



همافزایی اینترنت اشياء و دوقلوهای دیجیتال و کاربرد آنها در توسعه صنایع



عنوان گزارش: هم‌افزایی اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال و کاربرد آنها در توسعه صنایع
کلمات کلیدی: اینترنت اشیا، دوقلو دیجیتال، دوقلو محصول و دارایی، دوقلو فرآیند، دوقلو سامانه و دوقلو مولفه
تهیه کننده: رویا ذوالفقاری
ناظر علمی: مهدی حسین پور، پژمان گودرزی و مریم محمودی
گروه پژوهشی: آزمایشگاه فناوری اطلاعات
سال انتشار: ۱۴۰۳

حقوق معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه ارتباطات و فناوری اطلاعات است و استفاده از آن با ذکر ماخذ بلامانع است.

چکیده

این گزارش به هم‌افزایی اینترنت اشیاء و فناوری دوقلوی دیجیتال^۱ و این که چگونه همجوشی قوی^۲ آنها آینده کسب و کارها را در سراسر جهان تغییر می‌دهد، می‌پردازد. مخاطبین این گزارش، کارشناسان و صنعت‌گران فعال در حوزه اینترنت اشیاء و دوقلوهای دیجیتال می‌باشند.

با مطالعه و بررسی‌های صورت گرفته، مشخص می‌شود که فرآیندهای متعارف یک شرکت یا صنعت دائماً با مشکلاتی مانند، قطعی‌های برنامه‌ریزی نشده، گردش کار ناکارآمد و هزینه‌های تعمیر و نگهداری بیش از حد مواجه می‌شوند. بنابراین هنگامی که کسب و کارها تنها به برنامه‌های نگهداری منظم و رسیدگی انسان‌ها تکیه کنند، تداوم عملیات کارآمد و بی‌عیب و نقص، چالش برانگیز می‌شود. با به کارگیری دوقلوهای دیجیتال و اینترنت اشیاء، نحوه ایجاد و اداره شرکت‌ها متحول می‌شود، هزینه‌های نگهداری به حداقل می‌رسند، مشکلات زودتر از موعد برطرف می‌شوند و راندمان عملیاتی به حداکثر می‌رسد.

در این گزارش، هم‌افزایی اینترنت اشیاء و دوقلوهای دیجیتال و بکارگیری آن در جهت بهبود عملکرد شرکت‌ها در صنایع مختلف مورد بحث قرار می‌گیرد. ابتدا، تعریف جامعی از اینترنت اشیاء و دوقلوی دیجیتال و رابطه آنها با یکدیگر عنوان می‌شود. سپس فرآیندها، ویژگی‌ها و برنامه‌های کاربردی این هم‌افزایی در صنعت بیان می‌شود. در انتها، برخی نمونه‌های کاربردی از هم‌افزایی اینترنت اشیاء و دوقلوهای دیجیتال در شرکت‌های صنایع مختلف مانند صنعت تولید، صنعت خودروسازی، صنعت بهداشت و درمان، صنعت هوافضا و صنعت ساخت‌وساز در سطح جهان عنوان می‌شوند.

^۱ Synergy between Internet of Things and Digital Twin

^۲ potent fusion

فهرست مطالب

۱ مقدمه ۱

۲	۲ اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال.....
۳	۲-۱ هم‌افزایی اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال.....
۴	۲-۱-۱ جمع‌آوری داده‌ها.....
۴	۲-۱-۲ پایش و تجزیه و تحلیل بی‌درنگ.....
۵	۲-۱-۳ حلقه بازخورد و تکرار مستمر.....
۵	۲-۱-۴ نمونه‌سازی و آزمایش مجازی.....
۵	۲-۱-۵ افزایش تجربه کاربری و شخصی‌سازی.....
۶	۲-۱-۶ یکپارچه‌سازی با دیگر سامانه‌ها.....
۶	۲-۲ استفاده از سطوح فنی اینترنت اشیا در دوقلوی دیجیتال.....
۶	۲-۲-۱ حسگرها و اکتساب داده‌ها.....
۶	۲-۲-۲ یکپارچه‌سازی و پردازش داده‌ها.....
۷	۲-۲-۳ ایجاد مدل دوقلوی دیجیتال.....
۷	۲-۲-۴ همگام‌سازی بی‌درنگ.....
۷	۲-۲-۵ بازخورد و کنترل.....
۷	۲-۲-۶ امنیت و صحت داده‌ها.....
۸	۲-۲-۷ مقیاس‌پذیری و قابلیت تعامل.....
۸	۳ اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال در صنعت.....
۹	۳-۱ فرآیند اجرای دوقلوی دیجیتال در صنعت.....
۱۰	۳-۲ ویژگی‌های دوقلوی دیجیتال در صنعت.....
۱۱	۳-۳ موارد استفاده دوقلوی دیجیتال در صنعت.....
۱۲	۳-۴ انواع نرم‌افزارهای دوقلوی دیجیتال در صنعت.....
۱۳	۳-۴-۱ دوقلوی محصول یا دارایی.....
۱۴	۳-۴-۲ دوقلوی فرآیند.....
۱۵	۳-۴-۳ دوقلوی سامانه.....
۱۶	۳-۴-۴ دوقلوی مولفه.....
۱۷	۴ برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال در صنعت.....
۱۸	۴-۱ صنعت تولید.....
۱۹	۴-۱-۱ شرکت UniLever.....
۱۹	۴-۲ صنعت بهداشت و درمان.....
۲۱	۴-۲-۱ شرکت فیلیپس.....
۲۲	۴-۲-۲ شرکت زیمنس.....
۲۲	۴-۲-۳ شرکت FEops.....
۲۲	۴-۳ صنعت خودروسازی.....
۲۴	۴-۳-۱ شرکت بریجستون.....

۲۴.....	۲-۳-۴ شرکت رنو.....
۲۴.....	۳-۳-۴ خودروهای برقی.....
۲۵.....	۴-۴ صنعت هوافضا.....
۲۶.....	۱-۴-۴ شرکت بوئینگ.....
۲۶.....	۲-۴-۴ شرکت ایرباس.....
۲۷.....	۵-۴ صنعت ساخت و ساز.....
۲۸.....	۱-۵-۴ شرکت Priva.....
۲۸.....	۵ جمع بندی.....
۳۰.....	مراجع.....

۱ مقدمه

ادغام فناوری‌های اینترنت اشیا و دوقلو دیجیتال یک پویایی قدرتمند^۱ ایجاد می‌کند، به گونه‌ای که در برخی مراجع از اصطلاح "IoT Digital Twin" نام برده می‌شود و تعامل آنها با یکدیگر سنگ بنای انقلاب صنعتی چهارم (Industry 4.0) است که نوآوری را در زمینه‌های مختلف تقویت می‌کند (شکل ۱).



شکل ۱: اصطلاح ادغام فناوری‌های اینترنت اشیا و دوقلو دیجیتال در انقلاب صنعتی چهارم [۱]

اینترنت اشیا یک الگوی فنی است که تجهیزات فیزیکی را به اینترنت متصل می‌کند و با داده‌های بدست آمده از حسگرها، ورودی‌های لازم را برای دوقلوهای دیجیتال فراهم می‌کند و دوقلو دیجیتال یک نمایش یا نماینده مجازی دقیق از یک بخش یا تمام یک سامانه فیزیکی است که قابلیت‌های تحلیلی و شبیه‌سازی را برای درک، آینده‌نگری و بهینه‌سازی عملکرد دستگاه‌ها و سامانه‌های متصل به اینترنت اشیا ارائه می‌دهد. به عنوان نمونه، دوقلو دیجیتال در تولید را می‌توان در نظر گرفت که بر روی هر قطعه تجهیزات، حسگرهای اینترنت اشیا نصب می‌شود. این حسگرها اطلاعات مربوط به ارتعاش، دما و سایر عوامل ضروری را جمع‌آوری می‌کنند. دوقلو دیجیتال این داده‌ها را به طور مستمر دریافت و با استفاده از تجزیه و تحلیل بی‌درنگ، پردازش می‌کند. بنابراین در صورت امکان خرابی، کارکنان بخش تعمیر و نگهداری با انجام اقدامات پیشگیرانه می‌توانند از خرابی دستگاه جلوگیری کنند.

بنابراین کسب و کارهایی که به خوبی اداره می‌شوند، می‌توانند خرابی تجهیزات را قبل از وقوع پیش‌بینی کنند، فرآیندهای تولید را به صورت پویا بهینه کنند و هزینه‌های عملیاتی را به سرعت کاهش دهند. این کسب و کارها از ادغام قدرتمند دوقلوهای دیجیتال و اینترنت اشیا استفاده می‌کنند که نحوه ایجاد و اداره شرکت‌ها در صنایع مختلف را متحول می‌سازد [۱].

باید توجه داشت، دو اصطلاح شبیه‌سازی و دوقلو دیجیتال که اغلب به جای یکدیگر استفاده می‌شوند، با یکدیگر متفاوت هستند. شبیه‌سازی با یک نرم‌افزار طراحی با کامپیوتر^۲ (CAD) یا سکوی^۳ مشابه انجام می‌شود و ممکن است تمامی اجزاء شیء فیزیکی را به صورت یک به یک تکرار نکند. در مقابل، از آنجایی که دوقلو دیجیتال از ورودی حسگرهای اینترنت اشیا بر

^۱ powerful dynamic

^۲ computer-aided design

^۳ Platform

روی تجهیزات واقعی ایجاد می‌شود، یک سامانه واقعی را به صورت جزء به جزء تکرار می‌کند و در طول زمان با آن سامانه تغییر می‌کند. در حالی که شبیه‌سازی‌ها اغلب در مرحله طراحی چرخه حیات محصول مورد استفاده قرار می‌گیرند و تنها پیش‌بینی می‌کنند که یک محصول در آینده چگونه کار خواهد کرد [۲].

۲ اینترنت اشیاء و دوقلو دیجیتال

اینترنت اشیاء یک الگوی فنی است که تجهیزات فیزیکی روزمره را به اینترنت متصل می‌کند و تجهیزات را قادر می‌سازد تا داده‌ها را جمع‌آوری و به اشتراک بگذارند. شبکه به هم پیوسته تجهیزات می‌تواند شامل هر چیزی از لوازم خانگی گرفته تا ماشین‌های صنعتی باشد که از طریق این اتصال، "هوشمند" می‌شوند، کارایی را افزایش می‌دهند و تصمیم‌گیری را بهبود می‌بخشند.

نمونه‌ای از اینترنت اشیاء، سامانه خودکارسازی خانگی است که کاربران می‌توانند سامانه‌های HVAC^۱ خود را نظارت و کنترل، سطح روشنایی را تنظیم و حتی قفل درها را از راه دور باز کنند. علاوه بر این، اینترنت اشیاء قادر است که شیوه تعامل انسان با محیط را متحول کند، برای نمونه، کمک کند تا در مصرف انرژی صرفه‌جویی و راحتی بیشتری در فعالیت‌های روزانه فراهم شود. به طور کلی قدرت واقعی اینترنت اشیاء در موارد زیر نهفته است:

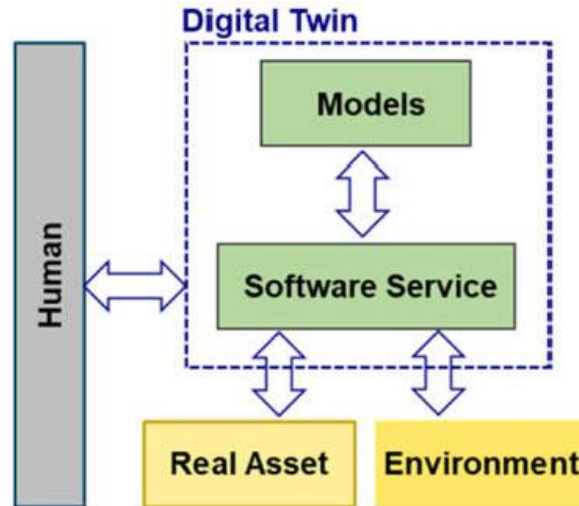
- **جمع‌آوری داده‌ها^۲:** تجهیزات می‌توانند داده‌های مربوط به محیط یا استفاده خود را دائماً جمع‌آوری کنند که منجر به انبوهی از اطلاعات می‌شود.
 - **اتصال متقابل^۳:** تجهیزات می‌توانند با هم ارتباط برقرار کنند و با هم کار کنند که منجر به خودکارسازی تجربه بهتر کاربر می‌شود.
 - **دسترسی و کنترل از راه دور^۴:** با اینترنت اشیاء، نظارت و کنترل تجهیزات از هر نقطه از جهان امکان‌پذیر است. در دنیایی که همه چیز به طور فزاینده به هم متصل می‌شود، اینترنت اشیاء مانند سیستم عصبی است که بخش‌های ناهمگون را به یک کل منسجم و هوشمند متصل می‌کند.
- دوقلو دیجیتال یک نمایش یا نماینده مجازی دقیق از یک شیء یا سامانه فیزیکی است. دوقلو دیجیتال نه تنها از نظر ظاهری بلکه از نظر عملکرد نیز همتای فیزیکی خود را به صورت جزء به جزء منعکس می‌کند (شکل ۲).

