

ارزیابی کاربرد کد¹ 4 بعدی بر روی پروژه های ساختمانی

چکیده

مدل های کد چهار بعدی که عناصر سه بعدی فیزیکی را با زمان ادغام می کنند، به منظور مجسم ساختن فرآیند ساخت چندین پروژه در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته اند. مدل های 4 بعدی مورد استفاده قرار گرفته و نشان داده اند که در زمینه فرایندهایی که کل طول عمر سازه را شامل می شوند مانند همکاری با سهام داران، تصمیم گیری برای طراحی، ارزیابی سازگاری پروژه، شناسایی تنش های فضایی در ساخت و غیره دارای مزایایی هستند. با وجود چنین مزایایی، چندین سازمان و پروژه های با موانع خاص به صورت گسترده کد 4 بعدی را مورد استفاده قرار داده اند. به منظور تطابق مزایای نظری مدل های 4 بعدی با مشکلات عملی که در اجرا با آن ها مواجه می شویم، نیاز فوری برای بررسی اجرای مدل های 4 بعدی در مکان های ساخت و ساز و همچنین درک این روش اجرا توسط کاربران / ذینفعان وجود دارد. هدف از این مقاله پاسخگویی به این نیاز و کمک به درک ما از چگونگی معرفی، قرارگیری و اجرای مدل های 4 بعدی در محل های ساخت است تا هم پذیرش و هم فایده آن ها به حداکثر برسد. ما دو مدل 4 بعدی پروژه های زیربنایی و دو مدل 4 بعدی پروژه های تجاری که ساخته و اجرایی شده اند را توصیف می کنیم. از طریق بررسی پاسخ متقاضیان پروژه ساخته شده و ساخته نشده در سطوح مختلف سازمانی هر یک از این پروژه ها سودمندی 4 بعدی در برنامه ریزی و کنترل پروژه مشخص می شود. از طریق تحلیل کیفی و آماری داده ها، می توان دریافت که کد 4 بعدی در مرحله طراحی و برنامه ریزی پروژه و مرحله ساخت بسیار سودمند خواهد بود. در مرحله طراحی، کد 4 بعدی در زمینه مرتبط ساختن فرآیندها و برنامه های ساخت با

¹ CAD

²4D

مشتریان و در مرحله ساخت کد 4 بعدی در زمینه مقایسه سازگاری بصری روش های کار به منظور شناسایی نقص ها و مشکلات سودمند خواهد بود، همچنین به عنوان ابزاری بصری برای پیمانکاران، مشتریان، پیمانکاران فرعی، و فروشندگان، به بررسی و برنامه ریزی پیشرفت پروژه می پردازد. علاوه بر این، مدیران ارشد و کارگران محل پروژه به احتمال زیاد از تصویر سازی فرایندها با استفاده از 4 بعدی سود خواهند بود که ممکن است به دلیل فقدان دانش و مهارت کافی مرتبط با محل ساخت باشد، در حالیکه متخصصان ساخت که بیشتر با فرایند ساخت آشنایی دارند احتمالاً از کمک های تحلیلی و برنامه ریزی شبیه سازی 4 بعدی فراهم شده در طول مرحله ساخت بهره می برند. با این حال احتمال دارد که با وجود این مزایا، مدل های کد 4 بعدی در صنعت ساخت و ساز مفید نباشند مگر آن که مدل سازی و تحلیل 4 بعدی با روش های برنامه ریزی پروژه موجود ادغام گردند. این مقاله به بحثی مختصر در مورد توسعه نرم افزار 4 بعدی در آینده پرداخته و در تلاش است تا با انجام چنین ادغام هایی، مزایای کارایی عملیاتی کد 4 بعدی را در محل های ساخت و ساز بهبود ببخشد.

کلمات کلیدی: کد 4 بعدی، پروژه ها تجاری، پروژه های زیربنایی، مزایا، تجسم، سازگاری، بررسی پیشرفت پروژه.

1. مقدمه

مدل های کد 4 بعدی هندسه سه بعدی را با زمان به عنوان بعد چهارم ادغام می کنند. هر جزء ساختمانی در مدل 4 بعدی دارای مشخصات هندسی خواهد بود که شکل سه بعدی آن را توصیف می کند. علاوه بر این، یک مشخصه زمانی که نشان دهنده زمان شروع و پایان ساخت و ساز این جزء است نیز به جزء ساختمان اضافه می شود. بنابراین می توان از یک مدل 4 بعدی سازه برای شبیه سازی گرافیکی دنباله ای عملیات ساخت استفاده کرد، در نتیجه برای اپراتور درکی مجازی و بصری را از فرایند ساخت فراهم می آورد. هدف از مدل های 4 بعدی کمک به تقویت و ادغام برنامه ریزی سنتی مانند نقشه های دو بعدی و طرح های CPM است. به این دلیل که این موارد دارای جزئیات زیاد بوده این کمک ها دشوار و اغلب نیازمند تخصص کافی برای بررسی است. تجسم سازی 4 بعدی نماینده های ساده

تری از توسعه پروژه بوده و می توانند در طیف گسترده ای از پروژه ها با سطوح مختلف مهارت و تجربه مورد استفاده قرار گیرند.

کد 4 بعدی به وسیله برنامه ریزان، طراحان، و مهندسان به منظور تحلیل و تجسم پروژه های ساختمانی مورد استفاده قرار گرفته تا بتوانند در مورد طراحی، برنامه عملیات ساخت، تحلیل و سازگاری برنامه پروژه، برآورد هزینه ها، مدیریت منابع مورد نیاز و برقراری ارتباط و همکاری با مشتریان و سایر ذینفعان پروژه تصمیم گیری نمایند. محققان کاربرد کد 4 بعدی را در بهینه سازی طرح بندی مکان پروژه، بهبود تدارکات محل و فضای انجام کار مورد بررسی قرار داده اند تا برنامه های ساخت جایگزین متعددی را ارزیابی کرده و برنامه ریزان و کارگران بی تجربه را آموزش دهند. چندین مورد از تحقیقات در مورد اجرای کد 4 بعدی در پروژه های ساخت و ساز نیز ثبت شده اند [به عنوان مثال 4 و 8 و 9 و 14].

همان طور که هارمتن و همکاران اشاره کرده اند [7]، تحقیقات پیشین مزایای فراوانی را در زمینه صرفه جویی در زمان و هزینه ها نشان داده اند که ناشی از استفاده سیستماتیک فناوری 4 بعدی در پروژه های ساختمانی است [16 و 24]. مدل های 4 بعدی به ویژه در پروژه هایی که شامل چندین سهام دار بوده و دارای محدودیت فضا هستند مفید بوده اند [5]. نشان داده شده است که مدل های 4 بعدی این امکان را فراهم می آورند تا تیم متنوعی از شرکت کنندگان تصمیمات جامعی را در زمینه پروژه گرفته و استراتژی های اجرایی و سازگاری و همچنین درک حاصله در بهره وری از محل ساخت را بهبود می بخشد [15]. علاوه بر این، مطالعات موردی نشان داده اند که مدل های 4 بعدی به شناسایی نواقص طراحی پیش از ساخت و شکاف موجود در زمینه مهارت و دانش کمک کرده، کنترل هزینه ها را افزایش داده، نواقص زمانی - مکانی را شناسایی کرده و از دوباره کاری کمتر اطمینان حاصل می کند همچنین اطلاعاتی را در طول پروژه درخواست می کند [15].

با وجود این مزایا، فناوری کد 4 بعدی به صورت گسترده توسط صنعت ساخت سراسر جهان مورد پذیرش قرار نگرفته است [23]. دلایلی بسیاری برای این مورد عنوان شده اند. *Khanzode and Staub - French* به این حقیقت اشاره کرده اند که مدل سازی 4 بعدی در یک پروژه واقعی یک فرایند پیچیده است که نیازمند تلاشی

هماهنگ می باشد. [20] Taylor and Levitt و [21] Taylor به منظور توضیح دشواری استفاده گسترده از فناوری های جدید بهماهیت تقسیم شده صنعت ساخت و ساز اشاره کرده اند، در حالیکه Barrett [3] به فرهنگ ساخت و ساز بر اساس عواملی مانند ماهیت واکنشی صنعت ساخت و ساز اشاره می کند که مانع از پذیرش فعالانه فناوری های پیچیده مانند کد 4 بعدی توسط استفاده کنندگان است.

در حال حاضر، شرکت های ساختمانی اگر بتوانند از فناوری به صورت موثر برای بهبود عملکرد خود استفاده کنند سود خواهند برد. مقدار زیادی از زیرساخت ها در کشورهای در حال توسعه برنامه ریزی و ساخته شده و در کشورهای توسعه یافته در حال تعمیر و ساخت دوباره است. علارغم چرخه های اقتصادی کلان، بسیاری از شرکت های ساختمانی دارای کتاب های فراوانی متشکل از پروژه های پیچیده و غیر معمول هستند. بنابراین این امر برای شرکت های ساختمانی که مایل به رشد و بقا در بازار رقابتی امروز هستند حیاتی است که نمونه های مدیریتی جدیدی را برای پروژه ها مورد استفاده قرار داده و بر روی ابزارهایی تمرکز نمایند که به بهبود کارایی اجرایی آن ها کمک می کند، به دو دلیل. دلیل اول اینکه، با توجه به حجم زیاد پروژه هایی که شرکت های انجام می دهند، بهبود کارایی می تواند منجر به صرفه جویی و سود شود. دوم اینکه، به منظور برطرف کردن این چالش جدید در زمینه مدیریت چندین پروژه پیچیده در زمان کم و با منابع محدود در شرایط حاضر، شرکت های ساختمانی نیازمند استفاده از ابزارهای برنامه ریزی پیچیده و نوآورانه بوده تا پروژه های ساخت را ساده سازی کرده و از اتمام به موقع تمامی پروژه ها با بودجه و کیفیت استاندارد اطمینان حاصل کند.

از سوی دیگر این احتمال وجود دارد که مدل های 4 بعدی، و مزایای آن ها در زمینه بهبود روابط، برنامه ریزی محیط کار و زمان پروژه، و کنترل هزینه ها به صورت موثر به منظور بهبود کارایی اجرایی در صنعت ساخت و ساز مورد استفاده قرار گیرند. با این حال، از سوی دیگر، کد 4 بعدی به صورت سیستماتیک و دقیق در صنعت ساخت پذیرفته نشده است. به منظور تطبیق نظری مزایای مدل های 4 بعدی با مشکلات اجرایی در پیاده سازی آن ها، نیاز فوری به بررسی اجرای مدل های 4 بعدی در محل های ساخت و همچنین درک کاربران/ ذینفعان از این اجرا وجود دارد. بررسی دقیق این مسائل می تواند به استفاده کنندگان و محققان کمک کند تا چگونگی معرفی، پیاده سازی و

اجرای مدل های 4 بعدی را در محل ساخت درک کنند تا بتوانند هم سودمندی و هم پذیرش آن ها را به حداکثر برسانند. این مقاله تلاش دارد تا با استفاده از یک مطالعه موردی بر روی پروژه های ساختمانی واقعی و چالش ها و درک اجرای کد 4 بعدی در پروژه های ساختمانی اشاره کند.

