استفاده از تصاویر هوایی در مدیریت پروژه‌های عمرانی به‌وسیله مدل دیجیتال توئین

حسین یاوری[1*] / فرشته غفارپور[2]

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷ تاریخ پذیرش نهایی : ۱۴۰۳/۰۷/۰۹ تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۱۰/۰۱

چکیده

پژوهش حاضر به ارائه چارچوبی عملیاتی برای مدیریت بهینه پروژه‌های عمرانی با تکیه بر مدل دیجیتال توئین (Digital Twin) می‌پردازد. هدف این مطالعه، بررسی امکان‌پذیری و مزایای تلفیق داده‌های هوایی حاصل از پهپاد (UAV) با مدل اطلاعات ساختمان (BIM) به‌منظور ساخت نسخه‌ای دیجیتالی و زنده از پروژه‌های در حال ساخت است. در این چارچوب، ابتدا داده‌های تصویری به‌صورت دوره‌ای از سایت پروژه برداشت شده و از طریق فتوگرامتری، مدل سه‌بعدی As-Built تولید می‌شود. این مدل با BIM ترکیب شده و Digital Twin حاصل، قادر است وضعیت فیزیکی پروژه را به‌صورت لحظه‌ای بازنمایی کند

مدل دیجیتال توئین به‌دست‌آمده به ابزارهای مدیریت پروژه نظیر Primavera و Microsoft Project متصل شده و امکان پایش بلادرنگ، تشخیص مغایرت‌های اجرایی، پیش‌بینی تأخیرات و بهینه‌سازی تخصیص منابع را فراهم می‌آورد. علاوه بر آن، با بهره‌گیری از داده‌های محیطی (IoT)، پارامترهایی نظیر ایمنی، عملکرد مصالح و شرایط محیطی نیز در مدل شبیه‌سازی می‌گردند. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهند که ترکیب BIM،UAV و Digital Twin می‌تواند به کاهش دوباره‌کاری، افزایش شفافیت و بهبود تصمیم‌گیری در پروژه‌های عمرانی منجر شود و به‌عنوان الگویی نوین در مدیریت ساخت مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: مدیریت پروژه‌های عمرانی، تصاویر هوایی، پهپادها، مدل دیجیتال توئین، مدل اطلاعات ساختمان (BIM).

آبادی

شماره ۹۲، زمستان ۱۴۰۳

۵۷-۶۶

۱- کارشناس ارشد معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.
۲- کارشناس ارشد معماری انرژی، هنرهای زیبا دانشگاه تهران، تهران. ایران.

* نویسنده مسئول: Hossein_yavari@modares.ac.ir

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

مقدمه

پروژه‌های عمرانی، به‌ویژه در مقیاس بزرگ، اغلب با چالش‌هایی مانند تأخیر زمانی، افزایش هزینه، عدم انطباق اجرا با طراحی و ریسک‌های ایمنی مواجه هستند. این چالش‌ها ریشه در نبود دید جامع، به‌روز و دقیق نسبت به وضعیت اجرایی پروژه دارند. در پاسخ به این نیاز، فناوری‌های نوظهور همچون مدل دیجیتال توئین (Digital Twin)، چشم‌انداز جدیدی در مدیریت پروژه‌های ساخت‌وساز ارائه داده‌اند.

دیجیتال توئین به معنای ایجاد یک نسخه دیجیتالی زنده و هوشمند از وضعیت فیزیکی پروژه است که به‌طور پیوسته از داده‌های واقعی تغذیه می‌شود. یکی از کلیدی‌ترین منابع برای ساخت این مدل، تصاویر هوایی ثبت‌شده توسط پهپادهاست. این تصاویر با وضوح بالا و دقت مکانی قابل‌توجه، امکان ساخت مدل‌های As-Built، پایش تغییرات ساخت و مقایسه با طراحی‌های اولیه را فراهم می‌سازند. با ادغام داده‌های به‌دست‌آمده از پروازهای پهپاد با مدل اطلاعات ساختمان (BIM) و تحلیل‌های مبتنی بر هوش مصنوعی، می‌توان محیطی تعاملی، بصری و تحلیلی برای مدیران پروژه ایجاد کرد که تصمیم‌سازی‌ها را دقیق‌تر، سریع‌تر و بر پایه اطلاعات واقعی انجام دهد. این فرآیند نه‌تنها موجب کاهش مغایرت‌ها و بازسازی‌ها می‌شود، بلکه به پیش‌بینی مشکلات و پیشگیری از تأخیرات نیز کمک می‌کند. این مقاله در ادامه‌ی پژوهش‌های پیشین در حوزه استفاده از پهپاد و BIM، بر آن است تا چارچوبی ترکیبی و عملیاتی برای ایجاد Digital Twin در پروژه‌های عمرانی پیشنهاد دهد و با بررسی یک مطالعه موردی، تأثیر آن را در بهبود نظارت و مدیریت پروژه ارزیابی نماید.