^۱ Heating, Ventilating and Air Conditioning

^۲ Data Collection

^۳ Interconnectivity

^۴ Remote Access and Control



شکل ۲: دوقلو دیجیتال [۳]

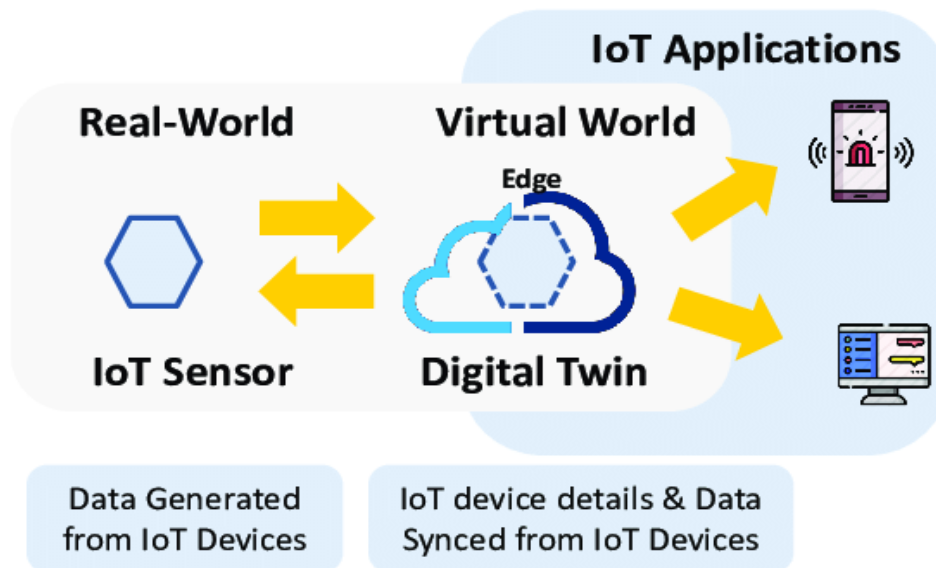
برای درک اهمیت دوقلوهای دیجیتال، موارد زیر عنوان می‌شود:

- دوقلوهای دیجیتال آینده‌ای پویا از دارایی‌های فیزیکی را ارائه می‌دهند که کارایی عملیات، تعمیر، نگهداری و آینده‌نگری را افزایش می‌دهند.
- دوقلوهای دیجیتال شبیه‌سازی‌های بی‌درنگ را فعال می‌کنند که منجر به تصمیم‌گیری و مدیریت مخاطره بهتر می‌شود.
- دوقلوهای دیجیتال یکپارچه‌سازی فیزیکی و دیجیتال را تسهیل می‌کنند و راه‌های جدیدی را برای نوآوری فراهم می‌کنند.

دوقلوهای دیجیتال هزینه‌های عملیاتی را به حداقل می‌رسانند و بهره‌وری را با تکرار دقیق سناریوهای دنیای واقعی افزایش می‌دهند [۱].

۲-۱ هم‌افزایی اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال

اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال یک هم‌افزایی قدرتمند را نشان می‌دهند. تعامل آنها سنگ بنای ۴,۰ Industry است که نوآوری را در زمینه‌های مختلف تقویت می‌کند. به عنوان نمونه، می‌توان دوقلوهای دیجیتال در صنعت تولید را عنوان کرد که روی هر قطعه از تجهیزات، حسگرهای اینترنت اشیا نصب می‌شود. این حسگرها اطلاعات مربوط به ارتعاش، دما و سایر عوامل ضروری را جمع‌آوری می‌کنند (شکل ۳). دوقلو دیجیتال این داده‌ها را به طور مستمر دریافت و بی‌درنگ پردازش و تجزیه و تحلیل می‌کند. اگر دوقلو دیجیتال الگویی را شناسایی کند که به یک خرابی قریب الوقوع دستگاه اشاره دارد، کارکنان تعمیر و نگهداری می‌توانند با انجام اقدامات پیشگیرانه از خرابی برنامه‌ریزی نشده جلوگیری کنند [۱].



شکل ۳: مدل معنایی هم‌افزایی اینترنت اشیا و دوقلو دیجیتال [۴]

علاوه بر این، دوقلو دیجیتال رویه‌های تولید را با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف تغییر می‌دهد. برای نمونه، دوقلو دیجیتال در یک نیروگاه با تغییر پارامترهای خاص می‌تواند خروجی را به حداکثر برساند و در عین حال مصرف انرژی را کاهش دهد. در حالی که، استفاده از راهکارهای مرسوم برای رسیدن به این سطح از بهینه‌سازی غیرممکن است. در ادامه تمامی مواردی که دوقلو دیجیتال از اینترنت اشیا در کاربردهای مختلف استفاده می‌کند، عنوان می‌شوند.

۲-۱-۱ جمع‌آوری داده‌ها

ویژگی‌های مرحله جمع‌آوری داده به شرح زیر است:

- **مصرف بی‌درنگ داده^۱:** دوقلوهای دیجیتال به یک جریان ثابت از داده نیاز دارند تا هم‌تایان فیزیکی خود را به طور موثر منعکس کنند. تجهیزات اینترنت اشیا تعبیه شده با حسگرها می‌توانند به این امر کمک کنند. حسگرها، بی‌درنگ داده‌ها را از محیط، تعاملات کاربر و عملکرد شیء جمع‌آوری می‌کنند.
- **نقاط داده متنوع^۲:** تجهیزات اینترنت اشیا زیادی در دسترس هستند که هر کدام به اتصال و جمع‌آوری داده‌ها کمک می‌کنند. بنابراین، دوقلوهای دیجیتال را می‌توان با نقاط مختلف داده تغذیه کرد این امر، نمایش مجازی را غنی و به تقلید جامع از هم‌تای فیزیکی کمک می‌کند.

۲-۱-۲ پایش و تجزیه و تحلیل بی‌درنگ

ویژگی‌های مرحله پایش و تجزیه و تحلیل داده به شرح زیر است:

- **همگام‌سازی^۳:** هنگامی که تجهیزات اینترنت اشیا داده‌ها را انتقال می‌دهند، دوقلوهای دیجیتال بی‌درنگ به‌روزرسانی می‌شوند. این امر تضمین می‌کند که مدل مجازی همیشه با موجودیت فیزیکی هماهنگ باشد.

^۱ Real-time Data Ingestion

^۲ Diverse Data Points

^۳ Synchronization

- **شبیه‌سازی سناریو^۱:** دوقلوهای دیجیتال با استفاده از داده‌های تجهیزات اینترنت اشیاء می‌توانند سناریوهای مختلفی را شبیه‌سازی کنند. به عنوان نمونه، وقتی یک دوقلو دیجیتال داده‌ها را از حسگرهای IoT دریافت می‌کند، می‌تواند عملکرد را در شرایط ترافیکی مختلف شبیه‌سازی کند.

۳-۱-۲ حلقه بازخورد و تکرار مستمر

ویژگی‌های این بخش به شرح زیر می‌باشد:

- **بهینه‌سازی^۲:** دوقلوهای دیجیتال با دریافت داده‌ها از حسگرهای اینترنت اشیاء می‌توانند بهینه‌سازی‌هایی را پیشنهاد دهند. به عنوان نمونه، هنگامی که در ساعات اوج مصرف، سامانه تهویه مطبوع دیجیتالی مجهز به اینترنت اشیاء مصرف انرژی بالا داشته باشد، آنگاه این دوقلو دیجیتال است که برای کاهش مصرف، تغییرات عملیاتی را پیشنهاد می‌کند.
- **تعمیر، نگهداری و آینده‌نگری^۳:** از طریق داده‌های حسگرهای اینترنت اشیاء، دوقلوهای دیجیتال با پیش‌فروشدگی می‌توانند زمان خرابی قطعه را پیش‌بینی کنند تا از خرابی‌های پرهزینه جلوگیری شود.
- **تنظیمات پویا^۴:** دوقلوهای دیجیتال با تجزیه و تحلیل مستمر می‌توانند تنظیمات را بی‌درنگ به سامانه‌های فیزیکی که از راه دور کنترل می‌شوند، بازگرداند.

۴-۱-۲ نمونه‌سازی و آزمایش مجازی

نمونه‌سازی و آزمایش مجازی به دو شکل زیر انجام می‌شود:

- **قبل از استقرار فیزیکی^۵:** قبل از استقرار یک سامانه جدید یا ایجاد تغییرات در سامانه موجود، می‌توان از دوقلو دیجیتال آن سامانه برای آزمایش مجازی استفاده کرد. داده‌های اینترنت اشیاء جمع‌آوری شده از سامانه‌های مشابه را می‌توان برای اجرای این آزمایش‌ها، کاهش خطرات و اطمینان از استقرار بدون خطا استفاده نمود.
- **آموزش و توسعه^۶:** جهت آموزش و توانمندسازی کارگران می‌توان از دوقلوهای دیجیتال ایجاد شده ماشین‌های پیچیده یا دوقلو دیجیتال یک محل کار استفاده کرد. این کار می‌تواند از تلفات و خطر آسیب رساندن به ماشین‌آلات گران قیمت جلوگیری کند.

۵-۱-۲ افزایش تجربه کاربری و شخصی‌سازی

افزایش تجربه کاربر با روش‌های زیر صورت می‌گیرد:

^۱ Scenario Simulation

^۲ Optimization

^۳ Predictive Maintenance

^۴ Dynamic Adjustments

^۵ Before Physical Deployment

^۶ Training and Development

- **بینش مصرف کننده^۱:** در بخش‌های مصرف کننده محور^۲، تجهیزات اینترنت اشیا می‌توانند رفتارها و اولویت‌های کاربر را به تصویر بکشند. دوقلو دیجیتال با استفاده از این داده‌ها می‌تواند به اصلاح طرح‌های محصول یا خدمات کمک کند.
- **شخصی‌سازی^۳:** برای خانه‌های هوشمند، دوقلوهای دیجیتال می‌توانند تجربیات کاربر را بر اساس اولویت‌های فردی شبیه‌سازی کنند. این امر می‌تواند به اطمینان از یک تعامل متناسب برای هر کاربر کمک کند.

۶-۱-۲ یکپارچه‌سازی با دیگر سامانه‌ها

دوقلوهای دیجیتال به صورت مجزا^۴ کاربرد ندارند و اغلب با دوقلوهای سامانه‌های دیگر در تعامل سامانه‌ای^۵ هستند. بنابراین اینترنت اشیا، لایه داده‌ای را فراهم می‌کند که تضمین می‌کند این تعاملات بر اساس اطلاعات جاری و دقیق هستند. به عنوان نمونه، در یک مدل شهر هوشمند، دوقلو دیجیتال یک سامانه ترافیکی با استفاده از داده‌های اینترنت اشیا می‌تواند بی‌درنگ با سامانه حمل و نقل عمومی در تعامل باشد [۱].

۲-۲ استفاده از سطوح فنی اینترنت اشیا در دوقلو دیجیتال

سطوح فنی اینترنت اشیا که در دوقلوهای دیجیتال استفاده می‌شوند، شامل موارد زیر می‌باشند.

۱-۲-۲ حسگرها و اکتساب داده‌ها

تجهیزات اینترنت اشیا دارای حسگرهای تعبیه شده زیادی مانند، حسگرهای دما، شتاب‌سنج، ژيروسکوپ و غیره می‌باشند که دائماً داده‌ها را از محیط خود جمع‌آوری می‌کنند. این بخش زیربنای هر دوقلو دیجیتال است، زیرا داده‌های دنیای واقعی پایه و اساس نمایش مجازی را تشکیل می‌دهند.

تجهیزات IoT، اغلب از پروتکل‌های ارتباطی مانند MQTT^۶، CoAP^۷ و HTTP^۸ برای انتقال داده‌ها استفاده می‌کنند. این پروتکل‌ها سبک^۹ هستند و برای حداقل مصرف انرژی و حداقل استفاده از پهنای باند طراحی شده‌اند.

۲-۲-۲ یکپارچه‌سازی و پردازش داده‌ها

جهت پردازش داده‌ها، محاسبات لبه صورت می‌گیرد و قبل از اینکه داده‌های تجهیزات اینترنت اشیا به دوقلو دیجیتال

^۱ Consumer Insights

^۲ consumer-centric sectors

^۳ Personalization

^۴ isolated

^۵ System Interplay

^۶ Message Queuing Telemetry Transport

^۷ Constrained Application Protocol

^۸ Hyper Text Transfer Protocol

^۹ lightweight

برسد، پیش‌پردازش ممکن است در محل یا روی تجهیز انجام شود. به عنوان نمونه، یک حسگر ممکن است داده‌ها را با سرعت ۱۰۰۰ نمونه در ثانیه جمع‌آوری کند ولی برای کاهش بار انتقال داده ممکن است هر دقیقه تنها یک خلاصه یا یک میانگین به دوقلوی دیجیتال ارسال شود.

پس از انتقال، داده‌ها در پایگاه داده‌های با فضای ذخیره‌سازی وسیع ذخیره می‌شوند. سکوهاي ذخیره‌سازی مانند، AWS S^۳، Azure Blob Storage و غیره می‌توانند داده‌های تولید شده توسط تجهیزات اینترنت اشیا را تا حجم پتابایت^۱ مدیریت کنند.

جهت تجزیه و تحلیل جریان نیز ابزارهایی مانند، Azure Stream Analytics یا AWS Kinesis می‌توانند داده‌ها را بی‌درنگ پردازش کنند و به دوقلوی دیجیتال این امکان را می‌دهند که در هنگام وقوع تغییرات به آنها واکنش نشان دهند.

۳-۲-۲ ایجاد مدل دوقلوی دیجیتال

سکوهای نرم‌افزاری مانند Autodesk یا Siemens NX را می‌توان برای ایجاد مدل‌های سه بعدی دقیق از موجودیت فیزیکی استفاده کرد. این امر فقط برای نمایش بصری نیست، بلکه برای شبیه‌سازی ساختاری و عملکردی نیز کاربرد دارد. شبیه‌سازی‌ها اغلب مبتنی بر فیزیک پایه هستند، بنابراین برای شبیه‌سازی سامانه‌های پویا می‌توان از سکوهایی مانند MATLAB استفاده کرد تا بتوان این نوع شبیه‌سازی‌ها را با استفاده از داده‌های تجهیزات اینترنت اشیا اجرا نمود.

