ای برای تعریف هر زیرسیستم و رفتار آن است. بنابر این، تعاملات پویا در میان زیرسیستم‌ها از طریق یک مدل بسیار گسترده هماهنگ می‌شوند: یک موجودیت کنترلی که یک رفتار قطعی هر زیرسیستمی را تضمین می‌کند. همچنین ابزارهایی وجود دارند که تعامل میان زیرسیستم های مختلف، واسطهای آنان و انتزاعاتشان را در نظر بگیرند. عملکرد ارتباطی از نظر تأخیر، پهنای باند و قابلیت اطمینان تا حد زیادی بر تعاملات پویای بین زیرسیستم ها تأثیر می گذارد. برای یک شبکه بی سیم، عواملی مانند مکان دستگاه، شرایط انتشار و بار ترافیک با گذشت زمان تغییر می کنند. این بدان معنی است که شبکه ارتباطی نیز باید به عنوان یکی از مدل‌های مهم در سامانه فیزیکی سایبری کلی یکپارچه شود.



شکل ۱. نمایی منطقی از CPS

تحول در صنعت با CPS

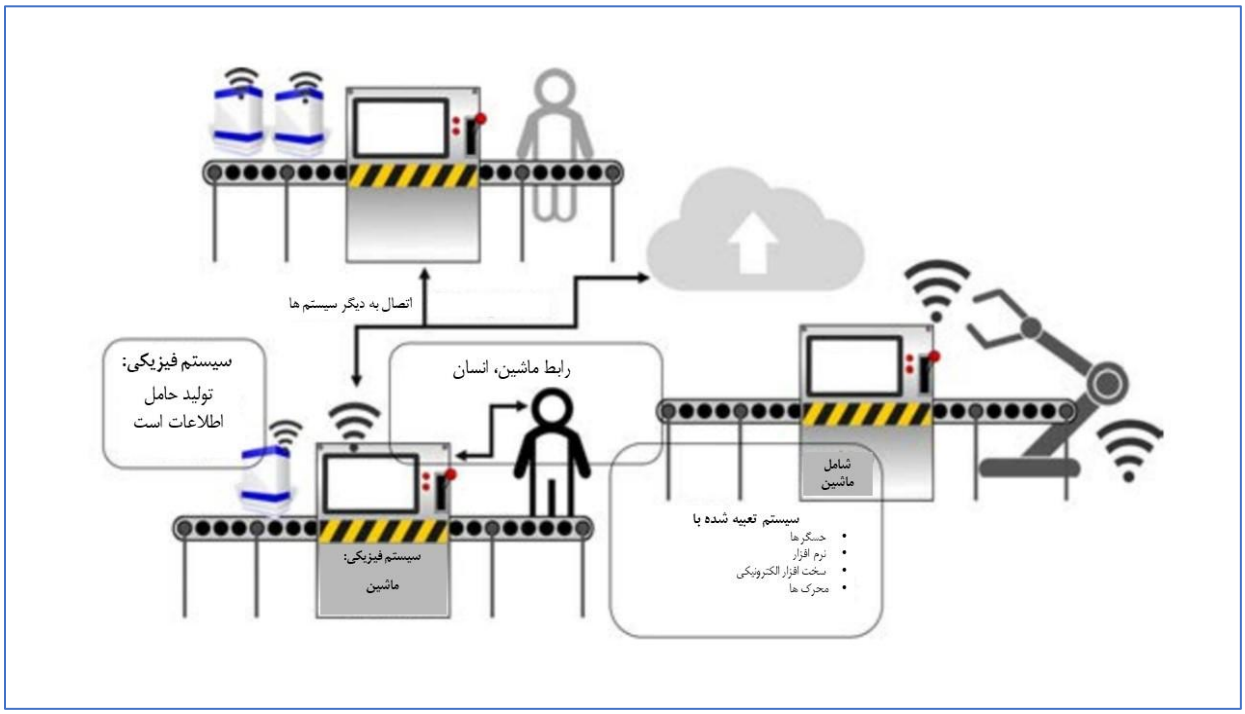
امروزه CPS توجه زیادی را در زمینه‌های مختلف بویژه در حوزه تولید به خود جلب کرده است. بر اساس مفهوم CPS قابلیت‌های سایبری (رایانش، کنترل و ارتباط) باید با تجهیزات و ماشین‌آلات تولیدی ادغام شوند تا یک شبکه هوشمند توزیع شده را بوجود بیاورند که بتواند مدیریت تجهیزات، بهینه‌سازی تولید و کنترل کیفیت محصولات را تسهیل کند. یکپارچگی ایجاد شده توسط CPS برای پیاده‌سازی تولید هوشمند[4] اهمیت دارد. در زمینه استفاده از CPS برای محیطهای تولید صنعتی تا کنون تحقیقات زیادی انجام شده است.