مرور ادبیات پژوهش

پیشرفت فناوری‌های دیجیتال در دهه اخیر، راهکارهای نوینی را برای بهبود مدیریت پروژه‌های عمرانی ارائه داده است. یکی از این فناوری‌ها، مدل دیجیتال توئین (Digital Twin) است که با ترکیب داده‌های واقعی و مدل‌های دیجیتال، امکان شبیه‌سازی، نظارت و تصمیم‌گیری در زمان واقعی را فراهم می‌کند. (Tao et al., 2018)

در کنار توسعه دیجیتال توئین، استفاده از پهپادها (UAVs) برای برداشت اطلاعات میدانی، جایگاه ویژه‌ای در پروژه‌های عمرانی یافته است. پهپادها می‌توانند با تصویربرداری دقیق و سریع از کل سایت پروژه، اطلاعات به‌روزی فراهم کنند که پایه‌گذار ایجاد مدل‌های As-Built و تطبیق آن‌ها با طراحی‌های اولیه هستند (Young, 2023). این تصاویر با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند Pix4D، RealityCapture یا DroneDeploy به مدل‌های سه‌بعدی دقیق تبدیل می‌شوند. (Outay et al., 2020). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که تلفیق تصاویر پهپادی با مدل اطلاعات ساختمان (BIM)، می‌تواند منجر به ساخت یک دیجیتال توئین پویا شود که بازتاب دقیقی از وضعیت اجرایی پروژه در زمان واقعی ارائه می‌دهد (Elghaish et al., 2020). این مدل‌ها امکان شناسایی مغایرت‌ها بین اجرا و طراحی، تحلیل پیشرفت پروژه و حتی پیش‌بینی تأخیرات را فراهم می‌سازند. (Yildiz & Kuvrak, 2021)

در برخی تحقیقات، از الگوریتم‌های یادگیری ماشین نظیر شبکه‌های عصبی کانولوشنی (CNN) برای تحلیل خودکار داده‌های تصویری برداشت‌شده توسط پهپاد استفاده شده است (Mirzabeigi & Razkenari, 2022). این الگوریتم‌ها می‌توانند اجزای سازه‌ای مانند ستون، تیر، دیوار یا بازشوها را شناسایی و با طراحی BIM تطبیق دهند (Sanchez, 2019). همچنین مطالعاتی به بررسی استفاده ترکیبی از BIM، داده‌های هوایی، اینترنت اشیاء (IoT) و سامانه‌های تصمیم‌یار در چارچوب دیجیتال توئین پرداخته‌اند و نشان داده‌اند که این ترکیب می‌تواند عملکرد نظارتی و مدیریتی پروژه را به‌طور چشمگیری ارتقا دهد. (Lu et al., 2020) و (Batty et al., 2021) در پروژه‌های زیرساختی پیشرفته نیز استفاده از دیجیتال توئین به‌عنوان ابزار پیشرفته پایش، برنامه‌ریزی و پیش‌بینی رفتار آینده پروژه، در حال تبدیل‌شدن به یک استاندارد جدید در مدیریت ساخت‌وساز است. (Boje et al., 2020)

مفهوم دیجیتال توئین در مهندسی عمران

دیجیتال توئین (Digital Twin) مفهومی پیشرفته در صنعت ساخت‌وساز است که به ایجاد یک نسخه‌ی مجازی زنده از دارایی‌های فیزیکی، همراه با داده‌های واقعی و جاری، اشاره دارد. برخلاف مدل‌های BIM که نمایی ایستا از طراحی پروژه ارائه می‌دهند، دیجیتال توئین با اتصال به منابع داده میدانی، از جمله تصاویر پهپاد، سنسورها و داده‌های محیطی، وضعیت پروژه را در زمان واقعی شبیه‌سازی و تحلیل می‌کند (Boschert & Rosen, 2016) در حوزه مهندسی عمران، دیجیتال توئین می‌تواند برای نظارت بر پیشرفت ساخت، تحلیل کیفیت اجرا، پیش‌بینی تأخیرها و حتی ارزیابی ریسک ایمنی به کار گرفته شود. این مدل با داده‌هایی مانند تصاویر هوایی، سنجش ارتعاشات، دما، رطوبت و حرکت مصالح تغذیه می‌شود (Khajavi et al., 2019).

مزایای کلیدی استفاده از Digital Twin در پروژه‌های عمرانی به شرح زیر است:

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

جدول ۱- مقایسه روش‌های سنتی نظارت با رویکرد دیجیتال توین

ویژگی‌ها	روش سنتی	روش دیجیتال توین
پایش پیشرفت	دستی، بازدید میدانی	خودکار، بلادرنگ با داده‌های UAV
تشخیص مغایرت	با تأخیر و انسانی	سریع، با الگوریتم تطبیق
ثبت داده	اسنادی و کاغذی	دیجیتال، تصویری و 3D
واکنش به تأخیر	کند	آنی و قابل پیش‌بینی

مزایای کلیدی دیجیتال توین

۱. **پایش لحظه‌ای وضعیت پروژه:** Digital Twin با اتصال به داده‌های لحظه‌ای از پهپاد، سنسور و IoT، وضعیت اجرا، انحرافات سازه‌ای یا تاخیرات را در لحظه نشان می‌دهد. (Khosrow-Pour, 2020)

۲. **تحلیل تطبیقی با طراحی (BIM):** با ادغام Digital Twin و مدل BIM، می‌توان اختلاف بین طراحی و اجرا را سریعاً تشخیص داد و اصلاح کرد (Seo et al., 2018).