۴-۲-۲ همگام‌سازی بی‌درنگ

برای اطمینان از به‌روزرسانی‌های بی‌درنگ بین تجهیزات اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال، فناوری‌هایی مانند، WebSockets و جهت به‌روزرسانی مستمر، از API‌ها استفاده می‌شوند. این امر تضمین می‌کند که دوقلوی دیجیتال بتواند تغییرات دنیای واقعی را بی‌درنگ منعکس کند.

۵-۲-۲ بازخورد و کنترل

همانطور که تجهیزات IoT دارای حسگرهایی برای جمع‌آوری داده‌ها هستند، آنها همچنین دارای محرک‌هایی^۲ جهت اجرای دستورات نیز می‌باشند. بر پایه تجزیه و تحلیل‌ها در دوقلوی دیجیتال، می‌توان دستورات را جهت انجام تنظیمات به تجهیزات اینترنت اشیا ارسال کرد. این کار با استفاده از الگوریتم‌های کنترلی و پروتکل‌های مناسب تجهیز انجام می‌شود.

۶-۲-۲ امنیت و صحت داده‌ها

با توجه به ماهیت حساس داده‌های در حال انتقال، رمزگذاری انتها به انتها ضروری است. به عنوان نمونه، جهت یکپارچگی و محرمانه بودن داده‌ها می‌توان از پروتکل TLS^۳ استفاده کرد. همچنین جهت صحت داده‌ها در تجهیزات اینترنت اشیا می‌توان

^۱ Petabytes

^۲ actuators

^۳ Transport Layer Security

از فناوری‌هایی مانند، گواهی‌های دیجیتال یا احراز هویت متقابل نیز استفاده نمود تا اطمینان حاصل شود که داده‌های دریافتی، واقعی و از یک منبع قابل اعتماد هستند.

۷-۲-۲ مقیاس‌پذیری و قابلیت تعامل

با توجه به ماهیت پویای شبکه‌های اینترنت اشیا که می‌توان تجهیزات را به شبکه اضافه یا حذف کرد، در معماری‌های دوقلو دیجیتال نیز اغلب برای مقیاس‌پذیری و نگهداری می‌توان از ریزخدمات و فناوری‌های container مانند، Docker یا Kubernetes استفاده نمود.

قالب‌های استاندارد داده مانند، JSON یا XML و مدل‌های داده صنعتی مانند، OPC UA^۱ جهت اطمینان از قابلیت تعامل بین تجهیزات و سامانه‌های مختلف در اینترنت اشیا استفاده می‌شوند [۱].

۳ اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال در صنعت

دوقلو دیجیتال به روش‌های مختلفی توسط صنعت و دانشگاهیان تعریف می‌شود. در تعریف اول، دوقلو دیجیتال به عنوان یک نمایه دیجیتال پویا از رفتار یا فرآیند گذشته و حال یک شیء فیزیکی توصیف می‌شود که به بهینه‌سازی عملکرد تجاری آن کمک می‌کند. در تعریف دوم، دوقلو دیجیتال به عنوان یک مدل یکپارچه از یک محصول ساخته شده تعریف می‌شود که برای نشان دادن عیوب ایجاد شده در زمان تولید و به‌روزرسانی مستمر در هنگام استفاده، در نظر گرفته می‌شود. در واقع، دوقلو دیجیتال از ابعاد مختلف داده‌های قابل توجه، تجمعی، بی‌درنگ دنیای واقعی ساخته می‌شود. این داده‌ها تبدیل به همتای دیجیتالی محصول یا فرآیند می‌شوند. دوقلو دیجیتال یک محصول یا فرآیند همیشه در حال توسعه است، بنابراین بازخورد همتای دیجیتالی در دنیای فیزیکی ممکن است منجر به اقداماتی مانند تغییر در طراحی محصول یا فرآیند شود.

در این راستا، Industry ۴,۰ به طیف وسیعی از فناوری‌های جدید و پیشرفت‌های دیجیتالی اشاره دارد که صنعت تولید را با ادغام دنیای فیزیکی و مجازی تغییر می‌دهند. بسیاری از سازمان‌ها در راستای توسعه زیست‌بوم‌های دیجیتالی جامع خود از ادغام سکوها اینترنت اشیا صنعتی با دوقلو دیجیتال در فرآیندهای تولید استفاده می‌کنند ولی برخی از سازمان‌ها هنوز تردید دارند. با این وجود، Industry ۴,۰ با استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا و دوقلو دیجیتال به راه‌حل‌های بسیاری جهت ایجاد یک «کارخانه افسانه‌ای با چراغ‌های خاموش» اشاره دارد که در آن حضور انسان به طور چشمگیری به حداقل می‌رسد و ایمنی کارگران تامین می‌شود. بنابراین در ادامه اهداف ایجاد دوقلو دیجیتال در Industry ۴,۰، عنوان می‌شوند.

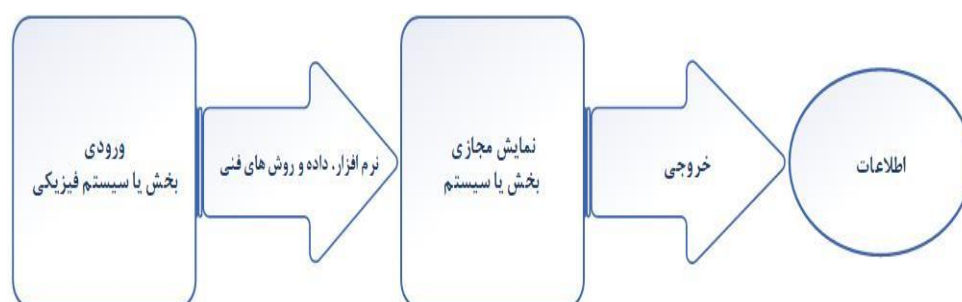
- هدف از ایجاد دوقلو دیجیتال محصولات در Industry ۴,۰ این است که فرآیندهای مرتبط با همتایان فیزیکی و رفتار تجهیزات واقعی را به صورت دیجیتالی به تصویر بکشد.
- راه‌حل دوقلو دیجیتال در Industry ۴,۰ به هر کسب و کار علاقمند به دیجیتالی کردن دارایی‌های صنعتی خود، مرتبط می‌باشد. به طور دقیق‌تر، این راه‌حل برای سازمان‌های تولیدی در نظر گرفته می‌شود که قصد دارند کارایی سامانه تولیدی و کیفیت کالاهای خود را بهبود بخشند و ضایعات و اثرات زیست محیطی را کاهش دهند.

^۱ Open Process Control Unified Architecture

- یک راه‌حل دوقلوی دیجیتال در Industry ۴,۰ باید از مدل‌سازی روابط بین تجهیزات اینترنت اشیاء پشتیبانی کند.
 - مدل دوقلوی دیجیتال تنها به تجهیزات اینترنت اشیاء محدود نمی‌شود، این مدل همچنین دارای طیف وسیعی از قابلیت‌های انتزاعی نیز می‌باشد.
 - پیاده‌سازی مدل‌های کسب و کار Industry ۴,۰ با جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل، به دست آوردن بینش و انجام اقدامات مشخص آغاز می‌شود.
 - تولیدکنندگان برای دوام در بازار رقابتی سال‌های آینده باید برای سرمایه‌گذاری در سکوها اینترنت اشیاء صنعتی (IIoT) و دوقلوهای دیجیتال متعهد باشند.
 - مشتریان باید بتوانند مدل‌های دوقلوی دیجیتال جدید را برای بخش یا موارد استفاده^۱ خود به صورت سفارشی طراحی کنند.
 - در کسب و کارهای Industry ۴,۰، یک سکو باید بتواند یک چارچوب تدارکاتی برای تولید دوقلوی دیجیتال و ارتباط آن با تجهیزات مختلف اینترنت اشیاء را فراهم کند.
- در انتها خاطر نشان می‌شود که دوقلوی دیجیتال در صنعت به مهندسان اجازه می‌دهد تا هر گونه نگرانی احتمالی در مورد کیفیت و دوام را قبل از تکمیل طرح کشف کنند. این امر منجر به صرفه‌جویی قابل توجهی در هزینه‌ها می‌شود [۴].

۳-۱ فرآیند اجرای دوقلوی دیجیتال در صنعت

دوقلوی دیجیتال یک فناوری آماده و بسیار مقیاس پذیر برای صنعت است که قابلیت‌های Industry ۴,۰ را در تولید صنعتی سنتی معرفی می‌کند. دوقلوی دیجیتال از یک سکوی IIoT مبتنی بر ابر و از ابزارهای نظارت بر اطلاعات، آموزش اپراتور خاص و کمک از راه دور استفاده می‌کند. شرکت‌هایی که از دوقلوی دیجیتال استفاده می‌کنند، این امکان را دارند که از مزایای قابل توجهی مانند عملیات پیشرفته، ارائه سریع‌تر محصول به بازار و نوآوری محصول و خدمات بهره ببرند. شکل ۴، مراحل فرآیند اجرایی دوقلوی دیجیتال در Industry ۴,۰ را نشان می‌دهد [۵].



شکل ۴: فرآیند اجرایی دوقلوی دیجیتال در صنعت [۵]

مراحل انجام فرآیند ایجاد دوقلوی دیجیتال در صنعت به شرح زیر است:

^۱ Use cases

(۱) در مرحله اول، ورودی فرآیند مشخص می‌شود که بخشی از سامانه یا تمام سامانه فیزیکی است که دوقلو دیجیتال آن باید ایجاد شود.

(۲) جهت ایجاد دوقلو دیجیتال در مرحله دوم، یک جریان ثابت داده نیاز است تا همتای فیزیکی خود را به طور موثر منعکس کند. داده‌های جمع‌آوری شده از حسگرها یا تجهیزات اینترنت اشیا تعبیه شده، توسط نرم‌افزاری مانند Facilio تجزیه و تحلیل و یکپارچه می‌شوند تا با روش‌های فنی مختلف یک مدل دوقلو دیجیتال جامع ایجاد شود.

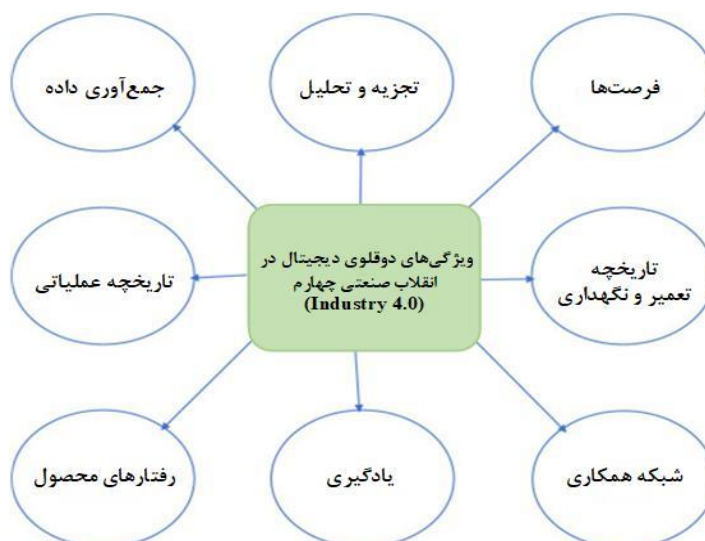
(۳) در مرحله سوم، نمایش دوقلو دیجیتال بخش یا سامانه فیزیکی صورت می‌پذیرد که خروجی آن می‌تواند اطلاعاتی باشد که از تبدیل داده‌ها بدست می‌آید.

باید توجه داشت که نظارت بی‌درنگ در تمام مراحل فرآیند می‌تواند به شناسایی مشکلات احتمالی قبل از وقوع و کاهش زمان از کار افتادگی، کمک کند [۶].

۳-۲ ویژگی‌های دوقلو دیجیتال در صنعت

دوقلو دیجیتال را می‌توان به عنوان یک نمونه اولیه از محصول در حال تولید نیز در نظر گرفت، به گونه‌ای که به تنهایی می‌تواند به عنوان یک نمونه اولیه عمل کند تا آنچه در نسخه فیزیکی در هنگام ساخت رخ می‌دهد را تقلید نماید. دوقلو دیجیتال به داده‌های مرتبط با طول عمر یک محصول مانند، الزامات طراحی، روش‌های ساخت، تجهیزات، مواد و غیره نیاز دارد تا رفتار آن را در یک برنامه کاربردی واقعی تکرار کند. دوقلو دیجیتال همچنین می‌تواند داده‌های عملیاتی مانند بازخورد بی‌درنگ، تجزیه و تحلیل تاریخی^۱ و سوابق نگهداری را جمع‌آوری کند تا هر گونه تغییر، قبل از اجرا در سامانه واقعی مانند خودرو و کاوشگر یا مریخ‌نورد در سامانه‌های شبیه‌ساز آزمایش شود و اطمینان حاصل شود که نتیجه مطلوب را ارائه می‌دهد. بنابراین با استفاده از دوقلو دیجیتال، مهندسان می‌توانند عواقب ناخواسته را قبل از اجرای اصلاحات سامانه مرتفع کنند. در شکل ۵، ویژگی‌های قابل توجه دوقلو دیجیتال در Industry ۴,۰ نشان داده می‌شود [۵].