CPS در صنایع تولیدی

یکی از مهمترین موارد استفاده از CPS در تولید را سیستمهای تولید فیزیکی سایبری[5] (CPPS) می‌نامند. این گونه سیستم‌ها به شکل چند لایه عمل می کنند ساختار سلسله مراتبی سنتی را تغییر می‌دهند، به گونه‌ای که از محیط عملیاتی تا سامانه های برنامه ریزی منابع سازمان را پوشش می‌دهند. معمولا در چنین سیستم‌هایی یک شبکه وسیع از کنترل‌گرهای ادغامی شبکه شده وجود دارد که ابزارهای مکاترونیک را کنترل می کنند و این باعث فراهم آوردن راه حلهای خودکارسازی هوشمند برای تولید می‌شود. شکل ۲ نمونه ای از یک CPS را در فضای تولید کارخانه نشان می‌دهد.

سیستم‌های اجرای تولید (MES) نیز می‌توانند بر اساس CPS پیاده‌سازی شوند. همانطور که وسایل تولیدی در کف کارخانه توانایی رایانشی و ارتباطی بیشتری به دست می‌آورند می‌توانند عملکردهای گسترش‌یافته‌ای را به شکل داده‌ها، خدمت‌ها و توصیف‌ها ارائه دهند به گونه‌ای که دانش سطح بالاتر برای پشتیبانی از MES ایجاد شود. با رشد و توسعه فناوری‌های ابری، CPS نیز در محیط تولیدی از ابر استفاده کرد تا خدمات مورد نیاز را در هنگام مقتضی با استفاده از قابلیت‌های رایانشی قدرتمند ارائه دهد. در این صورت، عملکردهایی مانند نظارت و کنترل از راه دور، برنامه‌ریزی فرایند و مونتاژ از راه دور توسط داده‌ها، دانش و مدل‌های ذخیره شده در سِرورهای ابری قابل پشتیبانی هستند و خدمات مرتبط برای کاربران از طریق مرورگر وب فراهم می‌شود. این پیشرفت‌ها تا آنجا رسیده که چهارچوب‌هایی برای CPS صنعتی مبتنی بر ابر ارائه شده است که می‌توانند تمامی زیرساخت‌ها، پلتفرم‌ها و برنامه‌های کاربردی را به عنوان خدمت ارائه کنند.