۳. **پیش‌بینی رفتار سازه و منابع:** با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، داده‌های دیجیتال توین برای پیش‌بینی فرسودگی، تأخیر، یا نیاز به تعمیرات به‌کار گرفته می‌شود (Kim & Son, 2013).

۴. **یکپارچه‌سازی با داشبوردهای مدیریتی:** سیستم‌های تصمیم‌یار مانند داشبوردهای مدیریتی (BI Tools) به کمک Digital Twin قادر به تحلیل بصری و گزارش‌گیری دقیق از وضعیت پروژه هستند (Hassan & Le, 2020).

نقش تصاویر هوایی در تکمیل Digital Twin

تصاویر هوایی ثبت‌شده توسط پهپاد یکی از غنی‌ترین منابع داده برای ساخت مدل As-Built هستند. این تصاویر از طریق نرم‌افزارهای فتوگرامتری یا LIDAR به مدل‌های سه‌بعدی با دقت بالا تبدیل می‌شوند (Ciampa & Fatiguso, 2019). سپس این مدل‌ها با مدل BIM تلفیق شده و خروجی حاصل، یک Digital Twin پویا است که امکان کنترل، نظارت و تصمیم‌گیری هوشمند را فراهم می‌کند.

با اتصال این مدل به سیستم‌های برنامه‌ریزی پروژه (مانند Primavera یا MS Project) و داشبوردهای مدیریتی، مدیر پروژه قادر خواهد بود تحلیل‌هایی دقیق از پیشرفت، مغایرت‌ها، تخصیص منابع و زمان‌بندی‌ها انجام دهد. (Na-sir et al., 2023)

چارچوب پیشنهادی: تلفیق تصاویر هوایی، BIM و دیجیتال توین

چارچوب پیشنهادی این مقاله با هدف ایجاد یک Digi-tal Twin پویا برای مدیریت پروژه‌های عمرانی، براساس ترکیب سه فناوری کلیدی توسعه داده شده است:

- **پهپادها** (UAVs) به‌عنوان ابزار برداشت تصویری هوایی؛
- **مدل اطلاعات ساختمان** (BIM) به‌عنوان ساختار پایه طراحی و داده‌های سازه؛
- **مدل دیجیتال توین** (Digital Twin) به‌عنوان هسته تصمیم‌یار در مدیریت زمان، کیفیت و هزینه.

این چارچوب در پنج مرحله اصلی پیاده‌سازی می‌شود:

۱. برداشت تصاویر هوایی توسط پهپاد

پهپادهای مجهز به دوربین‌های فوتوگرامتری یا LIDAR از سایت پروژه در بازه‌های منظم تصویربرداری می‌کنند. این داده‌ها با دقت بالا و از زوایای مختلف تهیه می‌شوند تا مدل هندسی دقیقی از شرایط واقعی پروژه تولید شود. (Ciampa & Fatiguso, 2019) و (Tao & Zhang, 2020)

۲. ساخت مدل As-Built از تصاویر

تصاویر گرفته‌شده توسط پهپاد وارد نرم‌افزارهایی مانند Pix4D، DroneDeploy یا RealityCapture می‌شوند. خروجی این نرم‌افزارها، مدل سه‌بعدی As-Built از پروژه در لحظه برداشت است. (Outay et al., 2020) و (Ciampa & Fatiguso, 2019)

۳. تلفیق مدل As-Built با مدل BIM

مدل As-Built با مدل BIM اصلی که از طراحی پروژه به‌دست آمده، تطبیق داده می‌شود. در این مرحله، مغایرت‌های هندسی، جابجایی اجزاء، حذف یا اجرای ناقص المان‌ها و اختلافات اجرایی شناسایی می‌شوند. (Elghaish et al., 2020) و (Seo et al., 2018)

۴. ایجاد مدل Digital Twin زنده

پس از تطبیق مدل As-Built با مدل طراحی (BIM)، نسخه‌ای زنده از دیجیتال توین شکل می‌گیرد که بازتاب دقیقی از وضعیت فعلی پروژه است. این مدل با داده‌های

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

تصویری، هندسی و زمانی به‌روزرسانی شده و امکان پایش بلادرنگ (real-time monitoring) را در محیط دیجیتال فراهم می‌کند. همچنین با اتصال به داده‌های محیطی مانند دما، رطوبت، ارتعاشات یا وضعیت سازه‌ای از طریق حسگرها (IoT)، می‌توان پارامترهای ایمنی، عملکرد مصالح و شرایط محیطی پروژه را نیز در مدل دیجیتال توپین شبیه‌سازی و ردیابی کرد. (Khajavi et al., 2019) و (Li & Zhang, 2021)