در بخش بعدی، اهداف تحقیقاتی خاصی را که تلاش داریم تا در این مقاله به آن ها دست یابیم را ارائه می کنیم. پس از آن به بررسی روش شناسی می پردازیم که جهت دستیابی به این اهداف از آن استفاده می کنیم. پس از آن به توصیف و ارزیابی آماری شبیه سازی 4 بعدی که آن را ساخته و در پروژه های ساختمانی در هند مورد استفاده قرار داده ایم و مزایای آن ها می پردازیم. پس از آن با بحث در مورد نتایج و پیشنهاداتی در مورد چگونگی استفاده از فناوری کد 4 بعدی در ساخت و ساز نتیجه گیری می کنیم.

2. اهداف تحقیق و روش شناسی

هدف از این تحقیق اشاره به دو هدف تحقیقاتی (RG) است که به رفع برخی از مشکلات شناسایی شده در بخش قبلی کمک می کند. آن ها عبارتند از:

RG1: به منظور درک شرایطی که تحت آن استفاده از کد 4 بعدی در ساخت و ساز بیشترین سودمندی را دارد (شامل شناسایی مراحل و انواع پروژه ها که احتمالاً 4 بعدی و همچنین کاربران احتمالی فناوری 4 بعدی که در سازمان دهی پروژه کاربردی بوده، اما به آن ها محدود نمی شود) و فواید بعدی برای پروژه.

RG2: به منظور درک چگونگی استفاده از کد 4 بعدی در صنعت ساخت و ساز و چگونگی ادغام این فناوری و اینکه چگونه به تغییر فرایندهای ساخت و ساز حاضر کمک می کند.

به منظور پاسخگویی به این اهداف تحقیق، روش ما بر اساس چارچوب پیشنهاد شده توسط Hartmann et al.

[7] است. در تحلیل مناطق کاربردی برای مدل های 3 بعدی و 4 بعدی در پروژه های ساختمانی Hartmann et

al. [7] به تحلیل و اشاره به محدودیت چندین چارچوب برای دسته بندی مناطق کاربرد مدل های 3 و 4 بعدی

پرداختند. با ترکیب این چارچوب ها و اشاره به محدودیت ها، طرحی جدید را برای دسته بندی ایجاد کردند که در

این مقاله اتخاذ شده و به کاربرد مدل های 3 و 4 بعدی ما در سه مرحله یک پروژه می پردازد - مرحله شکل گیری یا برنامه ریزی، مرحله طراحی و مرحله ساخت.

علاوه بر ارزیابی کاربرد کد 4 بعدی برای هر یک از این مراحل در پروژه های ساخت و ساز، ما به معرفی بعد دیگری از این چارچوب پراخته که نوع پروژه را دسته بندی می کند. اگرچه انواع گوناگونی از پروژه های در دسترس وجود دارند، اما این مقاله به صورت ویژه بر روی دو نوع پروژه تمرکز دارد - ساختمان های تجاری و پروژه های زیربنایی. هر یک از این پروژه ها در زمینه سطح پیچیدگی، مشکلات در سازمان، نیاز به منابع و نیروی انسانی و مسائل درون سازمانی / قانونی دارای چالش های متفاوتی هستند. در نتیجه نیاز به تحلیل اثرات مدل های 4 بعدی بر روی هر یک از این نوع پروژه ها، به صورت جداگانه وجود دارد.

در نهایت، بعد سوم را در نظر گرفته که نوع کاربر سیستم کد 4 بعدی را دسته بندی می کند. ما سه نوع کاربر را نظر گرفته ایم

(a) مدیران رده بالا و یا ارشد شرکت ها

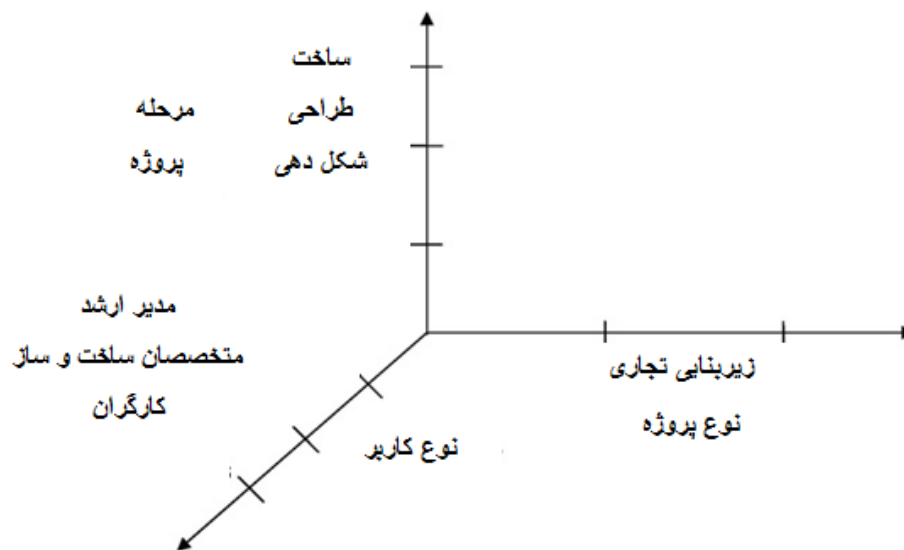
(b) متخصصان ساخت و ساز که عمدتاً در محل پروژه ها هستند مانند مهندسان و مدیران پروژه

(c) کارگران مانند سرپرستان محل پروژه، سرپرست خدمه و یا کارگران متخصص.

این سه سطح از کابرن طیف کارمندان را در محل ساخت به وجود می آورند. اگرچه به احتمال زیاد تمامی این افراد مدل های 4 بعدی را به وجود نمی آورند اما احتمال دارد که از آن ها استفاده کرده و سود ببرند. به عنوان مثال، مدیران ارشد هم در مشتریان و هم سازمان های پیمانکاری که زمان و منابع کافی برای تحلیل دقیق اطلاعات پروژه ها را در اختیار ندارند می توانند از مدل های 4 بعدی برای درک بصری مراحل ساخت و چالش های موجود استفاده کنند. متخصصان ساخت می توانند از مدل های 4 بعدی برای برنامه ریزی دقیق استفاده کرده، در حالیکه کارگران از تجسم یافتن وظایفی که باید انجام دهند بهره می برند. بنابراین کد 4 بعدی برای کارمندان تمامی سطوح دارای کاربردها و مزایایی است. شکل 1 در زیر چارچوب تحقیقاتی ما را نمایش می دهد.

2.1 روش تحقیق

برای اهداف این تحقیق، 4 پروژه را انتخاب کرده که در هند در حال ساخت هستند، دو تا از آن ها در بخش تجاری و دو تای دیگر در بخش زیربنایی ساخته می شوند. پروژه هایی را انتخاب کردیم که دارای ابعاد و محدوده قابل توجه بوده و از مصالح، فناوری و روش های ساخت مشهوری که در سراسر جهان در دسترس هستند استفاده کرده تا اطمینان حاصل کنیم که فرایندهای ساختی که از طریق 4 بعدی مدل سازی می شوند برای کشورهای دیگر با محیط مشابه قابل استفاده هستند. از ترکیبی از روش های کیفی و کمی استفاده کردیم. روش ما ابتدا مدل سازی 4 بعدی پروژه و پس از آن تحلیل اجرای آن بر روی کیفیت پروژه ها از طریق مصاحبه با کارمندان پروژه بود. با این حال، تحقیقات کیفی انجام شده در این زمینه تنها پیشنهاداتی را ارائه می کند که باید در تحقیقات آتی مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین فرضیه هایی را هم از تحلیل های کمی خود و هم یافته های خود از سوابق موجود ارائه کردیم، و سپس تلاش کردیم تا با نظرسنجی اعتبار آماری این فرضیه ها را تایید کنیم. همان طور که Leonard-Barton [17] اشاره کرده است، استفاده از روش های تحقیق متعدد در یک مطالعه می تواند منجر به استحکام آن و اطمینان بیشتر به نتایج شود، با توجه به این مورد که «مزایای استفاده از یک روش، معایب روش های دیگر را متعادل می سازد».



شکل 1 - چارچوب تحقیق

اولین کار ما ایجاد مدل های دقیق کد 4 بعدی برای هر یک از این 4 پروژه بود. ایجاد هر یک از این مدل ها شامل تلاش افراد برای 2 هفته بود که به دست آوردن نقشه های 2 بعدی و طرح های ساخت، ایجاد مدل های سه بعدی، ادغام این مدل ها با زمان برای ایجاد عناصر 4 بعدی و شبیه سازی را شامل می شد. هر یک از این مدل های 4 بعدی به کارمندان شناسایی شده در هر سه سطح نمایش داده شدند و نظرات آن ها عمدتاً از طریق مصاحبه های با ساختار ترکیبی و باز جمع آوری شد.

ساخت و ساز در تمامی 4 پروژه ای که آن ها را مدل سازی کردیم آغاز شده بود. در نتیجه، تنها با استفاده از نظرسنجی قادر به اندازه گیری موثر کاربرد کد 4 بعدی برای طراحی و شکل دهی مراحل پروژه ها نبودیم. بنابراین از یک ابزار نظرسنجی استفاده کردیم که تا کاربرد، مقید بودن و نقص های کد 4 بعدی را در مراحل شکل دهی، طراحی و ساخت پروژه های مهندسی ارزیابی کنیم. مجموعه ای از فرضیات بر اساس یافته های کیفی ما و سوابق موجود ایجاد شدند، که زیرمجموعه ها و مراحل متعددی را که در شکل دهی، طراحی و ساخت پروژه ا در هند دخیل بودند را در نظر می گرفتند. در نظرسنجی ما در مجموع با 63 نفر مصاحبه شدو فرضیات با استفاده از روش های آماری به منظور تعیین اهمیت و یا رد کردن آن ها مورد آزمایش قرار گرفتند.

این روش جمع آوری و ارزیابی اطلاعات، با استفاده از ترکیبی از روش های کمی، کیفی و شبیه سازی با توجه به این که یافته های ما مختص پروژه خاصی نبوده است به ما این امکان را می دهد تا یافته هایمان را برای پروژه ها، مراحل و کاربران مختلف عمومیت دهیم. علاوه بر این، این روش همچنین به ما این امکان را داد تا تفاوت های اجرایی کد 4 بعدی در ساخت و ساز را از بین ببریم. بنابراین قادر به بررسی روش های خاصی بودیم که سیستم های 4 بعدی می توانند در مراحل طراحی پروژه مورد استفاده قرار گیرند به جای آن که یافته هایمان را برای استفاده از کد 4 بعدی به صورت کلی به موارد معمول تر محدود کنیم. با استفاده از این روش توانستیم به اهداف تحقیقاتی خود پاسخ دهیم که کجا و تحت چه شرایطی مدل های 4 بعدی می توانند به پروژه های ساختمانی اعمال شوند و نتایج دقیق از عملکرد پروژه حاصل شود.