^۱ historical analysis



شکل ۵: ویژگی‌های دوقلوهای دیجیتال در انقلاب صنعتی چهارم [۵]

۳-۳ موارد استفاده دوقلوهای دیجیتال در صنعت

امروزه، فناوری دوقلوهای دیجیتال جهت دیجیتالی کردن، بهینه‌سازی و مدیریت هوشمندانه‌تر و کارآمدتر مراکز صنعتی و کارخانه‌ها ضروری می‌باشد. این فناوری تولیدکنندگان را قادر می‌سازد تا با در نظر گرفتن جنبه‌های مختلف تولید، عملیات خود را بهتر درک کنند. این فناوری همچنین نظارت بر تجهیزات، بهینه‌سازی فرآیند و تعمیر و نگهداری دیجیتال را نیز فراهم می‌کند. نمونه‌سازی دیجیتالی فرآیندها با استفاده از واقعیت افزوده و مجازی، هوش مصنوعی و یادگیری ماشین، نرخ موفقیت اجرا را افزایش می‌دهد. این امر به کسب و کارها امکان می‌دهد تا مهندسی مجدد فرآیند را حذف کنند و در عین حال، فرآیندهای تولید را به طور مستمر بهینه کنند. دوقلوهای دیجیتال می‌تواند به تولیدکنندگان کمک کند تا کارایی را افزایش دهند، محصولات نوآورانه ایجاد کنند و رویه‌ها را بهبود بخشند. به طور کلی، برنامه‌های قابل توجه دوقلوهای دیجیتال در Industry 4.0 شامل موارد زیر است [۵].

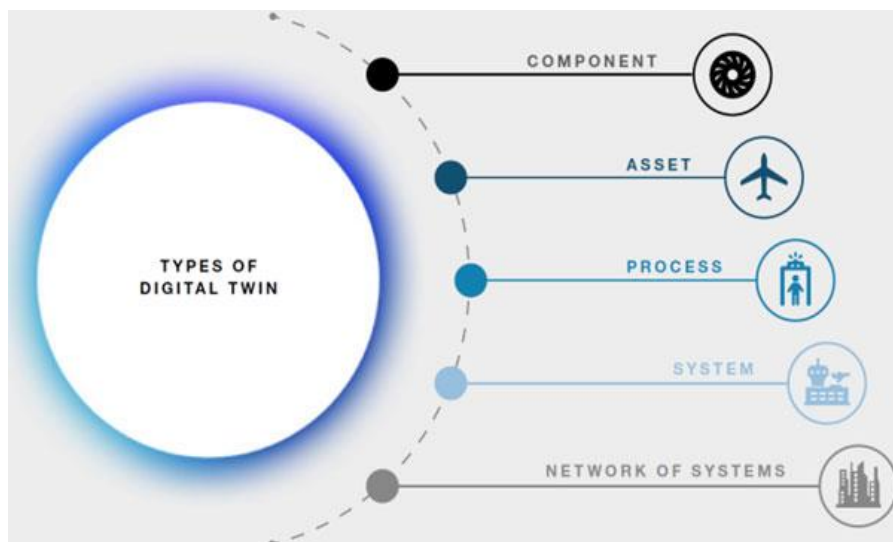
- (۱) شبیه‌سازی فرآیندهای پیچیده
- (۲) توسعه محصولات نوآورانه
- (۳) خودکارسازی
- (۴) ارائه دانش بهتر
- (۵) تقلید از دارایی و عملیات فیزیکی
- (۶) ارائه دید در تولید^۱
- (۷) نظارت بی‌درنگ
- (۸) بهبود کیفیت محصول
- (۹) ارائه روش‌های جدید برای صرفه‌جویی در هزینه‌ها

^۱ Provide visibility in manufacturing

- (۱۰) راه‌حل پر قدرت برای مدیریت اطلاعات
- (۱۱) تعمیر و نگهداری
- (۱۲) سامانه مدیریت اطلاعات
- (۱۳) ارائه فرصت‌هایی برای نوآوری
- (۱۴) ایجاد یک ماکت مجازی
- (۱۵) شناسایی عیوب
- (۱۶) تولید کارآمد
- (۱۷) نمایش دیجیتالی محصول در دنیای واقعی
- (۱۸) مجموعه داده‌ها
- (۱۹) به روز رسانی نمایش مجازی
- (۲۰) تعیین سطح عملکرد کارخانه
- (۲۱) کاهش هزینه طراحی
- (۲۲) شناسایی مشکلات احتمالی
- (۲۳) افزایش خودآگاهی دستگاه
- (۲۴) فعال کردن سامانه آینده‌نگری
- (۲۵) شبیه‌سازی واقعیت
- (۲۶) ایجاد فرصت برای کالاهای جدید و برتر
- (۲۷) کاهش خطاها در حین ساخت محصول
- (۲۸) خدمات کاربر پسند و کارآمد
- (۲۹) خودکار کردن رویه‌ها و عملیات
- (۳۰) نظارت بر تجهیزات و سامانه‌ها
- (۳۱) تقویت فرآیندها
- (۳۲) صرفه‌جویی در زمان توسعه
- (۳۳) به حداقل رساندن تصمیم‌گیری انسانی
- (۳۴) استفاده در سامانه بررسی مواد

۳-۴ انواع نرم‌افزارهای دوقلوی دیجیتال در صنعت

فناوری دوقلوی دیجیتال امکان درک بیشتر و کنترل فرآیندهای فیزیکی را با استفاده از همانندسازی دیجیتال فراهم می‌نماید. این امر منجر به پیشرفت‌های انقلابی در چندین صنعت شده است. در ادامه انواع مختلف نرم‌افزارهای دوقلوی دیجیتال (شکل ۶) که در نوآوری و اجرای عملیات، شرکت‌ها و صنایع را متحول می‌سازند، بررسی می‌شوند [۳].



شکل ۶: انواع نرم‌افزارهای دوقلوی دیجیتال [۳]

۳-۴-۱ دوقلوی محصول یا دارایی^۱

دوقلوهای محصول یا دارایی همانندسازی دیجیتالی از محصولات یا دارایی‌های واقعی است (شکل ۷) که به عنوان مدل‌های مجازی پیچیده و پویا از مدل واقعی شناخته می‌شوند. دوقلوهای محصول در صنایعی مانند تولید، خودروسازی و انرژی کاربرد دارند و جهت نگهداری، عملکرد دارایی‌های خاص و اثربخشی عملیات، بسیار ضروری می‌باشند.



شکل ۷: دوقلوهای محصول یا دارایی: همانندسازی دیجیتالی از محصولات یا دارایی‌های واقعی [۷]

کاربردهای کلیدی دوقلوهای محصول یا دارایی عبارتست از:

- **ردیابی عملکرد^۲:** دوقلوهای محصول به طور مستمر وضعیت عملکرد و سلامت کلی دارایی‌های حیاتی را پایش

^۱ Product/Asset Twin

^۲ Performance Tracking

می‌کنند و یکپارچگی حسگرهای اینترنت اشیا و تجزیه و تحلیل، ردیابی بی‌درنگ معیارهای لرزش^۱، دما، فشار و موارد دیگر را امکان‌پذیر می‌سازند.

• **تعمیر، نگهداری و آینده‌نگری^۲:** با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مشاهدات مستمر، ثابت شده است که دوقلوهای محصول می‌توانند مشکلات احتمالی را قبل از بروز پیش‌بینی کنند. الگوریتم‌های پیشرفته‌ای که با تحلیل روندها و الگوها، فرسودگی و خرابی را پیش‌بینی می‌کنند، راه‌حل‌های تعمیر و نگهداری پیشگیرانه را ممکن می‌سازند. این روش با بهینه‌سازی برنامه نگهداری و جلوگیری از خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده تجهیزات، عمر دارایی را طولانی‌تر می‌کند و هزینه‌های عملیاتی را کاهش می‌دهد.

نمونه‌های کاربردی دوقلوهای دیجیتال از نوع محصول یا دارایی در صنعت خودروسازی به ویژه موتورهای خودرو استفاده می‌شوند و منجر به متحول شدن این صنعت می‌شوند. خودروسازان از دوقلوهای محصول جهت ساخت مدل‌های موتور فوق‌العاده واقعی استفاده می‌کنند که اطلاعات را از چندین حسگر جمع‌آوری می‌کنند. این پیکربندی امکان پایش سلامت و عملکرد موتور را بی‌درنگ فراهم می‌نماید. سامانه آینده‌نگری نیز می‌تواند با هشدار به مهندسان در مورد مشکلات احتمالی مانند گرمای بیش از حد یا فرسودگی غیرمعمول قبل از اینکه منجر به خرابی شود، طول عمر و قابلیت اطمینان خودرو را افزایش دهد. این امر نه تنها از بروز مشکلات پرهزینه پیشگیری می‌کند، بلکه عملکرد خودرو را بهبود می‌بخشد و همچنین اعتماد به نشان تجاری خاص را در بین مصرف‌کنندگان افزایش می‌دهد [۷].

۳-۴-۲ دوقلوی فرآیند^۳

دوقلوی فرآیند نوع پیشرفته‌ای از فناوری دوقلوی دیجیتال است که برای همانندسازی و ارتقای فرآیندهای یک شرکت طراحی می‌شود (شکل ۸). این فناوری در بخش‌هایی مانند تولید، تدارکات و تاسیسات که قابلیت اطمینان و اثربخشی گردش کار عملیاتی بسیار مهم است، کاربرد دارد. دوقلوهای فرآیند به شرکت‌ها این امکان را می‌دهند که با ایجاد یک شبیه‌ساز مجازی از یک گردش کار، عملیات خود را بدون تداخل با فرآیندهای واقعی ارزیابی کنند و ارتقا دهند.



شکل ۸: دوقلوهای فرآیند: همانندسازی و ارتقا فرآیندهای شرکت یا سازمان [۷]

^۱ vibration

^۲ Predictive maintenance

^۳ Process Twin

کاربردهای کلیدی دوقلوهای فرآیند عبارتست از:

- **بهینه‌سازی فرآیند:** دوقلوهای فرآیند برای تجسم و تشخیص نقص‌ها و تنگناهای عملیاتی با ایجاد مدل‌سازی رویه‌های جاری استفاده می‌شوند. با کمک این ویژگی، شرکت‌ها می‌توانند هر مرحله از یک فرآیند را به دقت بررسی و تغییرات را در یک محیط مجازی امن و کنترل شده اعمال کنند. کسب‌وکارها با آزمایش دیجیتالی می‌توانند رویه‌های اثربخشی را قبل از اعمال تغییرات در روند واقعی، بهبود بخشند.
- **آموزش و مدل‌سازی:** آموزش رویه‌های پیچیده برای کارکنان به ویژه در بخش‌هایی مانند هوانوردی یا تولید مواد شیمیایی، زمان و ریسک زیادی را می‌طلبد. دوقلو فرآیند به کارکنان این امکان را می‌دهد تا در یک محیط دقیق و واقع‌بینانه بدون جریمه و اشتباه‌های واقعی، آموزش یابند و مهارت‌های جدیدی کسب کنند. بنابراین با دوقلوهای فرآیند، کارکنان برای انجام مسئولیت‌های خود مجهزتر می‌شوند و امنیت و کارایی تولید بهبود و نتایج یادگیری افزایش می‌یابد.

استفاده از دوقلوهای فرآیند، مدیریت خطوط صنعت تولید را متحول می‌کند. برای نمونه، مهندسان با استفاده از دوقلو فرآیند در مدل‌سازی خطوط مونتاژ خودرو جدید می‌توانند هرگونه ناکارآمدی احتمالی گردش کار را کشف کنند. آنها همچنین با اصلاح مدل مجازی و ردیابی نتایج می‌توانند کارآمدترین روش مونتاژ را طراحی کنند. دوقلو فرآیند در صنعت تولید، شبیه‌سازی را ایجاد می‌کند که ریسک و هزینه انجام آزمایش فیزیکی را کاهش می‌دهد و جریان تولید را بهینه می‌کند. پس از تعیین گردش کار ایده آل می‌توان کارگران خط تولید را با استفاده از مدل فرآیند آموزش داد. نیروهای کار جدید می‌توانند ابتدا با دوقلو فرآیند تعامل کنند تا در مورد وظایف خود در فرآیند واقعی مونتاژ، اطلاعات کسب کنند. این امر تضمین می‌کند که آنها قبل از این که وارد کارخانه شوند، به اندازه کافی آموزش ببینند و با مسئولیت‌های خود آشنا شوند. با راه‌اندازی این استراتژی در صنایع تولید، کارایی کلی تسهیلات بهبود می‌یابد و تغییرات جهت استخدام‌های جدید آسان می‌شود [۷].

۳-۴-۳ دوقلو سامانه^۱

دوقلو سامانه، زیرمجموعه پیچیده‌ای از فناوری دوقلو دیجیتال برای ترکیب بخش‌ها یا رویه‌های مختلف در یک مدل سامانه‌ای واحد و فراگیر می‌باشد (شکل ۹). آنها یک نمای کلی از تمام عملیات را در مقیاس بزرگ ارائه می‌دهند و بینش‌هایی را نشان می‌دهند که در سطح خرد آشکار نیستند. این نوع دوقلوهای دیجیتال جامع در محیط‌هایی که چندین زیرسامانه به یکدیگر وابسته هستند، مانند، پروژه‌های ساختمانی عظیم، شهرهای هوشمند و کارخانه‌های تولیدی، بسیار کارایی دارند.