۵. اتصال مدل به سیستم‌های مدیریت و تصمیم‌گیری

مدل دیجیتال توپین نهایی می‌تواند به ابزارهای حرفه‌ای مدیریت پروژه نظیر Microsoft Project، Primavera P6 و داشبوردهای تحلیلی متصل شود. این یکپارچه‌سازی به مدیران پروژه این امکان را می‌دهد تا مغایرت‌های اجرایی را به‌صورت خودکار شناسایی، تأخیرات احتمالی را پیش‌بینی و تخصیص منابع را در طول زمان بهینه‌سازی کنند. در این بستر، تصمیم‌گیری به‌جای تکیه بر گزارش‌های سنتی، براساس داده‌های تحلیلی و به‌روز انجام می‌گیرد. (Hassan & Le, 2020) و (Nasir et al., 2023) و (DJI Enterprise, 2024)

مطالعه موردی استفاده از تصاویر هوایی برای ساخت دیجیتال توپین در پروژه‌های عمرانی

در این بخش، چند پروژه واقعی بررسی می‌شوند که در آن‌ها، از تصاویر هوایی ثبت‌شده توسط پهپاد برای ساخت مدل‌های دیجیتال توپین استفاده شده و کاربرد آن در نظارت ساخت، تطبیق اجرا با طراحی، حفظ سازه‌های تاریخی و پیش‌بینی تأخیرات موردبررسی قرار گرفته است

مطالعه موردی اول: ساخت خانه‌های پیش‌ساخته با کانتینر (ایران – مطالعه شبیه‌سازی‌شده)

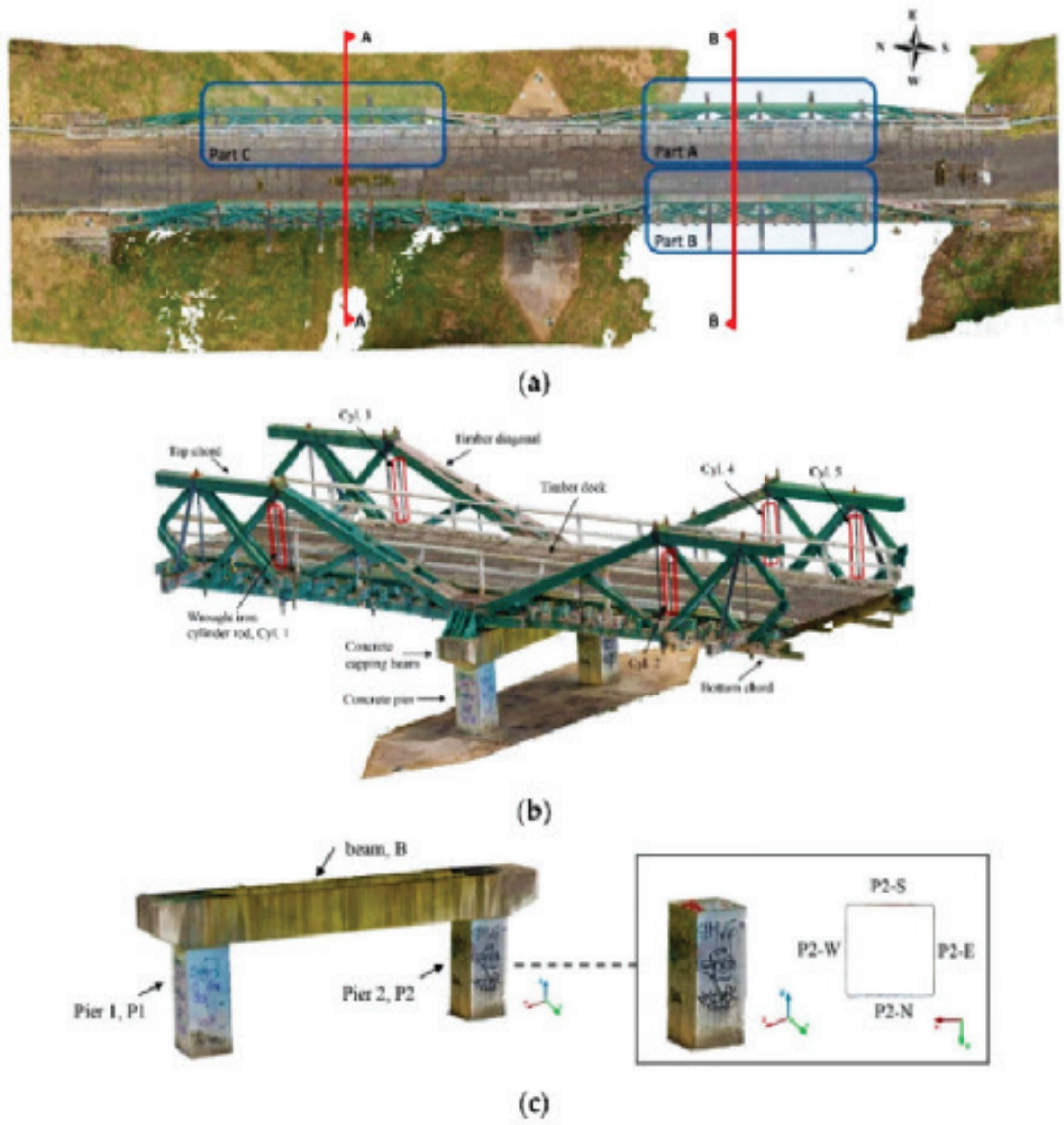
در یک پروژه فرضی در ایران، شرکت طراحی صنعتی اقدام به ساخت خانه‌های پیش‌ساخته با کانتینر کرد. پهپادهای تجاری DJI با دوربین RTK برای برداشت هفتگی تصاویر هوایی از سایت به کار گرفته شدند. مدل‌های As-Built با استفاده از نرم‌افزار Pix4D ساخته شدند و سپس با مدل BIM پروژه در محیط Navisworks و Revit تطبیق داده شدند. در نتیجه، مغایرت‌هایی در اجرای دیوارهای ماژولار کشف شد که پیش از نصب نهایی اصلاح گردید. این روش منجر به کاهش ۴ روز تأخیر و صرفه‌جویی حدود ۶٪ در هزینه‌ها شد.