حال ابتدا پیش از توضیح فرضیه هایی که در رابطه با این مدل های بدست آورده ایم، مدل هایی که ساخته ایم، پارامترهایی که ارزیابی کردیم و نتایج تحلیل خود را توصیف می کنیم.

3. مدل ها

3.1 مدل زیربنایی 1

اولین پروژه زیربنایی که مدل سازی کردیم ساخت Cargo Berth در یک بندر معمولی در جنوب هند بود. به منظور مدل سازی این پروژه ابتدا ستونی (شمعی) که فعالیت های نزدیک ساحل را هدایت می کرد به صورت 4 بعدی کردیم. توالی هدایت ستون که مدل سازی آن را انتخاب کردیم شامل سوراخ کردن ستون ها، پایین آوردن تقویت ستون ها و بتن ریزی آن ها بود. پس از اینکه کار به اتمام رسید، برنامه ساخت نشان داد که کار بر روی تیرهای درجا و طولی آغاز می شود. همچنین، حفاری و زهکشی زمین میان و اطراف ستون ها پس از اتمام کارهای ستون آغاز می شود. پس از مدل سازی فعالیت های زهکشی کارهای حفاظت شیب را در دو بخش مدل سازی کردیم - ساخت سیل گیر سنگی و حفاظت از شیب با استفاده از سنگ های کوچک تر. پس از آن، پر کردن بخش حفاری و بتن ریزی دیوار حائل را مدل سازی کردیم. پس از آن فرایند ساخت عرشه از با استفاده از دال های پیش ساخته مطابق با پیش بینی های برنامه ریزان ساخت مدل سازی کردیم. پس از ساخت عرشه، قرار دادن لایه محافظ شیب دوم و خاکریزی مجدد مدل سازی شد. مدل خود را با مدل سازی تجهیزات ثابت بر روی لنگرگاه به پایان رساندیم. با توجه به این که فرایند ایجاد لنگرگاه تا حد زیادی با استفاده از ماشین آلات انجام می شود، استفاده از تجهیزات را در مدل 4 بعدی خود مدل کردیم. به عنوان مثال، استفاده از زهکش ها در زهکشی و همچنین جرثقیل ها را در قرار دادن دال های پیش ساخته عرشه مدل سازی کردیم و

با استفاده از این روش، امیدوار بودیم تا بتوانیم تصویری بصری را از استفاده از تجهیزات و موقعیت ها با در سراسر فرایندهای ساخت فراهم آورده تا به کارمندان محل ساخت امکان دسترسی به محدودیت های تجهیزاتی را در طول ساخت و ساز بدهیم.

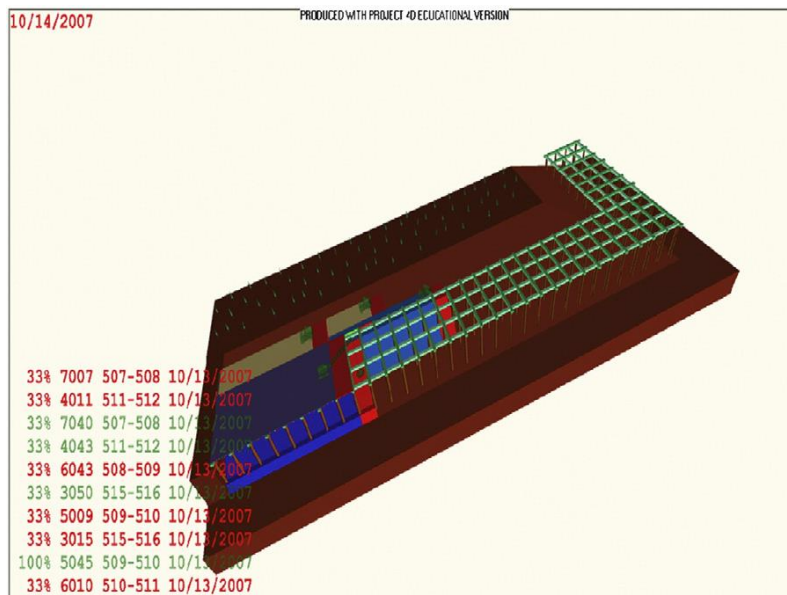
شکل 2 تصویری از مدل 4 بعدی ساخته شده و عرشه در حال ساخت را نمایش می دهد.

3.2 مدل زیربنایی 2

دومین پروژه زیربنایی که آن را مدل کردیم ساخت یک موج شکن بود، که نمودار شماتیک آن در شکل 3 نمایش داده شده است.

به منظور مدل سازی ساخت این پروژه، ابتدا قرارگیری فیلتر اولیه را مدل کردیم که شامل مصالحی در محدوده 0-250 میلیمتر بود و که به یک مرجی دو قسمتی انتقال و سپس به درباریخته شد. پس از آن، پس از قرار گرفتن فیلتر اولیه در مکان مورد نظر، لایه بعدی به نام «لایه مرکزی» قرار داده شد. مواد این لایه بسیار حجیم تر و وزنی تا 500 کیلوگرم را داشتند. پس از مدل سازی لایه مرکزی، شیب 500 میلیمتری فیلتر در سمت موج شکن را مدل سازی کردیم که در مقابل بندر قرار گرفته بود. پس از آن یک ژئوتکستایل در بالای شیب فیلتر و رو به بندر مدل سازی شد. سپس شیب فیلتر دوم با ضخامت 500 را در بالای لایه ژئوتکستایل مدل سازی کردیم. در ادامه عملیات ساخت، فعالیت بعدی استفاده از بیل مکانیکی برای قرار دادن لایه تقویت شده بعدی بر روی صخره و بر روی شیب مرکز بود. پس از آن برنامه ساخت نشان داد که اکروپودهایی (accropode) با اشکال مختلف باید بر روی موج شکل قرار بگیرند. ما قرارگیری آن ها را به گونه ای مدل کردیم که اکروپود سبک تر در نزدیکی ساحل قرار گرفته و عمق آب با دور شدن از آن افزایش یافته و اندازه اکروپود ها هم افزایش یابد. در نهایت، پس از مدل سازی قرارگیری اکروپودها، ساختار دیوار موج روی موج شکن را مدل سازی کردیم تا از ورود موج ها جلوگیری کنیم.

همانند مدل قبلی، استفاده و موقعیت تجهیزات نیز مدل سازی شد. شکل 4 تصویری را از مدل 4 بعدی ساخته شده نشان می دهد. در این شکل، تقویت دوم در حال ساخت است.



شکل 2 - ساخت عرشه

3.3 مدل تجاری 1

اولین مدل که در فضای تجاری ایجاد کردیم مدلی از بخش دانشگاهی بود. این ساختمان آموزشی از طبقه همکف و دو طبقه اضافی تشکیل شده بود که مساحتی در حدود 1600 متر مربع را پوشش می دادند. شکل 5 طرح شماتیک ساختمان را نمایش می دهد.

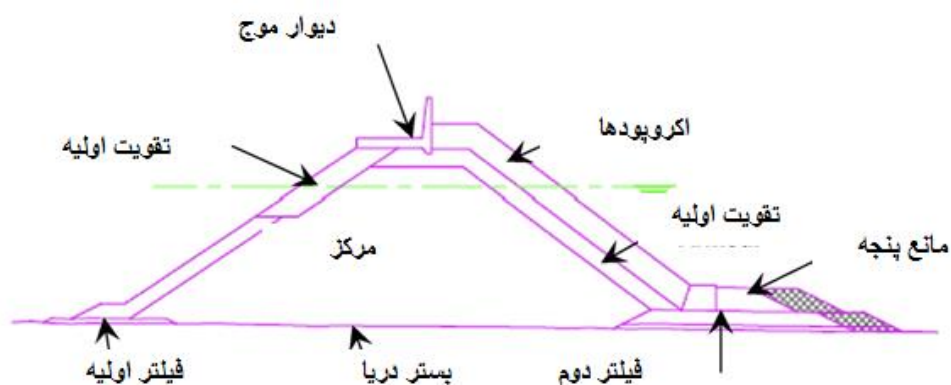
به منظور ایجاد مدل 4 بعدی برای این سازه، ابتدا مدل طرح را برای محل ساخت ایجاد کردیم که شامل این موارد بود: دفتر، حیاطی برای انبار کردن، موقعیت میکسر بتن، حیاطی برای برش زدن و خم کردن آرماتورها، و مکانی برای ذخیره مصالح. روش های ساخت استاندارد برای این سازه مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور ساخت پی های مجزا ابتدا حفاری محل انجام شد. پس از حفاری قرارگیری آرماتورهای پی مدل سازی و پس از آن بتن ریزی پی مدل سازی شد. سپس، ساخت ستون های کف را مدل سازی کردیم. به منظور دنبال کردن دقیق مراحل ساخت هر ستون در سه مرحله ریخته شد و قرارگیری ستون ها به منظور تایید برنامه ساخت به صورت متناوب انجام شد. پس از آن، دیوارهای حمال و راه پله های طبقه همکف مدل سازی شدند. سپس، ساخت تیرها و دال طبقه اول به صورت 4 بعدی تصویر سازی شد. همین روش مجدداً برای طبقه های اول و دوم تکرار شد. پس از تکمیل ستون ها، تیرها و

دال ها در هر سه طبقه، ساخت مخزن فوقانی و اتاقک آسانسور در تراس مدل سازی شدند. در ادامه مدل سازی طبقات فوقانی، دیوارهای آجری خارجی، تاسیسات برقی و HVAC، و نقاشی طبقات پایین تر نیز مطابق با برنامه مدل سازی شدند.

عکس 4 تصویری از مدل 4 بعدی را نمایش می دهد که در آن دال طبقه فوقانی ساخته شده است.

3.4 مدل تجاری 2

مدل تجاری دومی که در فضای تجاری ساختیم یک ساختمان اداری در یک محوطه اداری بزرگ بود. مجموعه 6 ساختمان برای کل محوطه در نظر گرفته شده بودند که در زمینی به مساحت 70 هکتار ساخته می شدند. مدل های 4 بعدی این پروژه در دو طبقه ساخته شدند - ابتدا مدل اولیه 4 بعدی سازه خارجی ساختمان ایجاد شد. مدل دوم و دقیق تر یک طبقه از سازه شامل سقف های کاذب نیز به منظور ارائه هم چشم اندازهای کلان و هم خرد ایجاد گردید.



شکل 3 - مقطع عرضی معمولی یک موج شکن

نقشه ساختمان دارای 2 قسمت بوده که هر از آن ها دارای 7 طبقه و همچنین طبقه همکف هستند. این دو قسمت به صورت موازی با یکدیگر ساخته شده اند. در میان آن ها، یک هسته مرکزی ساخته شده که هر یک از طبقات را به این دو بخش متصل می کند. هسته مرکزی محل قرارگیری آسانسور، محل پذیرش، کتابخانه و دستشویی است.