[4] smart manufacturing
[5] Cyber-Physical Production Systems



شکل ۲. سیستمهای تولید سایبری فیزیکی

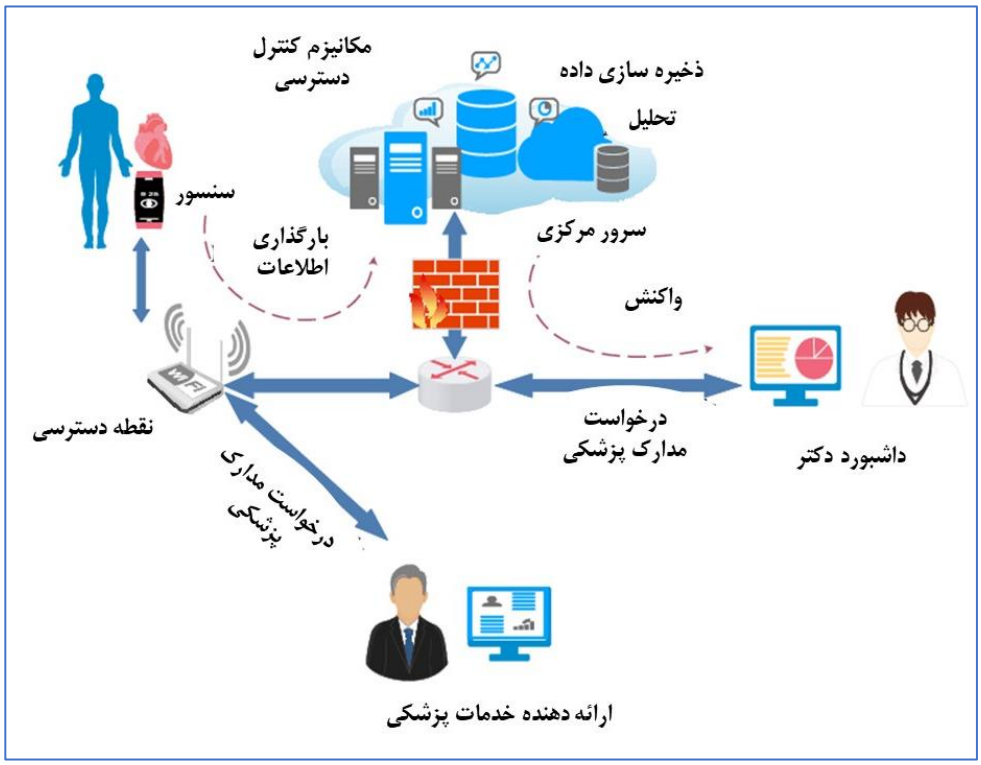
در این زمینه معماری‌هایی نیز برای تولید هوشمند سرویس‌گرا [۶] (SoSM) ارائه شده که فناوری‌های ابری، کلان داده‌ها، اینترنت اشیا و خدمات مرتبط را بر اساس معماری CPS مجتمع می‌کند. در آینده کارخانه‌ها از یک سامانه فیزیکی سایبری یا مجموعه‌ای تعاملی از سامانه‌های فیزیکی سایبری تشکیل خواهند شد که در آن کارکنان ماهر مستقیما از طریق عملکرد ماشین‌های هوشمند هماهنگ شده و توسط موجودیت کنترل مرکزی بینش‌هایی را به دست می آورند. چنین کارخانه‌هایی فراگستر، با داده های وسیع مبتنی بر شبکه‌های صنعتی ایمن خواهند بود.

CPS در پزشکی

سامانه‌های سایبری–فیزیکی فرصت‌های زیادی در مهندسی پزشکی و دارویی فراهم کرده‌اند. موارد کاربردی CPS در پزشکی عبارتند از اتاق ها و بیمارستان های هوشمند عمل های جراحی، درمان‌ها و عمل های جراحی مبتنی بر تصویربرداری، کنترل جریان سیال در آزمایش‌های بیولوژیکی و دارویی و توسعه پروتزهای عصبی و فیزیکی. حوزهٔ بهداشت و درمان به طور فزاینده‌ای بر دستگاه‌ها و سامانه‌های پزشکی متکی شده‌اند که با شبکه به هم متصل بوده و مستلزم انطباق نیازهای بیمار با شرایط خاص هستند. بنابراین، سیستم‌ها و دستگاه‌های پزشکی‌ای مورد نیاز هستند که به صورت پویا مجددا پیکربندی و توزیع شوند و قادر به تعامل با بیماران و پرستاران در محیط های پیچیده باشند. به عنوان مثال، دستگاه هایی مثل پمپ‌های تزریق بیهوشی، ونتیلاتورها و سامانه‌های توزیع اکسیژن برای پشتیبانی از تنفس و بسیاری از حسگرها برای نظارت بر شرایط بیمار در بسیاری از اتاق‌های عمل به کار می روند. اغلب، این دستگاه‌ها باید به پیکربندی سیستم جدید اضافه شوند تا با نیازهای خاص بیمار انطباق یابد. چالش این کار، توسعه سیستم‌ها و روش های کنترل قابل تائید، ایمن، قابل اتکاء و بی خطر برای طراحی و عملیاتی ساختن این سیستم هاست.