^۱ System Twin



شکل ۹: دوقلوی سامانه: یک مدل سامانه‌ای واحد و فراگیر [۷]

کاربردهای کلیدی دوقلوهای سامانه عبارتست از:

- **تست یکپارچه‌سازی سامانه:** دوقلوی سامانه برای تست یکپارچه‌سازی سامانه ضروری است و نحوه ارتباط اجزای مختلف سامانه با یکدیگر را تقلید می‌کند. استفاده از این نوع دوقلوهای دیجیتال به شناسایی مشکلات سازگاری و نقاط خرابی احتمالی در بین سامانه‌های شبکه قبل از استقرار آنها در شرایط واقعی کمک می‌کند.
 - شرکت‌ها با استفاده از دوقلوهای سامانه جهت آزمایش یکپارچه‌سازی سامانه‌ها می‌توانند مطمئن شوند که همه اجزای سامانه با هم تعامل دارند و مطابق با دستورالعمل با هم ارتباط برقرار می‌کنند. این امر منجر می‌شود تا از مشکلات پرهزینه و مخرب در زمان استقرار جلوگیری شود.
 - **نظارت بر عملیات:** دوقلوهای سامانه برای مدیریت سامانه‌های پیچیده بسیار مفید هستند و می‌توانند نمایی کلی از عملیات سامانه را ارائه دهند. آنها این امکان را برای رهبران و مدیران فراهم می‌کنند تا عملکرد سامانه را به عنوان یک کل و نه تنها بخش‌های آن، حفظ کنند و بهبود بخشند. این امر در شرایط خاص که عملکرد یک جزء ممکن است تأثیر قابل توجهی بر سایر اجزا داشته باشد بسیار قابل توجه است.
- استفاده از دوقلوهای سامانه در ابتکارات شهر هوشمند یک نمونه بارز است و جهت نظارت و ترکیب خدمات، خدمات اضطراری، سامانه‌های ترافیکی و حمل و نقل عمومی استفاده می‌شوند. مدیران و برنامه‌ریزان شهری می‌توانند با بکارگیری دوقلوی سامانه اطمینان حاصل کنند که همه این عناصر به عنوان یک کل عمل می‌کنند تا کیفیت زندگی شهروندان را بهبود بخشند و کارایی عملیاتی را افزایش دهند [۷].

۳-۴-۴ دوقلوی مولفه^۱

دوقلوهای مولفه پیچیده‌ترین نوع فناوری دوقلوی دیجیتال را نشان می‌دهند که بر روی بخش‌های خاصی از یک سامانه یا محصول متمرکز می‌شوند (شکل ۱۰). این نوع دوقلوهای دیجیتال در حوزه‌هایی که دقت و قابلیت اطمینان بسیار مهم است، ضروری هستند. آنها تصویری میکروسکوپی از طول عمر یک جزء از طراحی تا عملیات را ارائه می‌دهند.

^۱ Component Twin



شکل ۱۰: دوقلوی مولفه: دوقلوی دیجیتال بخش‌های خاصی از یک سامانه یا محصول [۷]

کاربردهای کلیدی دوقلوهای مولفه عبارتست از:

- **تجزیه و تحلیل سطح مؤلفه^۱:** دوقلوهای مولفه اطلاعات عمیقی در مورد وضعیت سلامت و عملکرد اجزای خاص ارائه می‌دهند. این نوع دوقلوهای دیجیتال، دائماً داده‌ها را از حسگرهای ادغام شده در قطعه جمع‌آوری می‌کنند. این امر به آنها اجازه می‌دهد تا متغیرهایی مانند استرس، فشار و دما را بی‌درنگ ردیابی کنند. آینده‌نگری نیازها و تعمیر و نگهداری و به حداکثر رساندن عملکرد مؤلفه نیازمند این سطح از داده است.
 - **طراحی و آزمایش:** در طول مرحله طراحی، مهندسان با استفاده از دوقلوهای مولفه می‌توانند نحوه واکنش یک قطعه را در شرایط عملیاتی مختلف شبیه‌سازی و ارزیابی کنند. این امر در صناعی مانند، هوافضا و خودروسازی که کارایی و ایمنی حیاتی است، ضروری می‌باشد. مهندسان همچنین می‌توانند ایده‌های خود را با آزمایش بر روی این مولفه‌ها و بدون پرداخت هزینه‌های مربوط به نمونه‌های اولیه واقعی تکرار کنند.
- دوقلوهای مولفه به طور گسترده در صنعت هوافضا جهت نمایش اجزای حیاتی موتور هواپیما استفاده می‌شوند. مهندسان از این مدل‌های کامپیوتری برای پیش‌بینی نحوه عملکرد هر قطعه در سناریوهای مختلف پرواز مانند تغییرات دما و ارتفاع استفاده می‌کنند. کسب و کارهای هوافضا قبل از ساخت با استفاده از این نوع دوقلوهای دیجیتال می‌توانند برای انجام آزمایش‌های گسترده، خطرات مرتبط با طرح‌های نوآورانه را کاهش دهند تا اطمینان حاصل شود که هر مورد از مقررات ایمنی سختگیرانه رعایت می‌شود. علاوه بر این، نظارت مستمر توسط دوقلوهای مولفه، پیش‌بینی خرابی قطعات، بهبود برنامه‌های تعمیر و نگهداری را امکان‌پذیر می‌سازد و در نهایت منجر به ساخت یک هواپیمای ایمن و قابل اعتماد می‌شود [۷].

۴ برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال در صنعت

در این بخش نمونه‌هایی از برنامه‌های کاربردی فناوری دوقلوهای دیجیتال در پنج حوزه صنعتی مهم زیر عنوان می‌شوند:

- صنعت تولید
- صنعت بهداشت و درمان

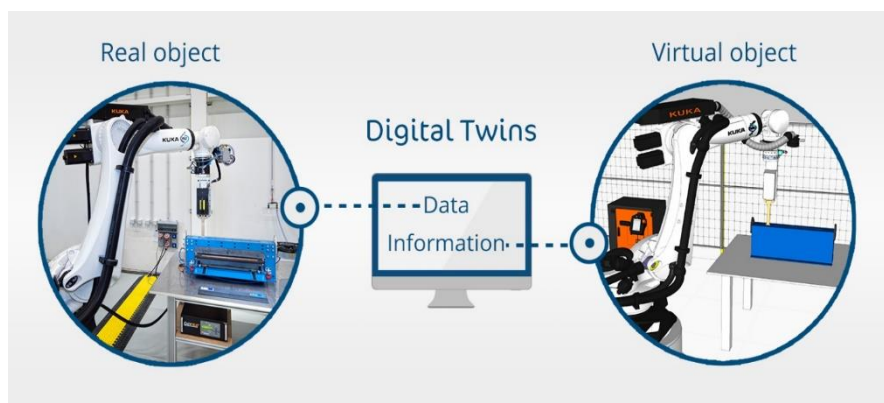
^۱Component-level Analysis

- صنعت خودروسازی
- صنعت هوافضا
- صنعت ساخت‌وساز

مشاغلی که از این فناوری استفاده می‌کنند می‌توانند صرفه جویی قابل توجهی در هزینه، افزایش بهره‌وری و بهبود کارایی داشته باشند. علاوه بر این، استفاده از دوقلوهای دیجیتال می‌تواند همکاری، نوآوری و بینش داده را افزایش دهد. از آنجایی که فناوری دوقلوی دیجیتال به تکامل و گسترش بیشتر ادامه می‌دهد، کسب و کارها باید به فکر استفاده از قدرت آن برای برتری از رقبا و دستیابی به موفقیت باشند. در این راستا، شرکت‌های پیشرو مانند Renault، Bridgestone، Philips، Unilever و Boeing نشان داده‌اند که چگونه می‌توان دوقلوهای دیجیتال را در موقعیت‌های واقعی به کار برد [۱].

۴-۱ صنعت تولید

در حال حاضر، تولیدکنندگان با اجرای فناوری دوقلوی دیجیتال در میان کارگران خط تولید منجر به سرعت بخشیدن به توسعه محصول تا افزایش بهره‌وری می‌شوند (شکل ۱۱). مطالعات اخیر نشان می‌دهد که بیش از ۸۰ درصد از شرکت‌هایی که از این فناوری استفاده می‌کنند، توانایی نوآوری و همکاری در مرحله تولید خود را ارتقا داده‌اند. هرچه ورودی‌های داده در اجرای دوقلوی دیجیتال بیشتر باشد، بینش بالاتری در دسترس است. این بینش‌ها را می‌توان برای بهبود شیوه‌های نگهداری ماشین‌آلات و نظارت بر جریان ارزش، استفاده کرد [۸].



شکل ۱۱: کاربرد دوقلوی دیجیتال در صنعت تولید [۹]

مزایای متعددی که دوقلوی دیجیتال در تولید ارائه می‌کند، عبارتست از:

- کاهش ضایعات
- بهبود طول عمر تجهیزات عملیاتی
- پشتیبانی، نگهداری و آینده‌نگری
- بازگشت سرمایه^۱ (ROI) و دارایی

^۱ Return on investment

موارد استفاده^۱ هم‌افزایی فناوری اینترنت اشیا و دوقلو دیجیتال در صنعت تولید در جدول ۱ عنوان شده است [۱].

جدول ۱: موارد استفاده هم‌افزایی فناوری اینترنت اشیا و دوقلو دیجیتال در صنعت تولید

فناوری	برنامه کاربردی	توضیح
دوقلو دیجیتال	شبیه‌سازی کارخانه‌ها	شبیه‌سازی فرآیندهای تولید، شناسایی تنگناها و ناکارآمدی‌ها و بهینه‌سازی جهت تضمین بهترین عملکرد
	مدیریت چرخه حیات محصول	ردیابی و مدیریت محصول از طراحی تا نهایی شدن، تضمین عملکرد و پایداری بهینه
اینترنت اشیا	مدیریت موجودی	ردیابی بی‌درنگ سطوح موجودی و ذخیره‌سازی خودکار
	پایش ماشین‌آلات	تشخیص سلامت ماشین‌آلات، پیش‌بینی خرابی‌ها و کاهش زمان خرابی

در ادامه یک نمونه از موارد کاربردی دوقلو دیجیتال در صنعت تولید عنوان می‌شود.

۴-۱-۱ شرکت Unilever

Unilever یک غول تولیدی است که یک نمونه چشمگیر از فناوری دوقلو دیجیتال را در فرآیندهای تولید خود به کار می‌گیرد. این شرکت با ایجاد ۸ دوقلو دیجیتال از کارخانه‌های خود در مناطق مختلف جهان شروع به کار کرد و تا سال ۲۰۲۰، بیش از ۱۰۰ سایت تولید دیجیتال را تکمیل و مدل مجازی از کل زنجیره تامین خود را ارائه نمود. از طریق این رویکرد، Unilever بهره‌وری را افزایش داد، ضایعات را به حداقل رساند، استفاده از مواد را بهینه کرد و از انطباق و کیفیت اطمینان حاصل نمود. حسگرهای نصب شده در هر کارخانه بر هر فرآیند نظارت می‌کنند و داده‌ها را به ابر سازمانی یعنی جایی که دوباره یک دوقلو دیجیتال ایجاد می‌شود، ارسال می‌کنند.

کارمندان در محل به راحتی می‌توانند از طریق دستگاه‌های دستی به داده‌های دوقلو دیجیتال دسترسی پیدا کنند و آنها را قادر می‌سازد تا مسائل را شناسایی کنند، راه‌حل‌ها را توسعه دهند و داده‌ها را با همکاران به اشتراک بگذارند. این رویکرد به Unilever کمک می‌کند تا فرآیندهای تولیدی خود را ساده کند، کارایی را افزایش دهد و استانداردهای با کیفیت را در تمام سایت‌های خود حفظ کند [۱۰].

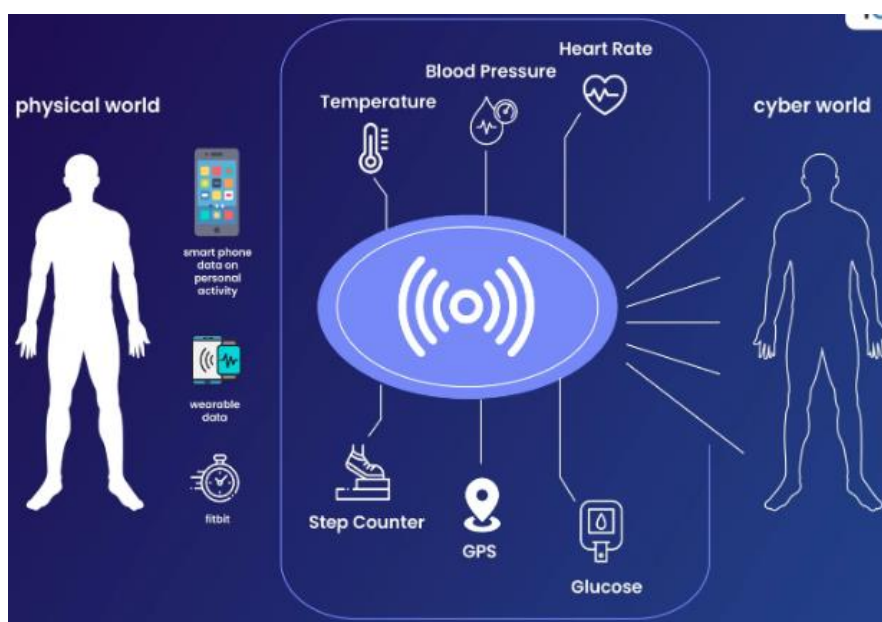
۴-۲ صنعت بهداشت و درمان

در حوزه پزشکی، فناوری دوقلو دیجیتال مسیر را برای مراقبت‌های بهداشت شخصی مؤثرتر و دقیق‌تر هموار می‌کند (شکل ۱۲). این فناوری با فراهم کردن امکان ایجاد مدل مجازی از بدن یک فرد تا سطح مولکولی، منجر می‌شود تا درمان‌های پزشکی برای افراد، براساس ساختار ژنتیکی، آناتومی و رفتار آنها آسان‌تر شود. شبیه‌سازی‌های دوقلو دیجیتال به پرسنل پزشکی اجازه می‌دهد تا قبل از انتخاب یا شروع درمان، نتایج را پیش‌بینی کنند.