مطالعه مشابهی توسط Salem و همکاران در سال ۲۰۲۴ انجام شده که از همین فرآیند برای مدیریت پروژه ساخت‌وساز صنعتی استفاده کرده‌اند (Esri, 2025).

مطالعه موردی دوم: مدل‌سازی دیجیتال پل تاریخی McKanes Falls – استرالیا

در پروژه‌ای واقعی در نیوساوت‌ولز استرالیا، از پهپادهای تصویربرداری و اسکن لیزری زمینی (TLS) برای تهیه مدل‌های سه‌بعدی از پل تاریخی McKanes Falls استفاده شد. هدف پروژه، ارزیابی دقت مدل‌های حاصل از فتوگرامتری پهپاد در مقایسه با TLS بود. (شکل ۱) نتیجه بررسی‌ها نشان داد که مدل‌های نقطه‌ای حاصل از پهپاد دقتی قابل‌قبول برای پروژه‌های مرمتی دارد و قابلیت پیاده‌سازی در چارچوب دیجیتال توپین را دارد (Siebert & Teizer, 2014).

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

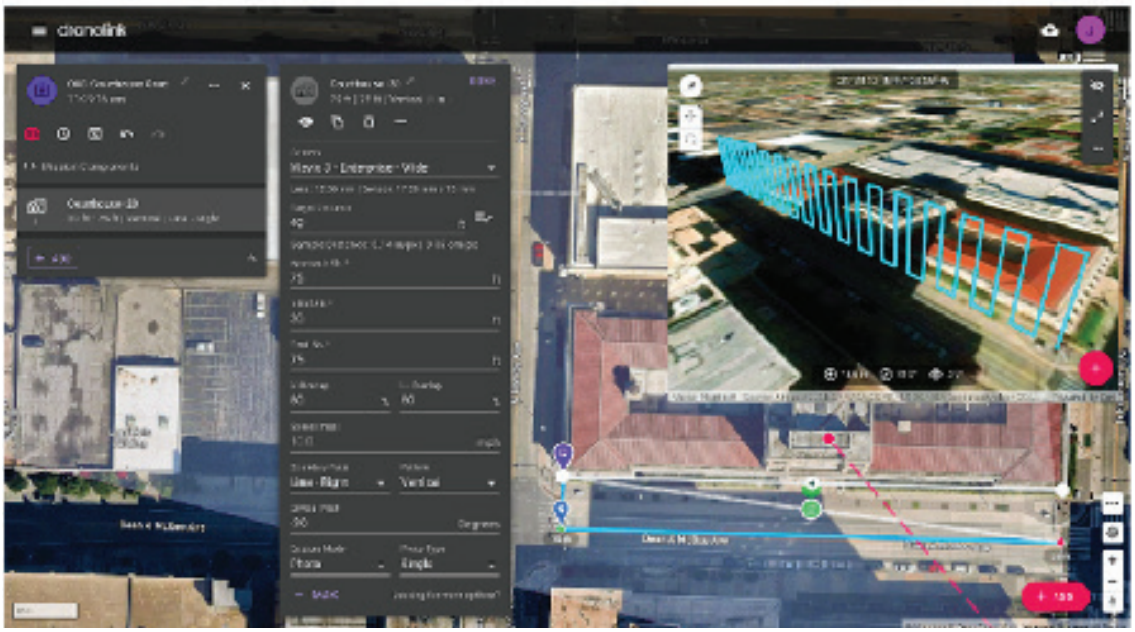


شکل ۱- پل تاریخی McKanes Falls استرالیا

مطالعه موردی سوم: ساخت دیجیتال توین از ساختمان‌های تاریخی در اوکلاهما – آمریکا

در این پروژه، سازمان فدرال آمریکا از پهپاد DJI Enter-prise برای برداشت خودکار تصاویر از دادگاه منطقه‌ای اوکلاهما و مرکز آموزشی فدرال استفاده کرد. (شکل ۲) مدل سه‌بعدی ایجادشده، پایه‌ای برای ساخت دیجیتال توین شد که در آن اطلاعات سازه‌ای و فضایی برای مستندسازی، بازسازی و حفظ ساختمان تاریخی استفاده شد. پروازها با استفاده از برنامه‌ریزی خودکار در Dronelink و تحلیل‌ها در محیط BIM انجام گرفت. (Bilberg & Malik, 2019)

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]



شکل ۲- ساختمان دادگاه منطقه‌ای اوکلاهما و مرکز آموزشی فدرال

مطالعه موردی چهارم: پروژه La Cima – تگزاس، ایالات‌متحده

در پروژه بزرگ مسکونی–تجاری La Cima در تگزاس، توسعه‌دهندگان از پهپاد برای تصویربرداری هفتگی سایت و کنترل پیشرفت پروژه استفاده کردند. تصاویر با استفاده از ArcGIS Online پردازش و وارد سیستم مدیریت ساخت GIS-base شدند. این سیستم به مدیران امکان پایش زمان واقعی، تحلیل مغایرت‌های اجرایی و بهینه‌سازی تصمیم‌گیری را می‌داد (Batty et al., 2021).