شکل ۳ یک معماری درمان با استفاده از سیستمهای سایبری–فیزیکی (H-CPS) را نشان می‌دهد. در این روش داده‌ها و اطلاعات بیمار توسط حسگرهای مختلف و مناسب برای سنجش وضعیت بیمار استخراج شده و برای پردازش و تحلیل به یک سامانه ابری ارسال می‌شود. پزشک می‌تواند اطلاعات پردازش شده و تحلیلهای مرتبط با وضعیت بیمار را در هر لحظه مورد نیاز در داشبورد خود مشاهده کرده و درباره درمان او تصمیم‌گیری لازم را انجام دهد.

[6] service-oriented smart manufacturing



شکل ۳. نمونه ای از یک H-CPS در فرایند درمان پزشکی

CPS در حمل و نقل

سیستم‌های حمل و نقل می‌توانند با استفاده از CPS تعاملات مبتنی بر بازخورد بیشتری بین مؤلفه‌های فیزیکی و سایبری ایجاد کرده و کارایی و قابلیت اعتماد حمل و نقل را در بخش‌های مختلف افزایش دهند. سیستم‌های حمل ونقل سایبری فیزیکی (TCPS) را می‌توان به سه دسته کلی تقسیم کرد: سیستم‌های مبتنی بر زیرساخت، سیستم‌های هماهنگ‌سازی زیرساخت–وسیله، سیستم‌های مبتنی بر وسیله. این سیستم‌های بخش‌های مختلف حمل و نقل را از جمله، هوانوردی، راه آهن، جاده و دریایی پوشش می‌دهد.

طرح هواپیماهای آینده و سیستم‌های مدیریت ترافیک هوایی و همچنین امنیت هوایی نیز از سامانه های سایبری فیزیکی بهره می‌برند. حوزه های خاص کاربردی شامل (۱)عملکردهایی جدیدی برای تحقق ظرفیت، ایمنی و کارایی بیشتر و همچنین تعامل و داد و ستد میان این اهداف عملکردی؛ (۲) سیستم های یکپارچه عرشه پرواز که از نمایش اطلاعات و وضعیت برای خلبانان به سمت سیستم‌های (نیمه) خودکار در حرکتند؛ (۳) نظارت بر سلامت خودرو و مدیریت سلامت خودرو؛ و (۴) تحقیقات ایمنی به نسبت سیستم‌های کنترل هواپیما. یکی از مهمترین چالشهای فنی برای تحقق وسایل نقلیه نسل آینده شامل تأیید و اعتبارسنجی سیستم‌های پیچیده حیاتی پرواز با تمرکز بر ارتقاء استفاده مطمئن، ایمن و امن برای عملیات نسل آینده است. با افزایش پیچیدگی سیستم‌ها، هزینه های مربوط به تأیید و اعتبار سنجی و اطمینان ایمنی احتمالاً هزینه طراحی و ساخت وسایل نقلیه نسل بعدی را افزایش می دهد. جامعه وسیع هوانوردی روش‌ها و مفاهیم تأیید و اعتبارسنجی را به عنوان یک زمینه تحقیقاتی مهم شناسایی کرده است.