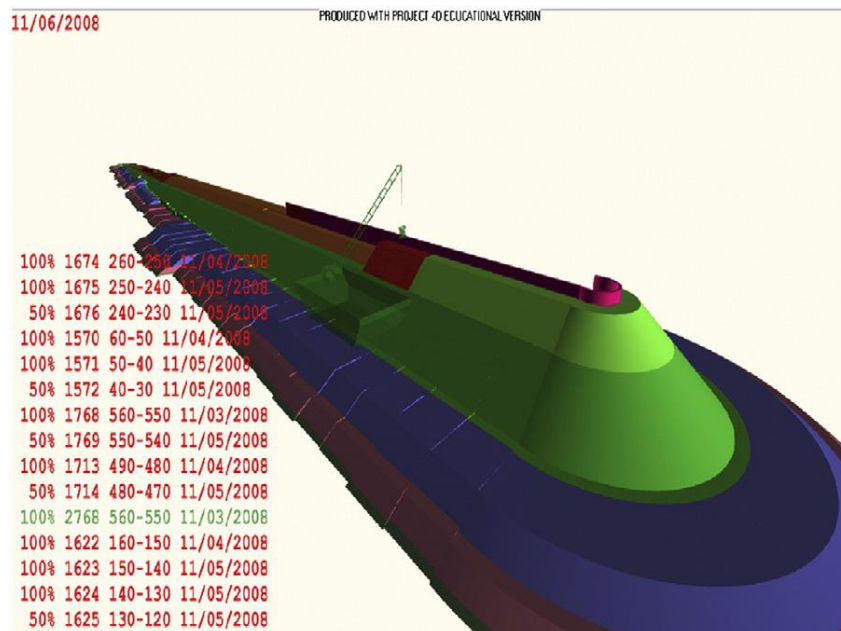
مجموعه ای پیچیده از خرپاها که به عنوان «ستون فقرات» شناخته می شوند، اجزای پشت بام را در بالای قسمت مرکزی و بخش ها به وجود آورده اند.

به منظور ایجاد مدل 4 بعدی برای سازه ماکرو، ابتدا پی باید مدل سازی شود. پس از آن ستون های طبقه همکف در 4 بعدی و پس از آن دال های طبقه همکف هر یک از بخش ها مدل سازی شدند. پس از آن، ستون ها و دال های هر یک از بخش ها مدل شدند. سپس ستون ها و دال های طبقات دیگر نیز مدل سازی شدند. در زمان مدل سازی هر یک از این بخش ها، ساخت هسته مرکزی، البته با مقدار تاخیر آغاز شد. با ساخت طبقات بالاتر، کارهای داخلی و نمای ساختمانی طبقات اول زیر انجام می شدند. پس از ساخت هسته مرکزی و دو بخش، قرارگیری اجزای خرپا و ساخت ستون فقرات مدل سازی شد. شکل 7 تصویری از مدل 4 بعدی سازه و نصب خرپاهای سقف را نشان می دهد.

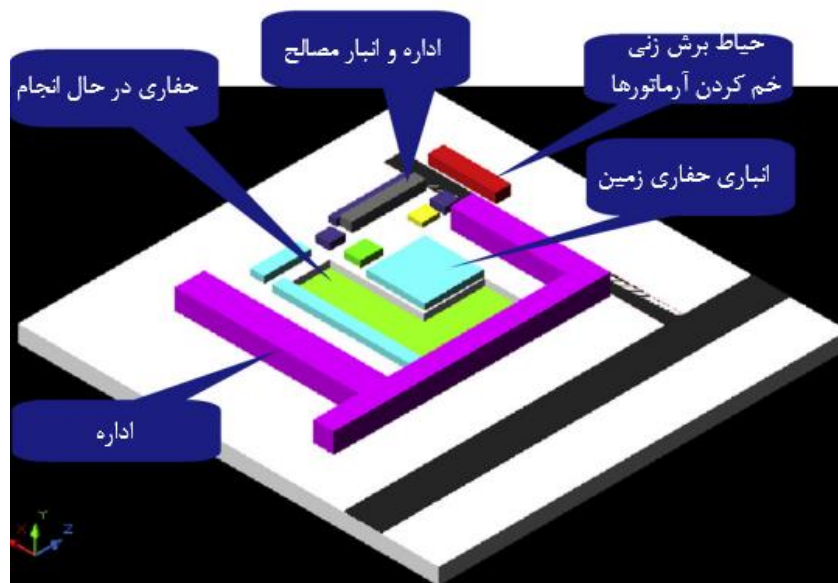
برای مدل سازی ساخت داخل طبقه، مجموعه ای از فعالیت ها در نظر گرفته شدند. کارهای سقف های فوقانی کاذب ابتدا پیش از انجام ساخت در محل مدل شدند. این مورد شامل مدل سازی سیم کشی برق بود و پس از آن نصب کانال های AC مدل سازی شدند. سپس، نصب سیستم آب پاش مدل سازی شد. همراه با آب پاش ها، سیستم های محافظت در برابر آتش سوزی نصب و برق رسانی ها انجام شد.

به موازات کارهای سقف های کاذب، کارهای داخلی دیگر مانند ریزش داخلی، نصب ریل دستی در راهروها، و نصب پارتیشن ها، درها، و وسایل نیز مدل شدند. بسیاری از این موارد به صورت همزمان انجام شدند و در نتیجه مدل سازی شدند.

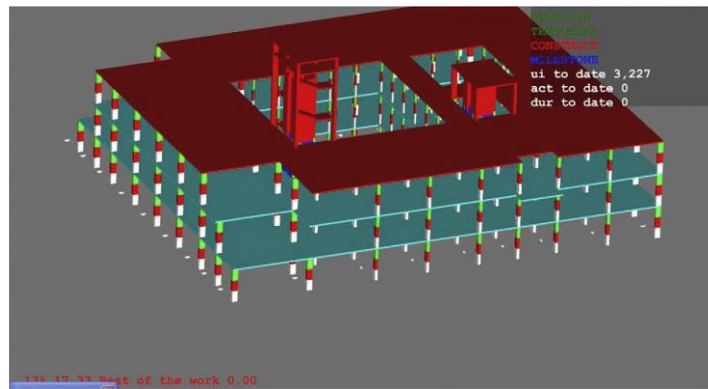
شکل 8 تصویری از نصب آب پاش ها در سراسر یک طبقه معمولی را نشان می دهد.



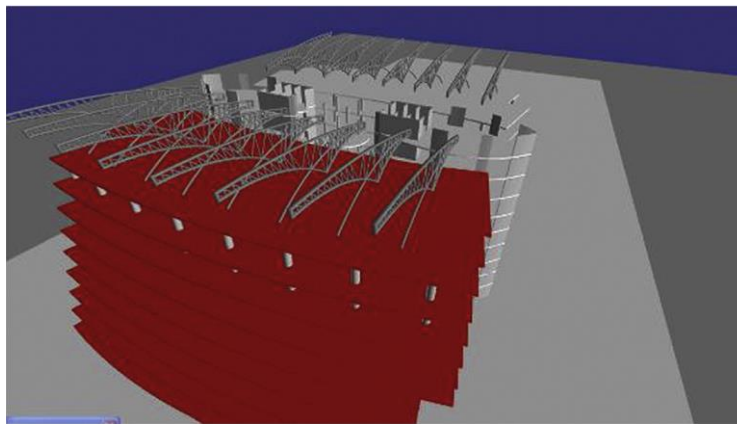
شکل 4 - ساخت تقویت دوم



شکل 5 - طرح شماتیک ساختمان



شکل 6 - ساخت دال سقفی طبقه دوم



شکل 7 - نصب خرپاهای سقفی

4. تجزیه و تحلیل

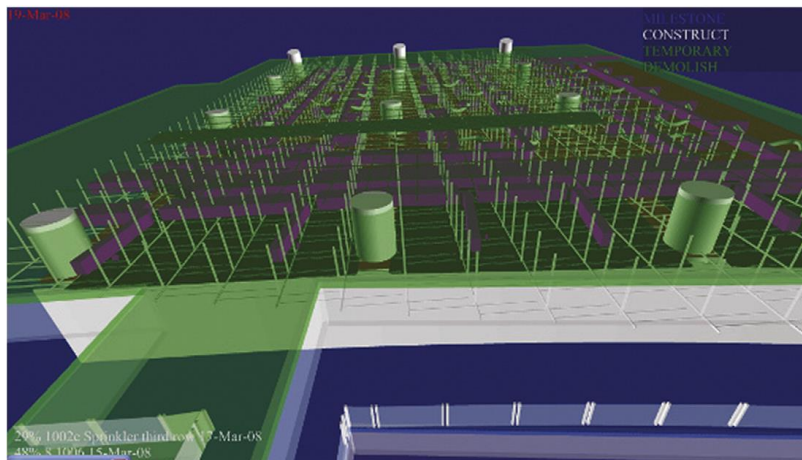
4.1 نتایج کیفی

مدل های 4 بعدی مختلفی که در بخش پیشین شرح داده شدند به ساخته شده و به وسیله چندین سازمان، در هر یک از محل های نشان داده شده در بالا مورد استفاده قرار گرفتند. روند ایجاد یک مدل 4 بعدی و استفاده از آن سبب به وجود آمدن اختلالاتی در فرایند برنامه ریزی پروژه شد. از طریق مشاهده و مستند سازی این مداخلات، توانستیم به مزایای استفاده از کد 4 بعدی در پروژه های واقعی اشاره کنیم.

در پروژه بندر، بیشتر ساخت و ساز در زیر آب انجام شدند بنابراین کد 4 بعدی در زمینه تصویر سازی مراحل ساخت برای تیم پروژه بسیار موثر بود. به منظور حمایت از بندر 152 ستون باید ساخته می شدند. تصویر سازی کد 4 بعدی

به تیم پروژه کمک کرد تا فرایندی را طراحی کنند که هدایت ستون ها به صورت همزمان در مناطق مختلف انجام شده و در عین حال محدودیتی برای فضای حرکت تجهیزات ایجاد نشود. در طرح اولیه کار از یک انتها و با کمک 15 جرثقیل آغاز می شد. با این حال، مدل 4 بعدی نشان داد که این روش مشکلاتی را در فضای کار ایجاد می کند. در نتیجه طرحی جایگزین مورد استفاده قرار گرفت که در آن کل عملیات ساخت ستون ها در 3 نقطه، به صورت همزمان و با استفاده از 5 جرثقیل در هر نقطه آغاز شد.

در پروژه ساخت موج شکن هم تجهیزات بسیاری مورد استفاده قرار گرفتند که تصویر سازی 4 بعدی به طراحان کمک کرد تا از حرکت ماشین های حفاری، میکسرهای حمل و کامیون ها حمل مصالح بدون تداخل با یکدیگر اطمینان حاصل کنند. علاوه بر این، طراحان این پروژه توانستند از شبیه سازی 4 بعدی برای انتخاب تجهیزات استفاده کنند. به عنوان مثال، حداکثر طول مجاز دکل و میزان دسترسی جرثقیل ها به وسیله شبیه سازی 4 بعدی با توجه به محدودیت های زمانی تصویر سازی شد و جرثقیل مناسب انتخاب گردید. در زمان نمایش شبیه سازی 4 بعدی جهت ساخت موج شکن، طراحان متوجه شدند که امکان نزدیک شدن جرثقیلی که اکروپودهای لایه اول را حمل می کند به موج شکن وجود ندارد که این امر به دلیل محدودیت فضا است. علاوه بر این، جرثقیل قرار گرفته بر روی کرجی که آن را حمل می کرد جهت نصب اکروپودها از طریق دریا دسترسی کافی نداشت. در نتیجه اطلاعات به دست آمده از طریق شبیه سازی تصویری، روش قرار دادن اکروپودها از حالت دریایی به حالت زمینی تغییر یافت.