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

جدول ۲- خلاصه ویژگی‌های مطالعات موردی (منبع: نگارنده)

نام پروژه	کشور	فناوری‌های استفاده‌شده	نتایج کلیدی
خانه‌های کانتینری	ایران	UAV + BIM	کاهش هزینه ساخت و افزایش دقت مونتاژ
پل McKanes Falls	استرالیا	UAV + TLS	مستندسازی دقیق سازه تاریخی
ساختمان تاریخی اوکلاهما	آمریکا	UAV + Matterport	حفظ معماری و ارائه بازدید مجازی

تحلیل مزایا، چالش‌ها و پیشنهادات توسعه در به‌کارگیری تصاویر هوایی در دیجیتال توئین

مزایای کلیدی به‌کارگیری تصاویر هوایی در ساخت

۱. **افزایش دقت داده‌های میدانی:** تصاویر هوایی ثبت‌شده توسط پهپادها امکان ساخت مدل‌های As-Built با دقت بسیار بالا (تا سطح سانتیمتر) را فراهم می‌کنند. این دقت بالا به شناسایی سریع مغایرت‌های هندسی و اصلاح آن‌ها قبل از تبدیل‌شدن به خطاهای پرهزینه کمک می‌کند (Esri, 2025) و (Seo et al., 2018).

۲. **پایش لحظه‌ای پیشرفت پروژه:** داده‌های پهپادی می‌توانند به‌صورت روزانه یا هفتگی جمع‌آوری شوند و با مدل طراحی‌شده (BIM) مقایسه گردند. این تطبیق به مدیر پروژه اجازه می‌دهد تا میزان پیشرفت واقعی پروژه را با برنامه زمان‌بندی (4D BIM) مقایسه و تأخیرات را شناسایی کند (Kim & Son, 2013).

۳. **کاهش هزینه‌های بازسازی و دوباره‌کاری:** در پروژه‌های واقعی، مغایرت‌های اجرا و طراحی یکی از دلایل اصلی افزایش هزینه‌هاست. دیجیتال توئین مبتنی بر تصاویر پهپادی می‌تواند این مغایرت‌ها را زودتر تشخیص داده و از اتلاف منابع جلوگیری کند (Elghaish et al., 2020) و (Esri, 2025) و (Hassan & Le, 2020)

۴. **شفاف‌سازی وضعیت پروژه برای ذی‌نفعان:** دیجیتال توئین، با امکان ارائه تصویری زنده و دقیق از پروژه، به عنوان ابزاری قدرتمند برای گزارش‌دهی به کارفرما، ناظر، سرمایه‌گذار و سایر ذینفعان عمل می‌کند (Bat-ty et al., 2021)

چالش‌ها و محدودیت‌های اجرای این فناوری:

۱. **محدودیت پروازی، قانونی و جوی پهپادها:** در مناطق شهری یا نزدیک به فرودگاه‌ها، قوانین پروازی سخت‌گیرانه وجود دارد. همچنین پهپادها در باد شدید یا باران نمی‌توانند پرواز کنند. این موضوع در برنامه‌ریزی پروازها مشکل‌ساز می‌شود. (Siebert & Teizer, 2014) و (Ciampa & Fatiguso, 2019)

۲. **نیاز به تخصص در داده‌برداری، پردازش و تحلیل:** اجرای این فناوری نیازمند تیمی از متخصصان در حوزه‌های پهپاد، GIS، BIM و یادگیری ماشین است که در بسیاری از پروژه‌ها در دسترس نیستند (Kim & Son, 2013) و (Li & Zhang, 2021) و (Ciampa & Fatiguso, 2019)

۳. **نبود استانداردهای واحد برای ادغام داده‌ها:** تنوع در فرمت فایل‌های خروجی پهپادها، اختلاف ساختار مدل‌های BIM و عدم اتصال مستقیم میان سیستم‌های مختلف موجب پیچیدگی در تحلیل یکپارچه می‌شود. (DJI Enterprise, 2024) و (Tao & Zhang, 2020)

پیشنهادات توسعه و آینده‌پژوهی

- ایجاد چارچوب ملی یا بین‌المللی برای ادغام داده‌های UAV و BIM در مدل‌های Digital Twin
- استفاده از سیستم‌های ابری برای ذخیره‌سازی و به‌روزرسانی مدل‌ها در مقیاس پروژه‌های بزرگ (Tao & Zhang, 2020)
- تلفیق تصاویر هوایی با داده‌های سنسوری برای پایش ایمنی، رطوبت، لرزه و وضعیت ساخت (Nasir et al., 2023) و (Li & Zhang, 2021)
- توسعه داشبوردهای هوشمند مبتنی بر AI برای تصمیم‌سازی سریع در پروژه‌های بزرگ زیرساختی (Nasir et al., 2023) و (Outay et al., 2020).