به عنوان مثال، شرکت بوئینگ در حال حاضر بر روی کاربردهای وسیعی از CPS متمرکز شده است که هواپیماهای تجاری و نظامی، فضانوردی و ایستگاه‌های زمینی می‌شود. این کاربردها شامل چندین سامانه CPS شبکه شده است که جنبه‌های ایمنی، امنیت و قابلیت پیش‌بینی را در مقابله با محیطهای پویا مد نظر قرار می‌دهد. نیازمندی‌ها در این حوزه در مقایسه با خودکارسازی‌های معمول در محیط اداری بسیار بیشتر و پیچیده‌تر است. زیرا سیستم‌های هوانوردی باید رفتارهای بلادرنگ را پشتیبانی کنند و در بسیاری از زمینه‌ها قابلیت‌های

حیاتی از لحاظ ایمنی را دارا باشـــند.. بنابر این نیازمند قابلیت اعتماد فوق العاده هستند.

CPS در انرژی

تحقیق و توسعه شبکه‌های هوشمند و انرژی‌های تجدیدپذیر در اولویت منافع عمومی قرار گرفته است و بنابراین برای سیاست گذاران از اولویت بالایی برخوردار است. هدف در این بخش پیشرفت کارایی انرژی از طریق سرمایه‌گذاری در مدرن سازی زیرساخت‌های انرژی است. محرک‌های ژئوپلتیک برای شبکه‌های هوشمند و انرژی تجدیدپذیر عبارتند از: (۱) انتظار می رود تقاضـــای الکترونیکی تا ســـال ۲۰۳۰ به بیش از ۷۵ درصد ارتقا یابد؛ (۲) تولید برق در انتشار بیش از ۴۰ درصد گازهای گلخانه ای نقش دارد؛ (۳) هزینه تولید ۱ کیلووات چهاربرابر هزینه ذخیرهٔ ۱ کیلووات اسـت. آژانس‌های بودجه دولت در پروژه‌های نمایش و توسـعه فناوری مرتبط با شبکه‌های هوشمند با بخش‌های صنعت و خدمات و همچنین دولت های محلی وارد همکاری شده اند.

سیستم‌های انرژی سایبری–فیزیکی (CPES) گونه‌ای از CPS هستند که سیستم‌های انرژی را به سوی شبکه‌های انرژی هوشمند سوق می‌دهند. این گونه سیستم‌ها مبنایی را برای تحقق شبکه‌ها و ریزشبکه‌های هوشمند فراهم می کنند. با رشد و گسترش قابلیت‌های ارتباطی و هوش مصنوعی، راه حل‌های بهتری برای CPES در بازار فراهم شده و نبرد برای مناسب‌ترین استاندارد آغاز گردیده است. به عنوان مثال، «انرژی هوشـــمند فلوریدا» عبارت اســـت از یک اتحاد پیشـــگام عمومی/خصوصی از شهرهای میامی، برق و نور فلوریدا، شرکت جنرال الکترونیک، شبکه‌های سیلور اسپرینگ و سیسکو. این پروژه از صندوق‌های محرک اقتصادی فدرال به عنوان بخشـی از سـرمایه گذاری ۸۰۰ میلیون دلاری در فناوری شـبکه هوشمند و انرژی های تجدید پذیر طی دو سال آینده استفاده می کند. برآورد می شود ۴.۵ میلیون کنتور هوشمند در خانه‌ها و کسب و کارهای ایالات متحده نصب و توسعه فناوری مدیریت تقاضا، خودکارسازی توزیع، تولید توزیع شده، و فناوری اطلاعات نصـب شـوند. هدف از این کار نشـان دادن افزایش بهره وری انرژی از طریق بهینه سازی تقاضا و خودکارسازی توزیع شده با کاهش قابل توجه بار اوج است.

فرصت‌ها و چالش‌های CPS

در آینده، سامانه های فیزیکی–سایبری در تمام بخش های صنعتی موجود در صنعت ۴.۰ حضور خواهند داشت. سامانه های سایبری فیزیکی روش‌های جدیدی را برای تولید ایجاد می کنند که برای صنعت تبدیل به استانداردهای فردا خواهند شد. محیط‌های تولید در آینده خود پیکربند، خود بهینه‌ساز و خود تنظیم‌گر می‌شوند و به این ترتیب به چابکی، انعطاف‌پذیری و مقرون به صـرفگی بیشـتر کمک می کنند. در نهایت هر بعد کارکردی زنجیره تولید تحت تاثیر قرار خواهد گرفت، از طراحی گرفته تا تولید و کل زنجیره تأمین این تاثیر تا خدمات مشتری و پشتیبانی نیز گسترده می شود.