شکل 8 - نصب آب پاش

ثابت شد که 4 بعدی ابزار ارتباطی بسیار مفید برای پروژه های ساختمانی دانشگاهی است. بیشتر کارگران تنها به زبان تمیل صحبت می کردند، در حالیکه مهندس پروژه تنها زبان هندی و انگلیسی را یاد داشت. بنابراین مدل های 4 بعدی برای ارتباط با کارگران و توجیه آن ها در مورد پروژه و کارهایی که باید انجام شوند و همچنین جزئیات اتمام پروژه و غیره مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین، در زمان تصویر سازی مدل 4 بعدی، طراحان پروژه تصور کردند که با وجود آنکه عملیات های مهندسی با جزئیات مناسب نمایش داده شده بودند اما نصب آسانسور و دیگر موارد مرتبط با MEP دارای جزئیات کافی نمی باشند. این امر منجر به بازرسی برنامه ای شد که طراحان آن را ناقص می پنداشتند.

بنابراین مدل 4 بعدی این امکان را به طراحان داد تا بازبینی دوباره ای را انجام داده و برنامه دقیق تری را ایجاد کنند که فعالیت های متعدد پروژه را به صورت دقیق تر ثبت می کرد. مدل 4 بعدی پروژه ساختمان تجاری دوره ای 2 ماهه را نمایش می داد که در آن فعالیت های بسیار کمی به چشم می خورد. بنابراین تیم مدیریت پروژه نتیجه گرفتند که برنامه موجود باید بازبینی شده و باید به آن سرعت بیشتری بدهند. همچنین زمانیکه کارهای سقف کاذب مدل می شدند، تیم طراحی در مدل 4 بعدی یکی از طبقات تداخلی را میان نصب کانال های AC و نصب سیستم آبیاز مشاهده کرد. این امر به طراحان این امکان را داد تا محل قرارگیری کانال ها و مراحل نصب را تغییر داده تا پیش از وقوع از این تداخل جلوگیری کنند، و در نتیجه قرار دادن موارد فوق بدون مشکل انجام شود.

این موارد نشان دادند که فرایندهای ساخت و مشاهده یک مدل 4 بعدی دیدگاه های مفیدی را ارائه کرده و به طراحان ساخت کمک کرده تا فرایندهای ساخت را بهینه سازی کنند. مدل 4 بعدی همچنین در زمینه تصویر سازی و همچنین به عنوان ابزاری برای ارتباط مفید است. با این حال، چالش ها و محدودیت هایی نیز وجود داشت. ابتدا، ایجاد هر مدل شامل ادغام نقشه های بسیاری بود. دریافتیم که گاهی نقش های مورد نظر ما تنها بر روی کاغذ موجود هستند و در نتیجه باید کار بیشتری انجام می شد تا آن ها را به صورت الکترونیکی درآوریم. علاوه بر این، نقشه هایی زیادی برای بخش ها و موقعیت های جغرافیایی مختلف وجود داشتند. جمع آوری آن ها چالش برانگیز و نیازمند تلاش های زیاد برای برقراری ارتباط مداوم میان محل پروژه و تیم تحقیقاتی ما بود. دوم، شرکت کنندگان در

زمینه جزئیاتی که مدل 4 بعدی باید ایجاد شوند دیدگاه های متفاوتی داشتند. به طور خاص در پروژه دفتر تجاری، به موقعیتی برخوردیم که از مهندس عمرانی که برای مشتری کار می کرد مدلی با جزئیات بیشتر از آنچه ما ساخته بودیم درخواست شده بود، همچنین مهندس برقی تمایل داشت تا مدلی با جزئیات بیشتر را ببیند. ساخت مدل های با جزئیات متفاوت مطابق با تمایل تمامی کاربران پروژه بسیار زمان بر است. با این حال، به نظر چنین استراتژی باید به کار گرفته شود تا از تامین نیاز تمامی افراد اطمینان حاصل شود، به این دلیل که یک مدل متناسب برای تمامی افراد کافی نیست. کیفیت نمای بصری مدل های 4 بعدی متفاوت از ارائه ویدئو- گرافیکی ساختمان واقعی بر روی سایت است. در نتیجه، بسیاری از شرکت کنندگان در پروژه قادر به شناسایی سریع پروژه نبودند. ما به عنوان «مترجمانی» خدمت می کنیم که تکامل شبیه سازی 4 بعدی را توضیح می دهند. با این وجود، پس از توضیح، بسیاری از شرکت کنندگان قادر به تفسیر شبیه سازی و تصمیم گیری سریع درباره موارد مورد نظر بودند. در نهایت، در مرحله آغازین ساخت مدل، با شک و تردیدهایی مواجه بودیم. به هر حال پس از آنکه مدل ساخته و نمایش داده شد، شرکت کنندگان بیشتری تمایل به بحث در مورد مدل و ارائه دلایلیشان داشتند. اگرچه تحلیل کیفی ما نشان می دهد که کد 4 بعدی برای صنع ساخت و ساز مفید است، اما این محدودیت ها برخی از چالش های موجود در اجرای 4 بعدی در محل پروژه را مشخص کردند.

گام بعدی ما تعیین دامنه اثر و میزان سودمندی مدل های 4 بعدی در پروژه های هند است. به منظور انجام آن تحلیل کیفی خود را با یک بررسی کمی از اثرات و مزایای مدل 4 بعدی بر روی پروژه های ساخت در هند تکمیل کردیم.

4.2 تحلیل کمی

بر اساس هر دومزیت کد 4 بعدی که در مقاله حاضر به آن ها اشاره شده و ما در طول اجرای کار با آن ها مواجه شدیم، 4 فرضیه را در رابطه با مزایای کد 4 بعدی به وجود آوردیم که به قرار زیر هستند:

H1: در مرحله برنامه ریزی و یا شکل دهی به پروژه، مجسم سازی فرایندهای پروژه با استفاده از کد 4 بعدی دارای مزایای قابل توجهی بوده و سبب کاهش هزینه ها می شود.

H2: مدل های کد 4 بعدی را می توان را در فاز طراحی پروژه به منظور ارتباط برقرار کردن میان پروژه ها و حل مسالمت آمیز اختلافات مورد استفاده قرار داد.

H3: مدل های کد 4 بعدی را می توان در مرحله ساخت و ساز به منظور برنامه ریزی برای مراحل ساخت، ارزیابی قابلیت ساخت، بهینه سازی منابع و بررسی پیشرفت پروژه مورد استفاده قرار داد، تا بتوان به صورت موثر بر پروژه نظارت داشته و در عین حال از تاخیرها جلوگیری کرد.

H4: کد 4 بعدی را می توان برای عملیات های پیشرفته مانند مدیریت اختلافات و تحلیل تاخیرها، مشکلات پروژه و مقایسه روش های جایگزین به منظور بهینه سازی فرایندهای پروژه و سودآوری مورد استفاده قرار داد.

3 فرضیه اول مزایای کد 4 بعدی را در کل 3 بعد اصلی طراحی شده توسط Hartmann et al [7] ارزیابی می کنند - برنامه ریزی، طراحی و ساخت. در حالیکه فرضیه چهارم قابلیت مرزی مدل های 4 بعدی را برای مدیریت پروژه پیشرفته مورد بررسی قرار می دهد.

به منظور آزمایش این فرضیه ها، یک ابزار نظرسنجی را در هر یک از 4 پروژه ای که از آن ها بازدید کردیم طراحی کردیم تا بتوانیم مدل های 4 بعدی را به وجود آوریم. مجموع 63 نفر در این نظر سنجی شرکت کردند. جدول 1 در زیر اطلاعاتی را در مورد نمونه ما فراهم می کند.

فرم نظرسنجی ها برای افراد مورد بررسی ارسال نشد. ما خود شخصاً نظرسنجی ها را انجام دادیم. علاوه بر این، ما این مجوز را کسب کرده بودیم تا برای تحقیق خود با هر یک از مشتریان نیز ارتباط برقرار کنیم. شرکت کنندگان پروژه از تحقیق ما آگاه شده بودند و برای شرکت در تحقیق تشویق شده بودند. در نتیجه، میزان پاسخ های ما از زمانی که از راه دور نظر سنجی را هدایت می کردیم بیشتر بود.

با توجه به مدیران ارشد، خود را به مدیران اجرایی در عملیات های مرتبط با پروژه و بازاریابی هم از سوی سازمان های پیمانکاری و هم مشتریان و کار در مناطقی که پروژه ها در حال اجرا بودند کردیم. ما نظرسنجی خود را هم در

محل پروژه و هم در دفتر مرکزی شرکت انجام دادیم. با توجه به اینکه تعداد افراد مورد بررسی کم بودند، استراژی ما مصاحبه با تمامی شرکت کنندگان بود. با این حال، برخی از شرکت کنندگان برنامه های سفر سنگینی داشتند که امکان مصاحبه با آن ها وجود نداشت.

ما نظر سنجی متخصصان ساخت و کارگران را در محل پروژه انجام دادیم. مجدداً به این دلیل که تعداد شرکت کنندگان در گروه «متخصصان ساخت» محدود بود تلاش کردیم تا با تمامی آن ها مصاحبه کنیم. با این حال، به این دلیل که برخی از این افراد در زمان ملاقات ما در دسترس نبودند. گروه کارگران در میان سه گروه کاربرانی که انتخاب کردیم بزرگترین مورد بود. برآورد تعداد افراد این گروه دشوار است به این دلیل که تعداد سرپرستان، و نظارت کنندگان و غیره در طول اجرای پروژه و در زمان های مختلف متغیر بود. برآورد می کنیم که در زمان تحقیق ما حدود 80 نفر در پروژه حضور داشته و مورد مصاحبه قرار گرفتند. کارگران نیمه متخصص و غیرمتخصص که درصد بزرگی از نیروی کار هند را تشکیل می دهند جزء این گروه نبودند و مورد مصاحبه قرار نگرفتند. چندین نفر در گروه «کارگران» به انگلیسی و یا زبان منطقه ای نویسندگان صحبت نمی کردند. با این افراد نیز مصاحبه نشد.

اکثر پاسخ دهندگان متخصصان ساخت و کارگران دارای حداقل 5 سال تجربه در پروژه ای مشابه بوده اند. با این حال هیچ یک از مصاحبه شوندگان ما استفاده و اجرای مدل 4 بعدی را مشاهده نکرده بودند. تعداد کمی از کارگران و یا مدیران ارشد از کاربرد کد 4 بعدی در ساخت و ساز آگاهی داشتند. بیش از نیمی از متخصصان ساخت و ساز از طریق کنفرانس های تخصصی و یا مجله ها راجع به م 4 بعدی شنیده بودند اما در زمینه استفاده از آن تجربه نداشتند.