^۱ Use cases

بنابراین می‌توان مشکلات را پیش از بروز پیش‌بینی کرد و برای اعمال تغییرات لازم و پیروی از رویه‌های مناسب زمان کافی داشت.

از فناوری دوقلوی دیجیتال همچنین می‌توان در شبیه‌سازی جراحی‌ها جهت برنامه‌ریزی و تمرین روش‌ها استفاده کرد تا آسیب‌های ساختاری ناخواسته را به حداقل رساند. تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی از طریق شبیه‌سازی امکان تشخیص علائم در مراحل اولیه و پیشگیری و شناسایی بیماری‌ها در زمان مناسب را فراهم می‌نماید. با کمک دوقلوی دیجیتال پزشکان، بی‌درنگ به اطلاعات دسترسی دارند و این فناوری امکان آمادگی و تصمیم‌گیری بهتر را فراهم می‌کند [۱۱].



شکل ۱۲: کاربرد دوقلوی دیجیتال در صنعت بهداشت و درمان [۱۱]

موارد استفاده هم‌افزایی فناوری اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال در صنعت بهداشت و درمان در جدول ۲ عنوان شده است [۱].

جدول ۲: موارد استفاده هم‌افزایی فناوری اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال در صنعت بهداشت و درمان

فناوری	برنامه کاربردی	توضیح
دوقلوی دیجیتال	داروهای شخصی	ایجاد نسخه دیجیتالی از بیماران برای شبیه‌سازی سناریوهای سلامت، پیش‌بینی یا پیشرفت بیماری‌ها
	بهینه‌سازی تجهیزات پزشکی	پایش استفاده و عملکرد تجهیزات پزشکی و بهینه‌سازی برای بهترین نتایج
اینترنت اشیا	پایش بیمار از راه دور	ردیابی بی‌درنگ بیماران و هشدار به متخصصان پزشکی در مورد ناهنجاری‌ها
	بیمارستان‌های هوشمند	تضمین بررسی خودکار بیمار تا تجهیزات پزشکی متصل به آن

در ادامه چند نمونه از موارد برنامه‌های کاربردی دوقلوی دیجیتال در صنعت بهداشت و درمان عنوان می‌شوند.

۴-۲-۱ شرکت فیلیپس

فیلیپس ابزاری نوآورانه به نام Dynamic HeartModel ایجاد کرده است که راه‌حل بالینی برای ارزیابی عملکرد قلب برای تشخیص دقیق و درمان بیماران مبتلا به بیماری قلبی عروقی با در نظر گرفتن ویژگی‌های فیزیولوژیکی منحصر به فرد بیمار، پایش مستمر علائم حیاتی بیمار و در صورت لزوم، تطبیق درمان در اختیار متخصصان قلب قرار می‌دهد [۱]. تیم پزشکی جهت استفاده از این ابزار باید یک برنامه درمانی شخصی مطابق شکل ۱۳ با سناریوی زیر برای فرد بیمار طراحی کند.

۱) **ایجاد دوقلوی دیجیتال:** در این مرحله، با استفاده از اسکن سه بعدی دقیق و تاریخچه پزشکی، یک دوقلوی دیجیتال از بخش قلبی عروقی بیمار ایجاد می‌شود. این ماکت مجازی وضعیت خاص قلب بیمار مانند عضلات ضعیف شده و عروق باریک را نشان می‌دهد.

۲) **شبیه‌سازی درمان:** پزشکان با استفاده از دوقلوی دیجیتال می‌توانند گزینه‌های درمانی مختلفی را برای بیماران خود شبیه‌سازی کنند. آنها داروهای مختلف، روتین‌های فیزیوتراپی یا مداخلات جراحی بالقوه را امتحان می‌کنند. پزشکان با تجزیه و تحلیل و چگونگی پاسخ دوقلوی دیجیتال بیمار به این درمان‌ها، می‌توانند خطرات احتمالی را شناسایی و مزایا و برنامه درمانی متناسب با شرایط او را بهینه کنند.

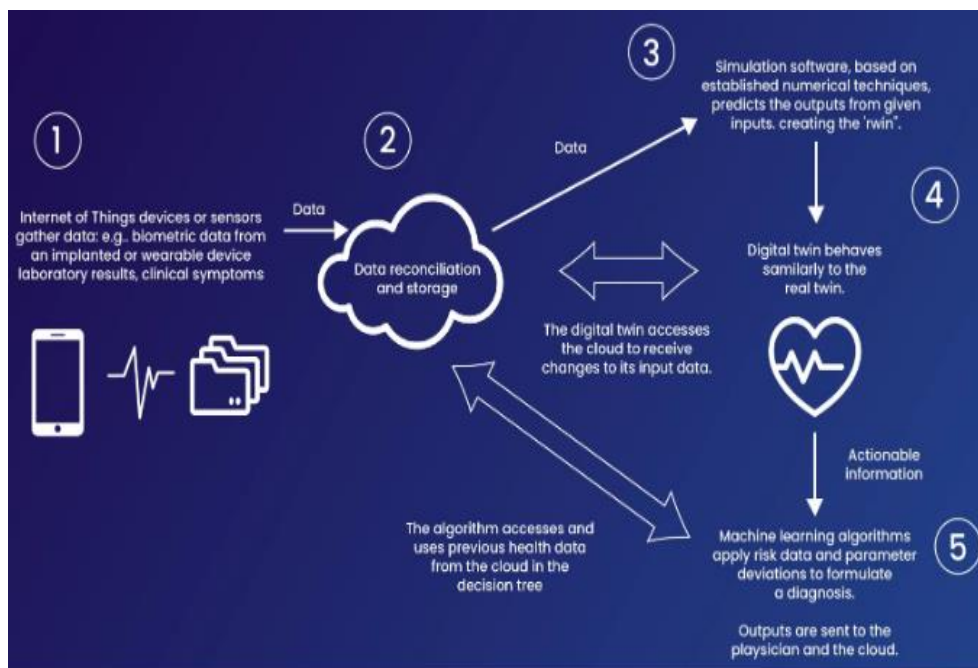
۳) **پیاده‌سازی تجهیزات اینترنت اشياء:** در این مرحله، تجهیزات پوشیدنی اینترنت اشياء به بیمار ارائه می‌شود تا با پایش مستمر وضعیت سلامتی بیمار مانند ضربان قلب، فشار خون، سطح اکسیژن و سایر علائم حیاتی را کنترل کنند. این تجهیزات به سامانه بیمارستان متصل می‌شوند و بی‌درنگ داده‌ها را در اختیار تیم پزشکی قرار می‌دهند.

۴) **ادغام بی‌درنگ داده‌ها با دوقلوی دیجیتال:** داده‌های جمع‌آوری شده از تجهیزات اینترنت اشياء متصل به بیمار به‌طور مستمر به دوقلوی دیجیتال او وارد می‌شوند و بی‌درنگ به روز رسانی می‌شوند. در صورتی که تغییر ناگهانی در ضربان قلب یا فشار خون بیمار رخ دهد، حسگرها به تیم پزشکی هشدار می‌دهند. همچنین داده‌ها را با دوقلوی دیجیتال به اشتراک می‌گذارند. با دریافت داده‌ها، دوقلوی دیجیتال می‌تواند به تیم پزشکی کمک کند تا مشکل اساسی را درک و مشکلات احتمالی را پیش‌بینی کند.

۵) **درمان تطبیقی:** هنگامی که بیمار در حال گذراندن دوره درمان است، هر تغییری در علائم حیاتی دنیای واقعی بیمار در دوقلوی دیجیتالی او نیز منعکس می‌شود. بنابراین به ارائه دهندگان مراقبت‌های بهداشتی اجازه می‌دهد تا متوجه شوند که بدن او چگونه به درمان پاسخ می‌دهد. در صورتی که درمان نیاز به تنظیمات خاص داشته باشد، پزشکان می‌توانند آن تغییرات را قبل از اعمال در بیمار در دوقلوی دیجیتال او شبیه‌سازی کنند. این روش ایمن‌ترین و مؤثرترین مراقبت را تضمین می‌کند.

همانطور که مشاهده می‌شود، هم‌افزایی تجهیزات اینترنت اشياء و دوقلوی دیجیتال امکان یک برنامه درمانی بسیار شخصی و سازگار را فراهم می‌کند. با استفاده از این فناوری‌ها، تیم پزشکی می‌تواند مسائل را قبل از تبدیل به مشکلات جدی پیش‌بینی

کند. این رویکرد نه تنها کیفیت مراقبت بیمار را بهبود می‌بخشد، بلکه با بهینه سازی درمان و جلوگیری از عوارض، هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. در این نمونه، دوقلوی دیجیتال به عنوان یک بستر آزمایشگاهی ایمن، یک ابزار آینده‌نگری و یک آینه بی‌درنگ از وضعیت فیزیکی بیمار عمل می‌کند. تجهیزات اینترنت اشیا نیز به عنوان اندام‌های حسی عمل می‌کنند که سامانه‌های دوقلوی دیجیتال را با داده‌های دنیای واقعی تغذیه می‌کنند. آنها با هم یک رویکرد مراقبت بهداشتی پویا، پاسخگو و بیمار محور ایجاد می‌کنند [۱].



شکل ۱۳: سناریو درمان یک بیماری مزمن قلبی با استفاده از اینترنت اشیا و دوقلوی دیجیتال [۱]

۲-۲-۴ شرکت زیمنس

تیم محققان زیمنس به نام Siemens Healthineers، یک مدل محاسباتی از قلب دیجیتالی ایجاد کرده‌اند که می‌توان از طریق رایانه به آن دسترسی داشت. این نمونه اولیه نوآورانه می‌تواند با ارائه راهنمایی‌های بی‌درنگ و آینده‌نگر، منجر به تغییر پزشکی دقیق در طول جراحی شود. بدین ترتیب بیماران بیشتری نسبت به قبل می‌توانند از درمان‌های مناسب بهره‌مند شوند [۱۰].

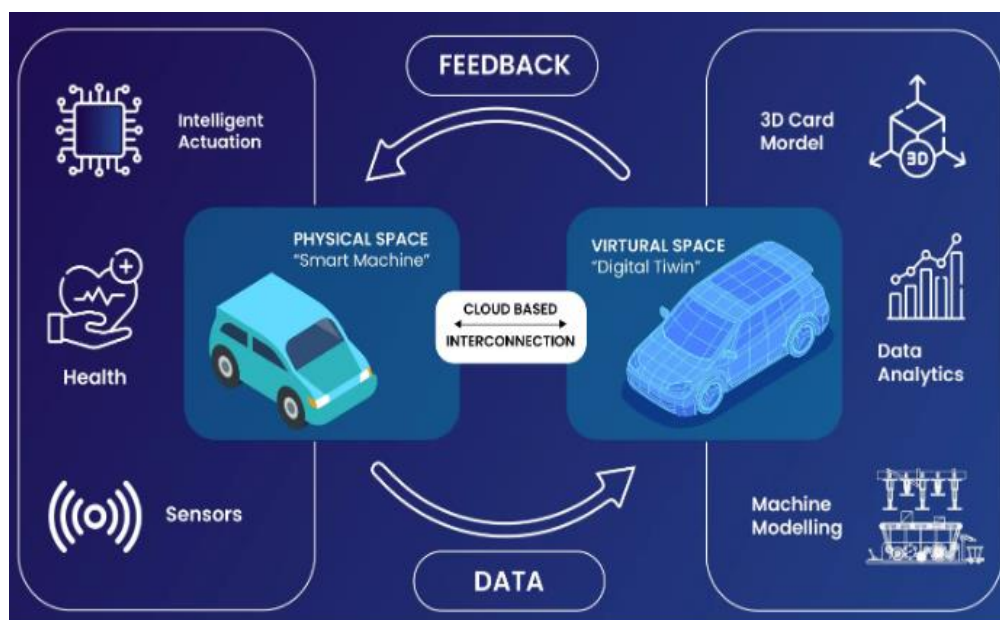
۳-۲-۴ شرکت FEops

FEops یک شرکت اروپایی پیشگام در حوزه بهداشت و درمان است. این شرکت یک سکو به نام Heartguide راه‌اندازی کرده است که از فناوری پیشرفته برای ایجاد نسخه‌های مجازی قلب استفاده می‌کند. هدف FEops از این فناوری، افزایش و گسترش مراقبت‌های مناسب برای بیماران مبتلا به بیماری ساختار قلب است [۱۰].

۳-۴ صنعت خودروسازی

دوقلوهای دیجیتال در صنعت خودروسازی به طور فزاینده جهت شبیه‌سازی و آزمایش مفاهیم طراحی جدید، بهینه‌سازی

فرآیندهای تولید و پیش‌بینی عملکرد خودرو در شرایط مختلف کاربرد دارند (شکل ۱۴). مزیت اصلی استفاده از دوقلوهای دیجیتال جهت شناسایی و رسیدگی به مسائل بالقوه قبل از بروز آنها است که منجر به صرفه‌جویی در زمان و هزینه می‌شود. این فناوری در کل چرخه حیات خودرو از طراحی و ساخت تا بازاریابی و تعمیر و نگهداری مفید می‌باشد [۱۲].