اســـتفاده از CPS در کاربردهای مختلف منجر به تغییرات شـــگرف و تحول بی‌نظیر فعالیت‌ها خواهد شد. به کارگیری CPS در سیستم‌های کنترل ترافیک و خودروهای هوشمند باعث کاهش چشمگیر تصادفات، جراحات و مرگ‌ومیر حاصل از آنها و نیز کاهش قابل ملاحظه ازدحام و تأخیر می‌شـود. همچنین شـبکه های هوشمند برق می‌توانند از CPS استفاده کنند به گونه‌ای که تولید و توزیع برق در شهرهای هوشمند به شکل بهینه صورت گیرد و خاموشی به حد صفر برسد. در زندگی معلولان و کم‌توانان امکان یاری بیشـــتری برای کمک به فعالیت‌های روزمره و مراقبت‌های ویژه با اســـتفاده از دســـتیاران مجازی وجود دارد. در بخش زیرســـاخت‌های حیاتی اسـتفاده از CPS به کنترل و نظارت بیشـتر کمک کرده و باعث ایجاد قابلیت نگهداری پیش‌بینانه می‌شود. در حوزه ساختمان‌سازی نیز روند به سمت ساختمان‌های هوشمند و آگاه از انرژی پیش می‌رود.

با این حال ظهور و رشـــد این ســـامانه‌های چالش‌هایی را نیز به همراه دارد. پیچیدگی فزاینده اجزا و به کارگیری فناوری‌های پیشـــرفته تربرای حســـگرها و اقدام‌گرها، ارتباط بی سیم، و فرایندهای چندهسته‌ای، ساخت سامانه های کنترلی با چالش مواجه می سـازد. تأمین کننده و یکپارچه سـاز به علم جدید سیسـتم نیاز دارند که یکپارچه سـازی قابل اعتماد و مقرون به صـرفه اجزای سیسـتم را که به طور مســـتقل توســـعه یافته‌اند، امکان پذیر کند. هر چه که به پیش می‌رویم ســـیســـتم‌های ســـایبری فیزیکی پویایی، قابلیت خودآگاهی، خودتنظیم‌گیری و خودتطبیقی بیشـتری بدسـت می‌آورند و تعیین حد آسـتانه برای این توانایی‌ها با توجه به حسـاسـیت سـامانه‌ها چالش‌برانگیز اسـت. همچنین اتکای سیسـتم‌های فیزیکی به رایانه و نرم‌افزار ممکن اسـت باعث بروز نقطه واحد شـکسـت و ایجاد خرابی‌های مهلک شود. این نرم افزار است که پیچیدگی و همچنین هزینه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. از سویی دیگر این واقعیت که در آینده افراد بیشـتری با سـطوح تخصص و سواد رایانه‌ای مختلف می‌توانند CPS خود را در اختیار داشته باشند تا حدی ترسـناک اسـت. پرسـش دیگری که مطرح می‌شـود این اسـت که چگونه می‌توانیم CPS هایی در اختیار مردم و جامعه بگذاریم که آنها بتوانند در امور زندگی خود (بویژه امور حیاتی) به این سیسـتم‌ها اعتماد داشـته باشـند. این نیاز به اعتمـاد ویژگی‌هـای مهم دیگری از جملـه قـابلیـت اعتمـاد، امنیـت، حفظ حریم خصـوصـی و قابلیت اسـتفاده مجدد را طلب می‌کند که فراهم کردن همه آنها و یا ایجاد مصالحه بین آنها بسیار دشوار است.