به منظور اطمینان از سودمندی مد 4 بعدی در مرحله طراحی (فرضیه 2) از شرکت کنندگانی سوالاتی در رابطه با پتانسیل کد 4 بعدی جهت ارتباط و همکاری با دیگر متخصصان طراحی و همچنین پتانسیل کد 4 بعدی در فراهم کردن دیدگاه هایی برای معماری، سازه و طراحی MEP پرسیده شد.

به منظور آزمایش فرضیه 3 - سودمندی کد 4 بعدی در مرحله ساخت، از شرکت کنندگان خواسته شد تا به سودمندی آن در برنامه ریزی جلسات بررسی، آماده سازی گزارش پیشرفت ها، ارزیابی روش های ساخت و قابلیت

ساخت، برنامه ریزی برای جریان های مالی، مصالح تجهیزیات و نیروی کار و همکاری با پیمانکاران فرعی در محل پروژه و نظارت و بررسی پیشرفت پروژه نظر دهند.

در نهایت از شرکت کنندگان خواسته شد تا در رابطه با سودمندی مدل های 4 بعدی در حل اختلافات، روشهای جایگزین، و تحلیل تاخیرها امتیاز بدهند تا قابلیت های کد 4 بعدی در عملکردهای مدیریت پروژه پیشرفته آشکار شود. نظرسنجی شامل 27 سوال بود که در هر 4 گروه فرضیات پخش شده بودند.

4.2.1 نتایج

ابتدا نتایج میانگین به دست آمده از 27 سوالی را که از تمامی افراد پرسیدیم مورد بررسی قرار دادیم. جدول 2 تحلیل ANOVA را پاسخ های سوالات گروه فرضیات را نمایش می دهد.

برای نمونه 27 پاسخی در 4 گروه، مقدار F بحرانی برای سطح قابل توجه 0.05 باید برابر با 3.03 باشد. بنابراین مقدار F 2.475 نشان می دهد که مفید بودن کد 4 بعدی در حوزه 4 فرضیه پروژه از برنامه ریزی، طراحی، ساخت و مدیریت پروژه پیشرفته چندان متغیر نمی باشد. بنابراین فرضیه اولیه که عنوان می کند کد 4 بعدی در تمامی حوزه ها مفید است را نمی توان رد کرد. با این حال، برای سطح قابل توجه 0.1 مقدار F بحرانی برابر با 2.34 است. مقدار F 2.45 نشان می دهد که تفاوت هایی میان گروه های فرضیات وجود دارد.

جدول 3 اطلاعاتی را در مورد اعتبار هر یک از 4 فرضیه ارائه می نماید.

همان طور که این جدول نشان می دهد، تمامی فرضیه ها دارای اعتبار هستند. امتیاز متوسط هر فرضیه و سطح پایینی 95 درصد مانا طمینان برای میانگین همگی مقداری بیش از 3 را دارند (که نشان دهنده بی طرفی نسبت به مفید بودن کد 4 بعدی در هر گروه است). این امر نشان دهنده این است که استفاده از کد 4 بعدی می تواند مزایایی را در برنامه ریزی، طراحی، ساخت و مدیریت پروژه پیشرفته به همراه داشته باشد.

با این حال، با بررسی دقیق تر می توان ثابت کرد که متوسط امتیاز استفاده از کد 4 بعدی در مرحله برنامه ریزی برابر با 4.4 است (از مقدار حداکثر 5). این نشان می دهد که بیشتر شرکت کنندگان کاملاً با این حقیقت که تصویر سازی که مدل های 4 بعدی ارائه می کنند در مراحل برنامه ریزی و شکل دهی بسیار برای نتایج پروژه مطلوب است. همچنین امتیاز متوسط برای استفاده از کد 4 بعدی در مرحله ساخت برابر با 4.03 است. در اینجا، پاسخ دهندگان این دیدگاه را داشتند که کد 4 بعدی در مرحله ساخت جهت تحلیل قابلیت ساخت و بررسی پروژه داری مزایای بیشتری از استفاده از آن برای برنامه ریزی و جریان های مالی است. این مورد به وسیله امتیاز نسبتاً پایین 3.68 که به کارآمد بودن مدل های کد 4 بعدی در زمینه برنامه ریزی و جریان های مالی داده شده مشخص شده است. با حذف مورد دوم تحلیل، متوسط امتیاز استفاده از کد 4 بعدی در مرحله ساخت و ساز یک پروژه برای تحلیل قابلیت ساخت و تحلیل پروژه برابر با 4.23 است. که این مقدار نشان دهنده همگرایی قوی میان اعضای گروه ساخت و ساز است که عنوان می کردند کد 4 بعدی به صورت قابل توجهی برای بهبود فرایندها در مرحله ساخت مفید است، البته در سطحی اندکی کمتر از مقداری که می تواند در مرحله شکل دهی پروژه رخ دهد.

امتیاز متوسط استفاده از کد 4 بعدی در طراحی و همچنین برای عملکردهای مدیریت پروژه پیشرفته مانند تحلیل تاخیرها و اختلافات نسبتاً پایین است، و مقدار آن به ترتیب برابر با 3.88 و 3.77 می باشد. این امر نشان دهنده این است که به طور کلی، شرکت کنندگان در پروژه مزایای کمتری را از استفاده از کد 4 بعدی برای طراحی پروژه و یا عملکردهایی مانند حذف اختلافات در مقابل استفاده از کد 4 بعدی برای برنامه ریزی پروژه و نظارت بر ساخت کسب می کنند. اگرچه در سطحی خاص، بسیاری از شرکت کنندگان موافق هستند که استفاده از کد 4 بعدی می تواند داری مزایایی برای طراحی و مدیریت پروژه پیشرفته باشد.

با نگاهی به اطلاعات سراسر این دو بخشی که آن ها را در نظر گرفتیم - ساخت و ساز زیربنایی و تجاری، علامتی خاصی برای سه فرضیه اول مشخص نشد که نشان داده این است که شرکت کنندگان در پروژه های زیربنایی و تجاری دارای دیدگاه های مشابهی نسبت به مزایای کد 4 بعدی هستند. با این حال در فرضیه 4، شرکت کنندگانی که بر روی پروژه های زیربنایی کار می کردند موافق بودند که مدل های 4 بعدی می توانند برای تحلیل تاخیر و

انتخاب موارد جایگزین و حل اختلافات مورد استفاده قرار گرفته، به دلیل امتیاز متوسط 4.04، و در مقابل شرکت کنندگان پروژه های تجاری تمایل کمتری برای استفاده از کاربردهای کد 4 بعدی داشتند (متوسط 3.5).

با تکمیل بخش اول تحلیل درمورد فرضیه ها، انواع متعدد گروه های کاربران را در مورد مزایای بالقوه کد 4 بعدی بررسی کردیم - مدیران ارشد، متخصصان ساخت و ساز و کارگران. مجدداً از روش ANOVA برای تحلیل تفاوت های موجود در نظرات این سه گروه استفاده کردیم. پاسخ های متوسط شرکت کنندگان این سه گروه در 27 سوال مورد بررسی قرار گرفت. جدول 4 تحلیل ANOVA برای پاسخ های به دست آمده را از تمامی کاربران را نشان می دهد.

در این مورد، مقدار F بحرانی برابر با 3.11 بود. مقدار F پایین نشان می دهد که تفاوت قابل توجهی میان درک مزایای کد 4 بعدی در میان کاربران وجود نداشت. با این حال، نگاه دقیق تر به اطلاعات نشان می دهد که پاسخ های این سه گروه به صورت کامل مجزا نیستند. واریانس های قابل توجه بیشتری در جدول 5 نمایش داده شده است.

همان طور که این جدول نشان می دهد، مدیران ارشد و کارگران در سطوح کاری مختلف امتیاز بسیار بیشتری را برای سودمند بودن کد 4 بعدی (متوسط 4.42 و 4.57) نسبت به امتیاز متناظر داده شده توسط متخصصان پروژه مانند مدیران پروژه و مهندسان (4.01) داده اند. از سوی دیگر، با در نظر گرفتن استفاده از کد 4 بعدی برای برنامه ریزی کار، بررسی پیشرفت، پیش بینی آینده و ارزیابی سازگاری، از نظر متخصصان ساخت کد 4 بعدی سودمند تر بوده (متوسط 3.82) نسبت به مقداری که مدیران ارشد و کارگران محل پروژه در نظر داشتند (متوسط 3 و 3.14).

توجه داشته باشید که کاربردهای کد 4 بعدی به صورت خاص برای نقش ها و اهداف کلی پروژه سودمند نبوده که مقدار متوسط طبیعی نزدیک به 3 در پاسخ ها نشان دهنده آن است.

در نهایت مفید بودن نسبی کاربردهای خاص کد 4 بعدی را در گروه های فرضیات بزرگتر مورد بررسی قرار دادیم. به منظور انجام این کار، اندازه گیری های ANOVA را برای هر گروه از فرضیه ها محاسبه کرده تا بفهمیم آیا

کاربردهایی وجود دارند که به صورت نسبی برای شکل دهی/ برنامه ریزی، طراحی، ساخت و مدیریت پروژه پیشرفته مفید باشند یا خیر. جدول 6 نتایج تحلیل ANOVA را نمایش می دهد.

همان طور که جدول نشان می دهد تفاوت قابل توجهی میان گروه ها در هر یک از گروه های فرضیات وجود داشت (مقادیر F به دست آمده به صورت قابل توجهی از مقادیر F بحرانی بیشتر بودند) همان طور که بحث پیشین نشان داد، مدل های 4 بعدی در زمینه عملکردهای مدیریت پروژه پیشرفته مانند تحلیل تاخیر و اختلافات در پروژه های تجاری چندان مفید نبوده و برای تحلیل منابع و جریان مالی کل بخش ها کافی در نظر گرفته نشده اند. با این حال جدول 7 تعدادی از گروه ها یا سیستم ها را نشان می دهد که در آن مدل های کد 4 بعدی به صورت خاص مفید در نظر گرفته شده اند.

مدل های کد 4 بعدی به نظر در زمینه رابطه میان پیمانکار و مشتری و ارائه کار مفید هستند (مقدار متوسط 4.74 از حداکثر 5 نشان دهنده توافقی قوی است) که برای سطوح اجرایی سازمانی مشتریان در مراحل شکل گیری پروژه انجام شده که می تواند مشتریانی را متقاعد کند که دارای اطلاعات کافی در مورد روش های ساخت نمی باشند. شرکت کنندگان همچنین تصور می کردند که 4 بعدی به ویژه در مراحل ساخت و ساز پروژه هم از لحاظ ارزیابی قابلیت ساخت با یک روش خاص در برابر طراحی و روش های موجود مفید بوده (امتیاز متوسط 4.26) و همچنین در جلسات بررسی پروژه (متوسط 4.31) که در آن ها روش های ساخت ارائه شده، مجسم سازی شده و مورد بحث قرار گرفته، و مواردی که روش های حاضر و پیش بینی آینده را می تواند به صورت بصری تایید نمود، مفید هستند.