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی و تحلیل نقش تصاویر هوایی در شکل‌گیری و به‌کارگیری مدل دیجیتال توین (Digital Twin) در پروژه‌های عمرانی انجام شد. در این مطالعه، چارچوبی عملیاتی مبتنی بر فناوری پهپاد (UAV)، مدل اطلاعات ساختمان (BIM) و سیستم‌های تحلیل داده ارائه گردید که از طریق آن می‌توان یک نسخه دیجیتالی زنده، پویا و تطبیقی از پروژه ایجاد نمود. این مدل قادر است با بازتاب بلادرنگ وضعیت اجرایی، مغایرت‌ها را شناسایی کرده، روند پیشرفت پروژه را تحلیل نموده و فرآیند تصمیم‌گیری مدیریتی را تسهیل و تسریع کند.

تحلیل مزایا و مطالعات موردی انجام‌شده در مقاله نشان داد که بهره‌گیری از تصاویر هوایی در چارچوب دیجیتال توین، موجب بهبود دقت نظارت، افزایش شفافیت اطلاعاتی، کاهش هزینه‌های ناشی از دوباره‌کاری و ارتقاء کلی بهره‌وری در پروژه‌های عمرانی می‌شود. همچنین توانایی این فناوری در پیش‌بینی تأخیرات، مستندسازی خودکار و پایش مستمر پیشرفت، آن را به ابزاری کلیدی و استراتژیک در مدیریت پروژه‌های بزرگ، پیچیده و زیرساختی تبدیل کرده است.

با وجود این مزایا، چالش‌هایی نظیر محدودیت‌های پروازی پهپادها، وابستگی به مهارت‌های فنی بالا، الزامات امنیت داده و نبود استانداردهای هماهنگ، همچنان از موانع اصلی توسعه فراگیر این رویکرد محسوب می‌شوند. با این حال، پیشرفت‌های هم‌زمان در فناوری‌هایی نظیر اینترنت اشیاء (IoT)، یادگیری ماشین، واقعیت افزوده و استانداردهای بین‌المللی در حوزه دیجیتال‌سازی، مسیر توسعه دیجیتال توین را در صنعت ساخت‌وساز هموارتر و مؤثرتر خواهد کرد.

درنهایت، می‌توان نتیجه گرفت که مدل دیجیتال توین مبتنی بر داده‌های هوایی، نه‌تنها ابزاری برای نظارت هوشمند و بهینه‌سازی اجرای پروژه‌هاست، بلکه زیرساختی برای تحقق ساخت‌وساز پایدار، قابل ردیابی و تصمیم‌پذیر در آینده‌ی صنعت عمران به شمار می‌آید.

درمجموع، دیجیتال توین مبتنی بر داده‌های هوایی می‌تواند آینده مدیریت پروژه‌های عمرانی را متحول کند و بستری هوشمند برای نظارت، تصمیم‌گیری و پایداری فراهم آورد.

منابع

1. Tao, F., Zhang, H., Liu, A., & Nee, A. Y. C. (2018). Digital twin in industry: State-of-the-art. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 15(4), 2405–2415.
2. Young, J. (2023). The Use of Drones in Construction Inspection and General Building.
3. Outay, F., Mengash, H. A., & Adnan, M. (2020). Applications of drone technology in construction project management. International Journal of Engineering Research and Technology, 13(3), 578–586.
4. Elghaish, F., Abrishami, S., & Hosseini, M. R. (2020). Integrated BIM and machine learning for real-time construction monitoring. Automation in Construction, 118, 103273.
5. Yildiz, S., & Kuvrak, S. (2021). Predictive analysis in construction using AI: Potential and applications. Engineering, Construction and Architectural Management, 28(8), 2427–2443.
6. Mirzabeigi, S., & Razkenari, M. (2022). Automated vision-based building inspection using drone thermography. In Construction Research Congress 2022: Infrastructure and Facility Management (pp. 336–345).
7. Sanchez, J. J. (2019). Machine learning applications in construction progress monitoring and error detection. Journal of IT in Construction, 24, 144–160.
8. Lu, Q., Xie, X., & Webster, C. J. (2020). From BIM to digital twin: A state-of-the-art review. Automation in Construction, 121, 103800.
9. Batty, M., et al. (2021). Digital twins for planning and urban management. Nature Urban Sustainability, 1(1), 1–8.
10. Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic construction digital twin: A review. Automation in Construction, 114, 103179.
11. Boschert, S., & Rosen, R. (2016). Digital twin—the simulation aspect. In Mechatronic Futures (pp. 59–74). Springer.
12. Khajavi, S. H., Motlagh, N. H., Holmström, J., & Srai, J. S. (2019). Digital twins: From manufacturing to construction. Computers in Industry, 113, 103130.
13. Khosrow-Pour, M. (Ed.). (2020). Advanced Research on Smart Technology and Applications. IGI Global.
14. Seo, J., Duque, L., & Wacker, J. (2018). Drone-enabled bridge inspection methodology and application. Structures, 16, 112–126.
15. Kim, H., & Son, H. (2013). 4D BIM-based progress monitoring using image analysis. Automation in Construction, 31, 75–82.