شکل ۱۴: استفاده از دوقلوهای دیجیتال در صنعت خودروسازی [۱۲]

موارد استفاده از هم‌افزایی فناوری اینترنت اشیاء و دوقلو دیجیتال در صنعت خودروسازی در جدول ۳ عنوان شده است [۱].

جدول ۳: موارد استفاده هم‌افزایی فناوری اینترنت اشیاء و دوقلو دیجیتال در صنعت خودروسازی

فناوری	برنامه کاربردی	توضیح
دوقلو دیجیتال	شبیه‌سازی طراحی خودرو	آزمایش مدل‌های مختلف خودرو تحت شرایط متفاوت قبل از ساخت نمونه اولیه برای تشخیص دوام آنها
	تعمیر، نگهداری و آینده‌نگری	پیش‌بینی زمان خرابی یک قطعه خودرو و ارائه پیشنهاد جهت تعمیر و نگهداری پیشگیرانه
اینترنت اشیاء	وسایل نقلیه متصل	تبدیل فزاینده اتومبیل‌ها به تجهیزات اینترنت اشیاء برای کمک به ناوبری از تبادل بی‌درنگ اطلاعات تا هشدارهای ترافیک
	مدیریت ناوگان	ردیابی و مدیریت بی‌درنگ وسایل نقلیه ناوگان، تضمین تحویل و نگهداری به موقع

در ادامه چند نمونه از موارد کاربردی دوقلوی دیجیتال در صنعت خودروسازی عنوان می‌شوند.

۴-۳-۱ شرکت بریجستون

بریجستون شرکت پیشرو در زمینه تولید لاستیک خودرو است. این شرکت از دوقلوهای دیجیتال به عنوان ابزاری قدرتمند برای ارتقای محصولات خود استفاده می‌کند. آنها با ایجاد کپی دیجیتالی از محصولات خود، پیش‌بینی می‌کنند که چگونه شرایط و سبک‌های مختلف رانندگی بر لاستیک‌های آنها تأثیر می‌گذارد. این امر به ناوگان خودرو کمک می‌کند تا بهترین تایر را برای نیازهای خاص خود انتخاب کنند که منجر به طول عمر بیشتر محصول و کاهش خرابی لاستیک خواهد شد. علاوه بر این، بریجستون از مدل‌های مجازی برای طراحی و آزمایش محصولات خود در یک محیط شبیه‌سازی استفاده می‌کند. در نتیجه، این شرکت با انجام آزمایشات به صورت مجازی می‌تواند سرعت تولید خود را تقریباً ۵۰ درصد افزایش دهد. علاوه بر این، فناوری دوقلوی دیجیتال به این شرکت اجازه می‌دهد تا به راحتی با شرکای خود نسخه‌های مجازی محصولات آینده خود را به اشتراک بگذارد و فرآیند تأیید محصول را ساده‌تر کند [۱۰].

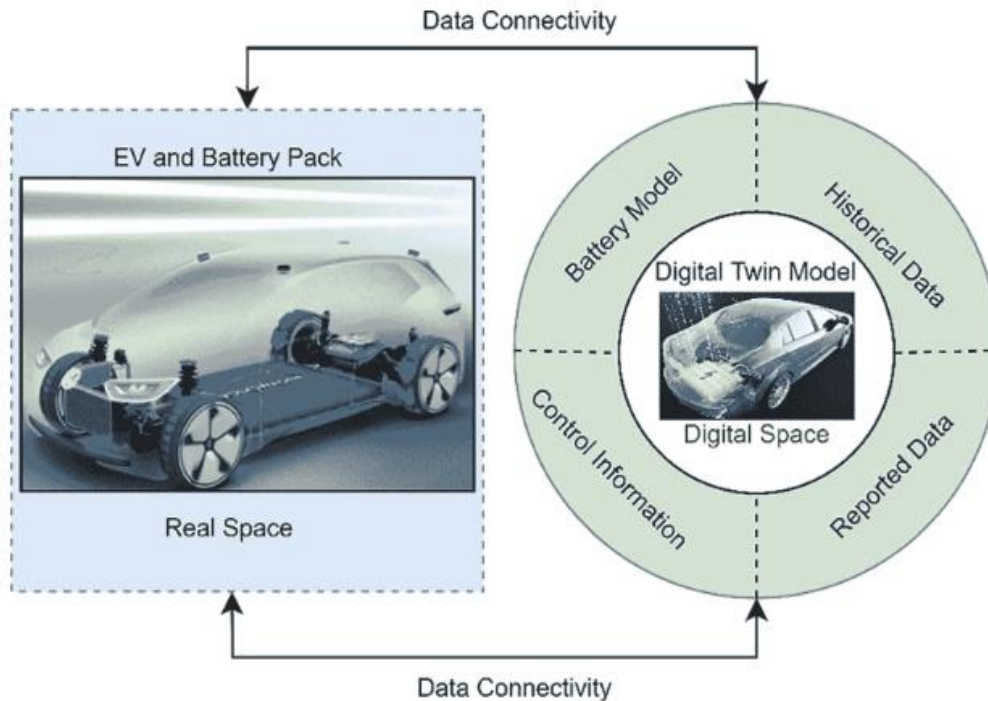
۴-۳-۲ شرکت رنو

شرکت رنو، غول خودروسازی فرانسوی قبل از تولید محصول از دوقلوی دیجیتال محصول برای ایجاد کپی مجازی از خودروهای خود استفاده می‌کند. این فرآیند با ساخت یک مدل دیجیتالی از نمای بیرونی خودرو تا کوچکترین جزئیات داخل خودرو آغاز می‌شود. پس از تکمیل طراحی، تیم مهندسی یک کپی مجازی از اجزای فناوریانه خودرو مانند موتور، الکترونیک، مکانیک و سامانه‌های ناوبری ایجاد می‌کند. به این ترتیب رنو می‌تواند آزمایش‌های گسترده‌ای را قبل از تولید خودروی واقعی انجام دهد تا از حداکثر ایمنی و انطباق با استانداردهای موجود اطمینان حاصل شود. علاوه بر این، قبل از مونتاژ طرح نهایی می‌توان هرگونه اصلاح لازم را در مازول‌های خودرو انجام داد. این رویکرد، شرکت رنو را قادر می‌سازد تا خودروهایی با کیفیت بالا تولید کند و بالاترین استانداردهای برتری را کسب کنند [۱۰].

۴-۳-۳ خودروهای برقی

برخلاف خودروهای با سوخت فسیلی، خودروهای برقی زیرساخت بسیار پیچیده‌تری دارند برای نمونه، سیم‌کشی‌های بی‌شماری داخل خودرو وجود دارد که هر سامانه را به دیگری متصل می‌کند. بنابراین باید فرآیند تولید جدیدی جهت ساخت یک خودروی برقی اتخاذ کرد. همه این موارد، منجر به افزایش چالش‌هایی می‌شود که تولیدکنندگان باید بر آنها غلبه کنند تا خودروهای برقی کارآمد و موثر تولید کنند. باید توجه داشت، هر جا که پیچیدگی حاکم است، دوقلوی دیجیتال بسیار کارآمد می‌باشد. مرحله طراحی، گام مهمی در ساخت یک خودروی برقی کارآمد است و سازندگان باید عواملی مانند آیرودینامیک، کارایی باتری، یکپارچگی ساختاری و موارد دیگر را در نظر بگیرند. در این مرحله، دستیابی به بهره‌وری انرژی بهینه چالش اصلی است. طراحان باید ظرفیت باتری، وزن و وسیله نقلیه و آیرودینامیک را متعادل کنند تا برد خودروهای برقی را به حداکثر برسانند. علاوه بر این، آنها نیاز به شبیه‌سازی و درک تأثیر هر طراحی بر بهره‌وری انرژی دارند. با استفاده از دوقلوی دیجیتال در فرآیند

طراحی، طراحان می‌توانند یک ماکت مجازی از محصول ایجاد کنند (شکل ۱۵). سپس آنها می‌توانند روی مدل با عناصر طراحی مختلف آزمایش کنند و تاثیر آنها را شبیه‌سازی و بر اساس آن بهینه‌سازی کنند. به این ترتیب طراحان می‌توانند در زمان، منابع و هزینه صرفه‌جویی کنند. همچنین با استفاده از دوقلوی دیجیتال، اطمینان حاصل می‌شود که طراحی یک نمونه اولیه فیزیکی قبل از ساخت آن به صورت کارآمد انجام شده است [۱۲].



شکل ۱۵: دوقلوی دیجیتال برای عملکرد باتری و تبادل داده در تولید خودروی برقی [۱۳]

۴-۴ صنعت هوافضا

هوافضا یک صنعت پیچیده است که در آن طراحی و ساخت هواپیما و فضاپیما یک تلاش بسیار پر هزینه می‌باشد. جهت جلوگیری از تاخیرهای پرهزینه در این صنعت، استفاده از دوقلوی دیجیتال منجر می‌شود تا انجام هر چیز به درستی عملیاتی شود. امروزه دوقلوهای دیجیتال به ابزاری ارزشمند در هوافضا تبدیل شده‌اند و تیم‌های طراحی را به تعامل سه بعدی محصول با مدل‌های طراحی CAD و سایر مجموعه داده‌های بی‌درنگ توانمند می‌سازند و بدین ترتیب تصمیم‌گیری در کل چرخه حیات یک محصول را بهبود می‌بخشند.

دوقلوهای دیجیتال موارد استفاده مختلفی در هوافضا مانند توسعه محصول و نمونه‌سازی دارند. قابلیت‌های تعامل سه بعدی به طراحان، مهندسان و سایر ذینفعان اجازه می‌دهد تا با یکدیگر همکاری کنند و در این صنعت، جایگزین‌های طراحی و تولید را برای سامانه‌های پیچیده ارزیابی کنند. این فناوری همچنین شبیه‌سازی و آموزش در محیط سه بعدی تعاملی، واقعیت افزوده^۱ (AR) و واقعیت مجازی^۲ (VR) را امکان‌پذیر می‌سازد و تجربیات آموزشی جذابی را ایجاد می‌کند تا انتقال دانش بهتر و مکان‌های کاری امن‌تر را تسهیل نماید. علاوه بر این از مرحله طراحی تا ساخت، دوقلوی دیجیتال با ایجاد دستورالعمل‌های کاری ترکیبی

^۱ augmented reality

^۲ virtual reality

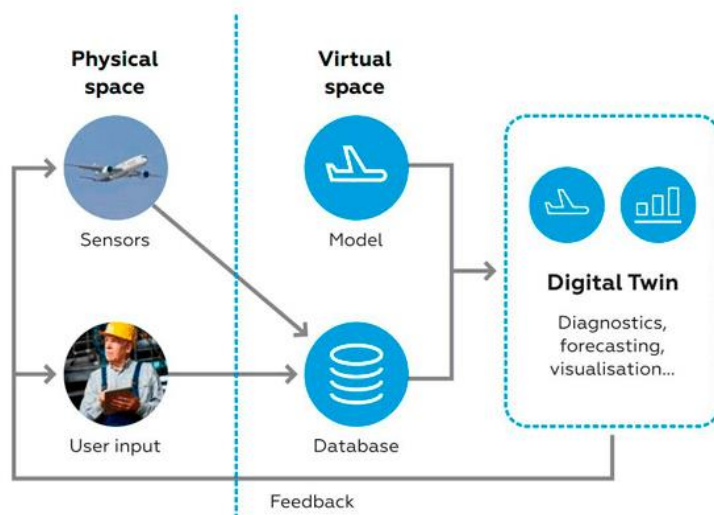
از مدل‌های ساخته‌شده می‌تواند فعالیت‌های بازرسی، نگهداری و تعمیر را ساده و بهینه کند. باید توجه داشت که این فناوری در فروش و بازاریابی نیز بسیار حائز اهمیت است، به گونه‌ای که با ایجاد نمایشگاه‌های مجازی و پیکربندی محصولات سه‌بعدی می‌توان خریداران را قادر ساخت تا انواع مختلف هواپیماها را بررسی کنند تا برای خرید با اطمینان بیشتری تصمیم بگیرند [۱۰].

در ادامه چند نمونه از موارد کاربردی دوقلوی دیجیتال در صنعت هوافضا عنوان می‌شوند.

۴-۴-۱ شرکت بوئینگ

امروزه شرکت بوئینگ به عنوان شرکت هوافضای پیشرو در جهان، فناوری دوقلوی دیجیتال را جهت تسهیل در مدل‌سازی، مهندسی و طراحی هواپیما می‌گیرد. این شرکت برای مقابله با چالش‌های مدیریتی و حجم زیاد داده از هر دارایی و سامانه که در تولید شرکت دارد، کپی‌های دیجیتالی ایجاد می‌کند تا سازماندهی، مدیریت و استخراج اطلاعات امکان‌پذیر شوند (شکل ۱۶). یکی از نمونه‌ها، برنامه بازرسی هواپیما با استفاده از فناوری AR و دوقلوی دیجیتال در یکی از هواپیماها است. بوئینگ با استفاده از دوقلوی دیجیتال توانست بیش از صد هزار تصویر مصنوعی تولید کند تا به وسیله آنها دقت الگوریتم‌های یادگیری ماشین مورد استفاده در برنامه AR بهبود یابد. غول هوافضای دنیا اکنون قصد دارد، نتیجه این پروژه مهم را با تمام ذینفعان زنجیره تامین خود به اشتراک بگذارد تا با کمک دوقلوی دیجیتال بتواند عملکرد اجزای محصول را در شرایط مختلف پیش بینی کند و در مورد تعمیرات و تعویض قطعات تصمیمات آگاهانه بگیرد.