جدول 1 - خلاصه مشخصات نمونه

نسبت پاسخ	ابعاد نمونه هدف	پاسخ دهندگان	گروه کاربر
64%	28	18	مدیران ارشد
83%	24	20	مختصان ساخت
31%	80	25	کارگران
47.7%	132	63	مجموع

جدول 2 - تحلیل ANOVA برای گروه های فرضیات

F	میانگین	مربعات درجات آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییر
2.475	0.3558	3	1.067	میان
	0.1438	23	3.307	خطا
		26	4.374	کل

جدول 3 - تحلیل فرضیات و پارامترهای فرعی

پارامترها	مقدار متوسط (مقدار حداکثر برابر با 5 است)	انحراف	95 درصد زمان اطمینان برای میانگین
H1: فایده کد 4 بعدی در برنامه ریزی	4.40	0.26	4.08-4.72
H2: فایده کد 4 بعدی در طراحی	3.88	0.35	3.56-4.2
H3: فایده کد 4 بعدی در ساخت	4.03	0.41	3.76-4.3
H4: فایده کد 4 بعدی در عملکردهای مدیریت پروژه پیشرفته	3.77	0.46	3.42-4.12
H3a: فایده کد 4 بعدی در ساخت به جز مدیریت منابع	4.23	0.35	3.96-4.5
H3b: فایده کد 4 بعدی در مدیریت منابع	3.68	0.23	3.35-4.01
H4a: فایده کد 4 بعدی در عملکردهای مدیریت پروژه پیشرفته برای پروژه های زیر بنایی	4.04	0.27	3.71-4.38
H4b: فایده کد 4 بعدی در عملکردهای مدیریت پروژه پیشرفته برای پروژ های تجاری	3.5	0.25	3.22-3.75

جدول 4 - تحلیل ANOVA برای انواع کاربر

F	میانگین	مربعات درجات آزادی	مجموع مربعات	منبع تغییر
0.626	1.98	2	3.97	میان
	0.16	78	13.15	خطا
		80	17.12	کل

جدول 5 - تحلیل انواع کاربر و برخی از پارامترهای فرعی

پارامترها	مقدار متوسط (مقدار حداکثر برابر با 5 است)	انحراف استاندارد	95 درصد زمان اطمینان برای میانگین
فایده کد 4 بعدی جهت تصویر سازی برای مدیران ارشد	4.42	0.77	4.09-4.76
فایده کد 4 بعدی جهت تصویر سازی برای متخصصان ساخت وساز	4.01	0.74	3.84-4.19
فایده کد 4 بعدی جهت تصویر سازی برای کارگران	4.57	0.51	4.18-4.96
فایده کد 4 بعدی جهت برنامه ریزی ساخت برای مدیران ارشد	3	0.87	2.51-3.59
فایده کد 4 بعدی جهت برنامه ریزی ساخت برای متخصصان ساخت	3.82	0.76	3.57-4.07
فایده کد 4 بعدی جهت برنامه ریزی ساخت برای کارگران	3.14	0.69	2.59-3.69

5. بحث و نتیجه گیری

تحلیل کمی ارائه شده در بالا مناطق و نقش های خاصی را نشان می دهد که استفاده از کد 4 بعدی در آن ها احتمالاً بهترین نتیجه را خواهد داشت. این تحقیق نشان می دهد که کد 4 بعدی می تواند در شکل دهی یا برنامه ریزی پروژه، طراحی پروژه، برنامه ریزی ساخت و مدیریت پروژه مزایایی را داشته باشد. به نظر میرسد در میان گروه های فوق کد 4 بعدی در مرحله شکل دهی و برنامه ریزی پروژه و در مرحله ساخت دارای بیشترین فایده است. کد 4 بعدی در مرحله طراحی پروژه به ویژه به عنوان ابزاری برای مرتبط ساختن طرح های ساخت و فرایندها به

مشتریان مفید است و پس از آن می تواند برای مجسم کردن پروژه و بررسی نظرات و پیشنهادات آن ها مفید باشد. کد 4 بعدی در طول مرحله ساخت در زمینه مقایسه قابلیت ساخت روش های کار به صورت بصری به منظور انعکاس مشکلات و اختلالات مفید بوده و به عنوان ابزاری بصری برای پیمانکاران، مشتریان، پیمانکاران فرعی و فروشنندگان جهت بررسی و برنامه ریزی فرایند پروژه عمل می نماید. علاوه بر این، در زمینه کاربرد کد 4 بعدی، مدیران ارشد و کارگران محل پروژه احتمالاً بیشترین استفاده را از تصویر سازی پروژه ها برده که ناشی از فقدان دانش آن ها در زمینه اطلاعات و یا مهارت ها است. در حالیکه متخصصان ساخت که با ساخت و ساز آشنایی دارند احتمالاً بیشترین سود را از برنامه ریزی و تحلیل شبیه سازی 4 بعدی فراهم شده در طول مرحله ساخت می برند.

مناطق کاربردی وجود دارد که با استفاده از شبیه سازی 4 بعدی زمان و تلاش زیادی را طلب کرده و ممکن است دستاورد مناسبی نباشد. به عنوان مثال، مدیریت منابع انسانی بهتر است به حسابداری موجود و سیستم های برنامه ریزی سرمایه گذاری منابع واگذار شود. استفاده از اطلاعات جغرافیایی و یا بصری برای مدیریت این موارد نیاز است، که شاید یکی از دلایلی باشد که به نظر کد 4 بعدی برای آن ها فایده آشکاری ندارد. به طور مشابه، در پروژه های تجاری، کد 4 بعدی ممکن است لزوماً در زمینه تحلیل تاخیر اجرایی و رفع اختلافات مناسب نباشد، به این دلیل که ممکن است اختلاف نظرهایی در زمینه تصمیمات اتخاذ شده وجود داشته باشد. چنین عملی بهتر است به مکانیزم های قراردادی واگذار شود.

این تحلیل نشان داده که می توان در پروژه های تجاری به منظور بهبود بهره وری عملیاتی در سراسر طول پروژه از کد 4 بعدی استفاده کرد. با این حال، شواهد به دست آمده از طریق مصاحبه به ما نشان داد که متخصصان ساخت تمایلی به استفاده از کد 4 بعدی به عنوان ابزار مدیریت پروژه جداگانه نداشته و زمانی از آن استفاده می کنند که با روش ها و ابزارهای مدیریتی فعلی که در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرند ادغام شود. چند نفر از شرکت کنندگان احساس می کردند که اگرچه نتایج به دست آمده از شبیه سازی 4 بعدی مفید است، اما تلاش های زیادی برای پردازش اطلاعات جمع آوی شده و تبدیل آن ها به اطلاعات استراتژیکی که بتوان آن ها را مورد استفاده قرار داد مورد نیاز است. این امر نشان دهنده مانعی در سر راه پذیرش این فناوری است. در نتیجه نیاز به ابزار برنامه ریزی

پروژه ادغام شده ای است تا بتوان از مزایای آن برای شبیه سازی 4 بعدی استفاده کرده و این نتایج را با نتایج فرایندهای مدیریت پروژه حاضر و نتایج برخی از تحلیل ها ادغام نمود تا فرایند تصمیم گیری را سرعت بخشید.

به عنوان مثال، چنین ابزاری می تواند مدل های 4 بعدی را بر اساس برنامه ریزی ها و برنامه ساخت ایجاد کرده و می تواند در هر زمان تصویری را از فرآیندهای پروژه فراهم آورد. به این ترتیب، تفاوت های میان برنامه طراحی شده و برنامه واقعی را می توان مجسم سازی کرده و می توان از چنین تصویر هایی برای گزارش به ذینفعان پروژه استفاده کرد. شکل 9 از نظر گرافیکی نشان می دهد که چنین گزارشی چگونه باید باشد.

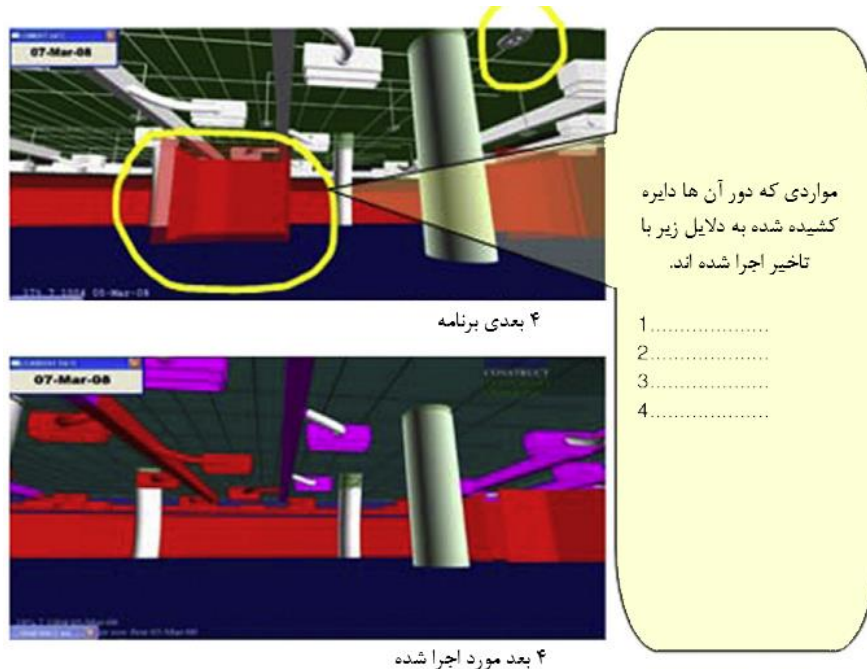
در رویکردی مشابه، می توان از تصویرهای 4 بعدی رای ایجاد چشم اندازهای بصری استفاده کرد. نرم افزار 4 بعدی می تواند به گونه ای توسعه یابند که شرایط فعلی پروژه را دریافت کرده و تصویر بصری پروژه در هفته و یا ماه آینده را ارائه نمایند. اتوماتیک کردن این فرایند می تواند به ایجاد گزارشی منجر شود که حالت فعلی پروژه را با حالت مورد انتظار پروژه در زمان بررسی بعدی نشان می دهد. چنین گزارش هایی می توانند برای بررسی پیشرفت پروژه و جلسات برنامه ریزی پیش رو مفید باشند.