جمع‌بندی

انتظار می رود که ســـامانه‌های ســـایبری – فیزیکی نقش مهمی در طراحی و توسعه سیستم های مهندسی آینده با قابلیت های جدید داشته باشند که به مراتب از سطح استقلال، کارکرد، قابلیت استفاده، قابلیت اطمینان و امنیت سایبری امروز فراتر رود. پیشـــرفت در تحقیقات ســـامانه‌های ســـایبری–فیزیکی را می توان با همکاری نزدیک بین رشـــته‌های دانشـــگاهی در رایانش، ارتباطات، کنترل و ســـایر رشـــته های مهندســـی و علوم کامپیوتر، همراه با رقابت‌های بزرگ تســـریع کرد. استفاده از CPS در کاربردهای مختلف منجر به تغییرات شگرف و تحول بی‌نظیر فعالیت‌ها خواهد شد. درست همانطور که اینترنت نحوهٔ تعامل انسان با اطلاعات را تغییر داد، ســـامانه‌های ســـایبری فیزیکی نیز نحوهٔ تعامل انســـان با ســـیســـتم‌های مهندسی شده را تغییر می‌دهند. در بلند مدت، دانشجویان مهندسی و حتی دانش آموزان نیز باید از سامانه های سایبری – فیزیکی بهره مند شوند. همه دانشجویان در مرحله ای از کارهای خود ناچار به اســـتفاده از کامپیوترها برای ســـاختن سامانه‌های سایبری – فیزیکی هستند بنابراین باید برخی قواعد ابتدایی آن را یاد بگیرند. سامانه‌های فیزیکی سایبری به خوبی می توانند به پشتیبان موج جدیدی از رایانش تبدیل شـوند. این سـیسـتم‌ها باید بتوانند به لطف طراحی کد پیچیده و رلیانش کنترل، ســـطح جدیدی از عملکرد و کارایی را ارائه دهند. برای این اتفاق باید درک خود از کامپیوتر را فراتر از اطلاعات و فضـــای مجازی پیش ببریم. در گذشـته، اطلاعات ما از کامپیوتر به موس و کیبورد محدود می شـد. سـامانه های ســـایبری – فیزیکی به طور فعال و بلادرنگ با دنیای واقعی درگیر می شـــوند و انرژی واقعی را صـــرف می‌کنند. این مســـتلزم درک جدیدی از رایانش به عنوان عملی فیزیکی است – یک تغییر بزرگ در رایانش

مراجع

1) Deka, L., Khan, S.M., Chowdhury, M. and Ayres, N., 2018. Transportation cyber-physical system and its importance for future mobility. In *Transportation Cyber-Physical Systems* (pp. 1-20). Elsevier.
2) Sampigethaya, K. and Poovendran, R., 2012. Cyber-Physical System Framework for Future Aircraft and Air Traffic Control. 2012 IEEE. In AIAA 31st Digital Avionics Systems Conference (DASC) (pp. 14-18).
3) Keil, S., 2017. Design of a cyber-physical production system for semiconductor manufacturing. In Digitalization in Supply Chain Management and Logistics: Smart and Digital Solutions for an Industry 4.0 Environment. *Proceedings of the Hamburg International Conference of Logistics (HICL),* Vol. 23, epubli GmbH, Berlin, (pp. 319-340.)
4) Chen, H., 2017. Applications of cyber-physical system: a literature review. *Journal of Industrial Integration and Management*, 2(03), p.1750012.
5) Baheti, R., Gill, H., 2019. Cyber-physical Systems. *IEEE International Conference on Mechatronics (ICM).*
6) Weyer, S., Meyer, T., Ohmer, M., Gorecky, D., Zühlke, D., 2016. Future modeling and simulation of CPS-based factories: an example from the automotive industry, IFACPapersOnLine49 (31) pp 97-102.

آدرس: ایران، تهران، پردیس، پارک علم و فناوری پردیس، نوآوری ۱۲، پلاک ۱۲۳
research.fanapsoft.com
fanapsoft.research@fanap.ir