علاوه بر این کاربردها، بوئینگ از دوقلوی دیجیتال در محاسبه تراز بار نیز استفاده می‌کند تا بتواند استفاده بهینه و مطمئن از فضای بار هواپیماهای خود را تضمین کند [۱۰].



شکل ۱۶: دوقلوی دیجیتال برای سازماندهی، مدیریت و استخراج اطلاعات در شرکت بوئینگ [۱۰]

۴-۴-۲ شرکت ایرباس

نمونه عالی دیگر استفاده از دوقلوهای دیجیتال در هواپیمایی ایرباس است. در این شرکت، دوقلوهای دیجیتال فراتر از طراحی و آزمایش هواپیماها استفاده می‌شوند. این شرکت جهت ردیابی وضعیت هواپیما در طول عمر عملیاتی، از دوقلوهای دیجیتال

استفاده می‌کند (شکل ۱۷). این فناوری همچنین تعمیر و نگهداری پیشگیرانه را امکان‌پذیر می‌سازد به گونه‌ای که می‌توان مشکلات را قبل از بروز آنها شناسایی کرد، استانداردهای ایمنی را افزایش داد، خرابی‌های برنامه‌ریزی نشده را به حداقل رساند و هزینه‌های نگهداری و تعمیر را کاهش داد [۸].



شکل ۱۷: دوقلوی دیجیتال برای طراحی و ردیابی وضعیت هواپیما در طول عمر عملیاتی در شرکت ایرباس [۸]

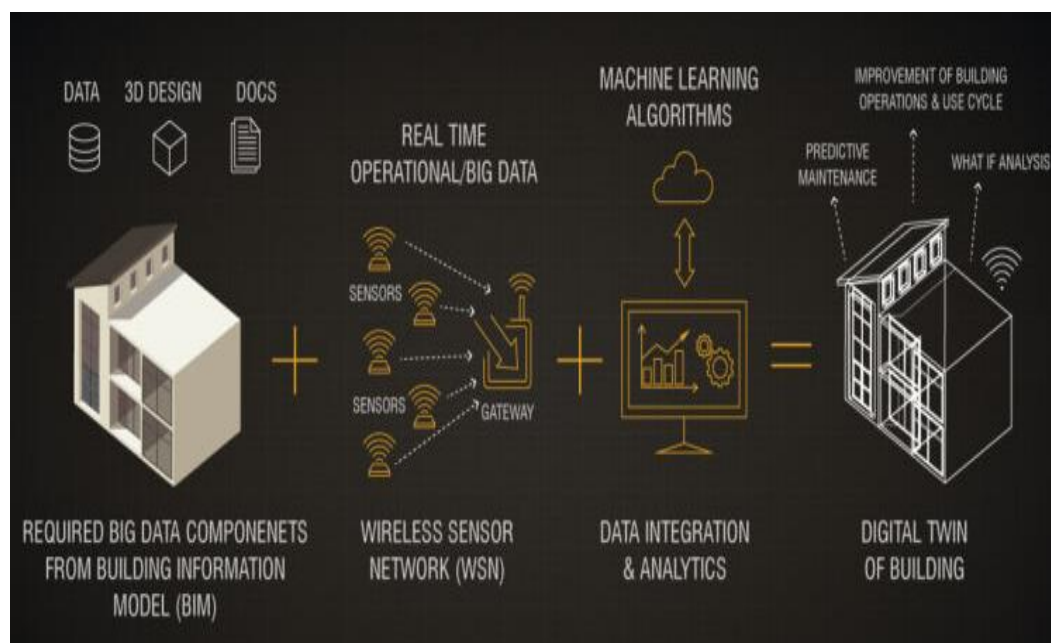
۴-۵ صنعت ساخت‌وساز

با استفاده از فناوری دوقلوی دیجیتال و AR در صنعت ساخت‌وساز می‌توان داده‌های پروژه را بهینه کرد، همکاری را ساده‌تر و پروژه‌ها را از مرحله طراحی تا عملیات و تعمیر و نگهداری تجسم نمود (شکل ۱۸). فناوری واقعیت افزوده به پیمانکاران کمک می‌کند تا به سرعت خطاهای طراحی را شناسایی و با آنها ارتباط برقرار کنند و به ذینفعان اجازه می‌دهد تا مسائل را حل و از دوباره کاری پرهزینه اجتناب کنند.

دوقلوهای دیجیتال با فهرست‌بندی اطلاعات حیاتی، شکاف بین طراحی تا ایجاد ساختمان را پر می‌کنند. این فناوری همچنین طراحی و مدیریت یک ساختمان را به هم مرتبط می‌کند و مدیران را قادر می‌سازد تا سامانه‌ها را در طول ساخت‌وساز نظارت کنند و در صورت همراه شدن با سامانه‌های مدیریت یکپارچه محل کار^۱ (IWMS)، منابع معتبری جهت مدیریت فضا و دارایی‌ها ایجاد کنند. به عنوان نمونه، می‌توان موارد زیر را جهت استفاده از دوقلوهای دیجیتال در صنعت ساخت‌وساز نام برد [۱۱]:

- تجسم بی‌درنگ طرح‌ها با استفاده از AR
- ساده‌سازی جریان کار طراحی و ساخت مجازی
- ارائه آموزش ایمنی همه‌جانبه
- تعمیر و نگهداری پروژه مدت‌ها پس از اتمام پروژه با حفظ مدل‌های ضروری و داده‌های پروژه

^۱ Integrated Workplace Management Systems



شکل ۱۸: دوقلو دیجیتال برای بهینه‌سازی داده‌های پروژه جهت تجسم‌سازی از طراحی تا عملیات و تعمیر و نگهداری در صنعت ساخت‌وساز [۱۴]

۴-۵-۱ شرکت Priva

شرکت آلمانی Priva یک نمونه عالی در صنعت ساخت‌وساز است که معیارهای مبتنی بر داده و فناوری دوقلو دیجیتال را در سامانه‌های خود ادغام می‌کند. Priva فناوری دوقلو دیجیتال را در ساختمان‌ها به منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی و هزینه‌ها و در عین حال کاهش انتشار CO₂، پیاده‌سازی می‌کند.

از دوقلو دیجیتال و هوش مصنوعی در محصول EcoBuilding این شرکت برای پیش‌بینی انرژی مورد نیاز جهت دستیابی به آب و هوای بهینه داخل ساختمان استفاده می‌شود و علاوه بر آن، مصرف ساختمان، تولید و ذخیره و هزینه‌های انرژی انعطاف‌پذیر نیز در نظر گرفته می‌شود.

استفاده از نرم‌افزار دوقلو دیجیتال این شرکت منجر می‌شود تا در مصرف گاز نزدیک به ۴۰ درصد صرفه‌جویی شود و آب و هوای داخل خانه بهبود یابد. همچنین این نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی شبکه‌های انرژی و ایجاد ساختمان‌های هوشمند استفاده می‌شود که برای آسایش و بهره‌وری بهینه انرژی با نیازهای کاربران سازگار است. باید توجه داشت که در حال حاضر، فناوری دوقلو دیجیتال به طور گسترده در ساختمان‌ها استفاده نمی‌شود [۱۰].

۵ جمع‌بندی

این گزارش به توصیف اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال و هم‌افزایی این فناوری‌ها در توسعه صنایع مختلف از جمله، صنعت تولید، صنعت بهداشت و درمان، صنعت خودروسازی، صنعت هوافضا و صنعت ساخت‌وساز و همچنین کاربرد آنها در پیشرفت شرکت‌های برتر دنیا در ارائه کیفیت بالای خدمات می‌پردازد.

ترکیب اینترنت اشیا و دوقلوهای دیجیتال غیرقابل توقف است. ادغام این فناوری‌ها عصر نوآوری بی‌نظیری را به پیش خواهد برد. همچنین می‌توان انتظار داشت که دوقلوهای دیجیتال از نمایش سامانه‌ها یا دارایی‌ها فراتر خواهند رفت و با تقلید دقیق

تمامی جزئیات هم‌تایان فیزیکی خود تکامل می‌یابند و امکان تجزیه و تحلیل، پیش‌بینی و عیب‌یابی دقیق‌تر را فراهم می‌کنند. ادغام اینترنت اشیاء و دوقلوهای دیجیتال با سایر فناوری‌ها مانند، هوش مصنوعی (AI)، واقعیت افزوده (AR) و واقعیت مجازی (VR) نوید جهانی را می‌دهد که در آن قلمرو فیزیکی و دیجیتال به طور یکپارچه در هم تنیده می‌شود. با گسترش این فناوری‌ها در دیگر صنایعی همچون محیط زیست، می‌توان کل زیست بوم را شبیه‌سازی و با داده‌های حسگرهای اینترنت اشیاء تغییرات محیطی را پیش‌بینی کرد. همچنین می‌توان گونه‌های در خطر انقراض را رصد یا حتی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر را بهینه نمود. از سوی دیگر، انتخاب شرکت و نوع نرم‌افزار دوقلوی دیجیتال مناسب برای یک صنعت بسیار حائز اهمیت است به گونه‌ای که می‌تواند تغییر دهنده بازی آن صنعت باشد. با عمیق‌تر شدن عصر دیجیتال، استفاده از شرکت‌های نرم‌افزار دوقلوی دیجیتال در عملیات صنایع مختلف جهت انعطاف‌پذیری و ماندگاری در بازاری که به سرعت در حال تغییر است، به طور فزاینده‌ای ضروری است. بنابراین برای اطمینان از این که شرکت دوقلوی دیجیتالی که انتخاب می‌شود می‌تواند اهداف فنی و تجاری را برآورده می‌کند، باید عوامل مهم یکپارچه‌سازی، مقیاس‌پذیری، مدیریت بی‌درنگ داده‌ها، شخصی‌سازی، سازگاری، جنبه‌های امنیتی، پشتیبانی، توسعه و صرفه جویی در هزینه را در نظر گرفت.

در این راستا، «شناخت کامل از انواع نرم‌افزارهای دوقلوی دیجیتال و شرکت‌های ارائه دهنده آنها در سطح جهانی و ملی»، «روش‌های ارزیابی نرم‌افزارهای دوقلوی دیجیتال» و «راه‌اندازی آزمایشگاه ارزیابی نرم‌افزارهای دوقلوی دیجیتال» مبتنی با صنایع مختلف، موضوعات جذابی هستند که می‌توان به عنوان پروژه در زمینه فناوری اطلاعات ارائه نمود.

مراجع

- [۱] Ankitha VP, “How Digital Twins and IoT Work Together”, *toobler consulting company*, ۲۰۲۴, [“<https://www.toobler.com/blog/digital-twin-iot>”].
- [۲] Josh Fruhlinger, Keith Shaw, “What is a digital twin and why is it important to IoT?”, *NetworkWorld*, ۲۰۲۴, United States.
- [۳] Mikhael Khaimov, “Exploring the Business Value of Digital Twins”, *Quality Digest*, ۲۰۲۲, California.
- [۴] Heedong Ko, Shapna Muralidharan, Byounghyum Yoo, “Designing a Semantic Digital Twin model for Korea”, *Korea Institute of Science and Technolog in IoT*, ۲۰۲۰, Korea
- [۵] Rajiv Suman, Mohad Javaid, Abid Haleem, “Digital Twin applications toward Industry ۴,۰”, pp. ۷۱-۹۲, *Cognitive Robotics*, ۲۰۲۳.
- [۶] Manaswini Rao, “From Concept to Creation: Steps to Develop Digital Twins”, *Facilio Company*, ۲۰۲۳ [“<https://facilio.com/blog/digital-twins/>”].
- [۷] Ankitha VP, “Types of Digital Twin Software”, *toobler consulting company*, ۲۰۲۴ [“<https://www.toobler.com/blog/types-of-digital-twin-software>”].
- [۸] Ankitha VP, “Digital Twin in Manufacturing”, *toobler consulting company*, ۲۰۲۴ [“<https://www.toobler.com/blog/digital-twins-in-manufacturing>”].
- [۹] Available: “Digital twins in the aircraft manufacturing industry”, ۲۰۲۰, [“<https://www.nlr.org/article/digital-twins-in-the-aircraft-manufacturing-industry/>”].
- [۱۰] Neil Sahota, “۵ Key Applications of Digital Twin Technology”, ۲۰۲۳, [“<https://www.linkedin.com/pulse/۵-key-applications-digital-twin-technology-neil-sahota-%E۸%۹۰%AA%E۵%۸۶%A۰%E۵%۸۶%۹B-/>”].
- [۱۱] Ankitha VP, “Digital Twin in Healthcare: What It Is, What It Does”, *toobler consulting company*, ۲۰۲۴, [“<https://www.toobler.com/blog/digital-twins-in-healthcare>”].
- [۱۲] Ramakrishnan CL, “Digital Twins for Next-Generation Electric Vehicles”, ۲۰۲۳.
- [۱۳] Bijaya Ketan Panigrahi, Vandana Jagdish, Akhil Garg, “Multi-Dimensional Digital Twin of Energy and Storage System for Electric Vehicles”, *Energy Storage*, ۲۰۲۱, [“<https://doi.org/۱۰.۱۰۰۲/est۲,۲۴۲>”].
- [۱۴] Available: “BIM to Digital Twins: Evolving towards Smart Construction in the AEC Industry”, ۲۰۲۲, [“<https://blog.indovance.com/bim-to-digital-twins-evolving-towards-smart-construction-in-the-aec-industry/>”].



نشانی: تهران، انتهای کارگر شمالی، پژوهشگاه
ارتباطات و فناوری اطلاعات، معاونت پژوهش و
توسعه ارتباطات علمی

تلفن: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۵

نمابر: ۰۲۱-۸۸۶۳۰۳۵۶