جدول 6 - نتایج تحلیل گروه ANOVA

مقدار بحرانی برای مقدار 0.05	مقدار F	گروه
فایده کد 4 بعدی در برنامه ریزی	7.866	2.3
فایده کد 4 بعدی در طراحی	3.925	2.3
فایده کد 4 بعدی در ساخت	13.77	1.98
فایده کد 4 بعدی در عملکردهای مدیریت پروژه پیشرفته	7.79	2.46

جدول 7 – موارد مفید کاربرد کد 4 بعدی

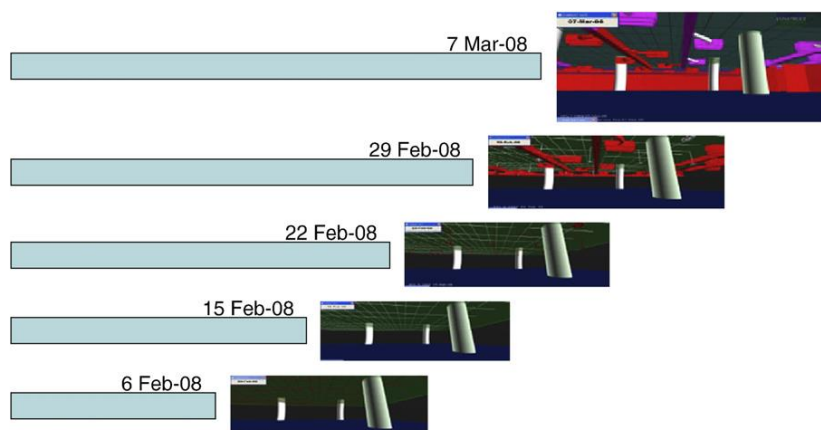
پارامترها	مقدار متوسط (مقدار حداکثر برابر با 5 است)	انحراف استاندارد	95 درصد زمان اطمینان برای میانگین
فایده کد 4 بعدی برای مشتریان جهت، تصویرسازی درک و تعهد به فرآیند ساخت	4.74	0.44	4.54-4.94
فایده کد 4 بعدی برای تصویرسازی جهت بررسی قابلیت ساخت	4.26	0.7	4.06-4.46
فایده کد 4 بعدی برای بررسی جلسات پروژه	4.31	0.63	4.11-4.52



شکل 9 – تصویری از تفاوت های میان برنامه ریزی و ساخت

در نهایت، درک برنامه ای که از طریق نمودار ستونی و یا نمودار شبکه ای محل ساخت نمایش داده شده ممکن است به دلیل تعداد زیاد فعالیت ها و پیچیدگی روابط و نشانه ها برای بسیاری از مهندسان و کارگران دشوار باشد. برنامه های جایگزین را می توان با کمک تصویرهای به دست آمده از مدل 4 بعدی مطابق با شکل 10 ایجاد نمود،

که در آن اطلاعات بصری با مراحل هفتگی و یا روزانه علامت گذاری شده اند، بنابراین تفسیر اطلاعات برنامه و اهداف پروژه برای شرکت کنندگان آسان تر شده است.



شکل 10 - تصویر سازی برنامه

چنین ابزارهایی می توانند با استفاده از مدل های 4 بعدی موجود ایجاد کرده و دارای پتانسیل ادغام خروجی های شبیه سازی 4 بعدی با فعالیت ها و وظایف مدیریت پروژه موجود هستند، و به صورت اتوماتیک مجموعه گزارشاتی را به وجود می آورند که می توانند برای کمک به تصمیم گیری ها توسط طراحان و مدیران جهت ارزیابی پیشرفت پروژه، و پیش بینی برنامه ها و مشکلات پیش رو کمک کنند. این ادغام اتوماتیک 4 بعدی و مدیریت پروژه ممکن است موانع سر راه پذیرش فناوری 4 بعدی را کاهش دهد. به طور ویژه، کاربردهای ذکر شده در این بخش به شرکت کنندگان این امکان را می دهند تا از نتایج مدل های 4 بعدی در مواردی استفاده کنند که تحلیل های کمی ما نشان می دهد که 4 بعدی دارای مزیت های بیشتری است. تجسم پروژه ها و اطلاع رسانی برای مشتریان و کارکنان، بررسی پیشرفت پروژه و ارزیابی سازگاری سودمند است. یا این حال باید توجه شود که بحث حاضر بیشتر یک نظریه مفومی است. تحقیقات بیشتری باید در این زمینه انجام شود تا ابزاری قوی را به منظور اجرا در پروژه های ساختمانی به وجود آورد.

این مقاله استفاده از کد 4 بعدی را در ساخت و ساز با درک شرایطی که تحت آن ها کد 4 بعدی می تواند دیدگاه های مفیدی را ارائه کرده و چگونگی استفاده مفید از کد 4 بعدی برای پروژه های ساختمانی را ارزیابی می کند. ترکیبی از تحلیل کمی و کیفی به فراهم کردن نتایجی کمک کرده که به این پرسش ها پاسخ می دهند. قطعاً

محدودیت هایی در تحلیل انجام شده وجود دارد. ابتدا، تمامی پاسخ دهندگان و همچنین پروژه های مورد بررسی ما در هند هستند. در نتیجه این احتمال وجود دارد که نتایج ما منعکس کننده تعصبات فرهنگی باشد. این مورد را می توان با مقایسه تحقیق ما با تحقیق در دیگر مناطق جغرافیایی مشخص کرد. با این حال، همانطور که پیشتر پیشنهاد کردیم، ما تلاش کردیم تا پروژه هایی را انتخاب کنیم که مشخصات آن ها و همچنین ماهیت مشکلاتی که با آن ها مواجه می شویم به صورت جهانی و نه تنها بافت کشور هند باشد. تجربیات ما در تعامل با کارمندان پروژه و پروژه های مدل سازی شده نشان داد که با توجه به چالش هایی که با آن ها مواجه شدیم، فرایندها و دیدگاه هایی که آن ها را دنبال کردیم ساخت و ساز در کشورهای توسعه یافته را نشان دهند. در نتیجه باور داریم که یافته های ما، اگرچه براساس اطلاعات به دست آمده از کشور هند هستند، اما مرتبط به محدوده گسترده ای از مخاطبان و منافع هستند. دوم اینکه اندازه محدود پروژه های نمونه، نتایج ما را به جای نشان دهنده بودن، قطعی نمایش می دهد. نمونه های بیشتری از پروژه ها در بخش های دیگر مانند مسکونی، صنعتی و غیره را می توان به منظور تایید و تعمیم برخی از دیدگاه های این تحقیق مورد بررسی قرار داد.

با وجود این محدودیت ها، این مقاله تلاش کرده است تا به سوالات اساسی تری که ممکن است ارتباطی نزدیک با صنعت ساخت و ساز داشته باشند و در تا به امروز ممکن است در عمل و یا به صورت دانشگاهی مطرح شده باشند را پاسخ دهد. آیا این سوالات مربوط به استفاده موثر و اجرای کد 4 بعدی، با وجود فواید نظری آن، در صنعت ساخت و ساز هستند؟ شواهد ارائه شده در این جا نشان می دهد که به طور قابل توجی می توانند باشند.

References

- [1] B Akinci, M. Fischer, Automated generation of spaces required by construction activities using 4D production models, Proceedings of the Construction Congress VI, Orlando, Florida, Feb. 19–23, ASCE, 2000, pp. 1–10.
- [2] B. Akinci, K. Tantisevi, E. Ergen, Assessment of the capabilities of a commercial 4DCAD system to visualize equipment space requirements on construction sites, 2003 Construction Research Congress, March 19–21, 2003, Honolulu, Hawaii, 2003.
- [3] P. Barrett, Construction management pull for 4D CAD, Proceedings of the Construction Congress VI 2000, ASCE, Reston, Va, 2000, pp. 977–983.
- [4] E. Collier, M. Fischer, Four dimensional modelling in design and construction, CIFE Technical Report No. 101, CIFE Stanford University, CA, 1995.
- [5] M. Fischer, J. Kunz, The scope and role of information technology in construction, CIFE Technical Report No. 156, CIFE Stanford University, CA, 2004.

- [6] A.A. Ganah, N.B. Bouchlaghem, C.J. Anumba, VISCON: computer visualization support for constructability, *ITCon 10* (2005) 69–73.
- [7] T. Hartmann, J. Gao, M. Fischer, Areas of application for 3D and 4D models on construction projects, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 134 (10) (2008) 776–785.
- [8] T. Hartmann, M. Fischer, Supporting the constructability review with 3D/4D models, *Building Research and Information*. 35 (1) (2007) 70–80.
- [9] J. Haymaker, M. Fischer, Challenges and benefits of 4D modelling on the Walt Disney Concert Hall project, CIFE Working Paper No. 64, CIFE, Stanford, CA, 2001.
- [10] D. Heesom, L. Mahdjoubi, Trends of 4D CAD applications for construction planning, *Construction Management and Economics* 22 (2) (2002) 171–182.
- [11] A. Jaafari, K.K. Manivong, M. Chaaya, VIRCON: interactive system for teaching construction management, *ASCE, Journal of Construction Engineering and Management* 127 (1) (2001) 66–75.
- [12] R. Johnson, G. Bhattacharyya, *Statistics: Principles and Methods*, John Wiley and Sons Inc, Hoboken, NJ, 2006.
- [13] Kähkönen, K. and Leinonen, J., 2001. “Advanced communication technology as an enabler for improved construction practice”, presentation given to Workshop on 4D Modelling: Experiences in UK and Overseas, organized by The Network on Information Standardization, Exchanges and Management in Construction, 17 October, Milton Keynes.
- [14] C. Kam, M. Fischer, PM4D final report, CIFE Technical Report No. 143, CIFE, Stanford, CA, 2002.
- [15] A. Khanzode, S. Staub-French, 3D and 4D modeling for design and construction coordination: issues and lessons learned, *ITcon 12* (2006) 382–407.
- [16] B. Koo, M. Fisher, Feasibility study of 4D CAD in commercial construction, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 126 (4) (2000) 251–260.
- [17] Dorothy Leonard-Barton, A dual methodology for case studies: synergistic use of a longitudinal single site with replicated multiple sites, *Organization Science* 1 (3) (1990) 248–266.
- [18] K. Liston, M. Fischer, T. Winograd, Focused sharing of information for multidisciplinary decision making by project teams, *Electronic Journal of Information Technology in Construction* 6 (2001) 69–81.
- [19] K. McKinney, M. Fischer, 4D analysis of temporary support, *Proceedings of the 4th Congress*, Philadelphia, PA, 1997, pp. 470–476.
- [20] J.E. Taylor, Antecedents of successful three-dimensional computer-aided design implementation in design and construction networks, *ASCE Journal of Construction Engineering and Management* 133 (12) (2007) 993–1002.
- [21] J.E. Taylor, R.E. Levitt, Innovation alignment and project network dynamics: an integrative model for change, *Project Management Journal* 38 (3) (2007) 22–35.
- [22] F. Vagn, 3D and 4D CAD modelling on commercial design-build projects, in: J. Vanegas, P. Chinowsky (Eds.), *Computing in Civil Engineering Congress 3*, Anaheim, California. June, 1996, pp. 390–396.
- [23] R.M. Webb, J. Smallwood, T.C. Haupt, The potential of 4D CAD as a tool for construction management, *Journal of Construction Research* 5 (1) (2004) 43–60.
- [24] V.E. Whisker, A.J. Baratta, S. Yerrapathruni, J.I. Messner, T.S. Shaw, M.E. Warren, E.S. Rotthof, Using immersive virtual environments to develop and visualize construction schedules for advanced nuclear power plants, *Proceedings of the International Congress on the Advances in Nuclear Power Plants*, ICAPP, Cordoba, Spain, 2003.
- [25] J. Zhang, M. Anson, Q. Wang, A new 4D management approach to construction planning and site space utilization, 8th International Conference on Computing in Civil and Building Engineering, ASCE, Stanford University California, USA, 14–17 August, 2000.