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

on the use of drones for construction inspections. Buildings, 9(3), 66.

33. Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic construction digital twin: A review. Automation in Construction, 114, 103179.
34. Tao, F., & Zhang, H. (2020). Toward a data-driven smart construction: Integrating IoT, BIM, and digital twin. IEEE Access, 8, 160401–160417.
35. Nasir, A. N. M., et al. (2023). UAV-based monitoring and IoT integration for real-time site management. Journal of Construction Innovation, 23(2), 201–220.

16. Hassan, T. M., & Le, T. (2020). Integration of BIM and digital twin for smart project management. Journal of Building Engineering, 32, 101705.
17. Ciampa, E., & Fatiguso, F. (2019). Practical issues on the use of drones for construction inspections. Buildings, 9(3), 66.
18. Tkáč, M., & Mésároš, P. (2019). Utilizing drone technology in civil engineering. Procedia Engineering, 196, 447–453.
19. Nasir, A. N. M., et al. (2023). UAV-based monitoring and IoT integration for real-time site management. Journal of Construction Innovation, 23(2), 201–220.
20. Tao, F., & Zhang, H. (2020). Toward a data-driven smart construction: Integrating IoT, BIM, and digital twin. IEEE Access, 8, 160401–160417.
21. Salem, T., Dragomir, M., & Chatelet, E. (2024). Strategic Integration of Drone Technology and Digital Twins for Optimal Construction Project Management. Applied Sciences, 14(11), 4787.
22. Li, J., & Zhang, Y. (2021). Quality Evaluation of Digital Twins Generated Based on UAV Photogrammetry and Terrestrial Laser Scanning: A Case Study on Bridge Monitoring. Remote Sensing, 13(17), 3499.
23. DJI Enterprise. (2024). Creating Digital Twins with DJI Enterprise Drones. https://enterprise-insights.dji.com/blog/creating-digital-twins-with-dji-enterprise-drones
24. Esri. (2025). GIS and Drone Imagery Boost Construction Management Efficiency: La Cima Case Study. https://www.esri.com/en-us/lg/industry/aec/stories/la-cima-case-study
25. Siebert, S., & Teizer, J. (2014). Mobile 3D mapping for surveying earthwork projects using UAVs. Automation in Construction, 41, 1–14.
26. Bilberg, A., & Malik, A. A. (2019). Digital twin driven human-robot collaborative assembly. Procedia CIRP, 81, 1206–1211.
27. Batty, M., et al. (2021). Digital twins for planning and urban management. Nature Urban Sustainability, 1(1), 1–8.
28. Seo, J., Duque, L., & Wacker, J. (2018). Drone-enabled bridge inspection methodology and application. Structures, 16, 112–126.
29. Kim, H., & Son, H. (2013). 4D BIM-based progress monitoring using image analysis. Automation in Construction, 31, 75–82.
30. Hassan, T. M., & Le, T. (2020). Integration of BIM and digital twin for smart project management. Journal of Building Engineering, 32, 101705.
31. Batty, M., et al. (2021). Digital twins for planning and urban management. Nature Urban Sustainability, 1(1), 1–8.
32. Ciampa, E., & Fatiguso, F. (2019). Practical issues

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]

Utilizing Aerial Imagery in Construction Project Management through the Digital Twin Model

Hossein Yavari[1*]/Fereshteh Ghaffarpoor[2]

Received: 2024/03/07 Accepted: 2024/09/30 Available Online: 2025/12/21

Abstract

This study presents an operational framework for the optimized management of construction projects by leveraging the Digital Twin model. The objective is to explore the feasibility and benefits of integrating aerial data acquired by Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) with Building Information Modeling (BIM) to generate a live, digital replica of ongoing construction projects. Within this framework, periodic aerial imagery is collected from the project site and processed through photogrammetry to create a 3D as-built model. This model is then integrated with BIM, resulting in a Digital Twin that reflects the real-time physical status of the project. The generated Digital Twin is linked to project management tools such as Primavera and Microsoft Project, enabling real-time monitoring, detection of execution discrepancies, delay prediction, and resource allocation optimization. Additionally, with the integration of environmental data via the Internet of Things (IoT), parameters such as safety, material performance, and environmental conditions are also simulated within the model. Findings suggest that combining UAV, BIM, and Digital Twin technologies can significantly reduce rework, enhance transparency, and improve decision-making in construction management, positioning this approach as a novel paradigm in the field.

Keywords: Construction project management, aerial imagery, UAVs, Digital Twin model, Building Information Modeling (BIM).

آباد

No. 92 / Winter 2025

57-66

1-M.A. in Architecture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.
2-M.A. in Energy Architecture, Faculty of Fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran.

* Corresponding Author: Hossein_yavari@modares.ac.ir

[Downloaded from journalabadi.ir on 2025-07-20]