مهندسی عمران شریف (زمستان ۱۴۰۰)
دوره‌ی ۲ - ۳۷، شماره‌ی ۴/۲، ص. ۱۳۳-۱۴۶، (یادداشت فنی)

Research Note

ارزیابی عملکرد ارتباط الکترونیک خودکار در کارگاه‌های ساخت: بررسی میدانی و یک مطالعه‌ی موردی

سید مهدی حسینیان * **(دانشیار)**
احسان افشار (دانشجوی کارشناسی ارشد)
مسعود نجاریان (دانشجوی کارشناسی)
دانشکده‌ی فنی و مهندسی، گروه عمران، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

ارتباطات الکترونیکی خودکار، نقش مهمی در کمک به مدیران پروژه‌های ساخت برای دست‌یابی به اهداف پروژه دارد. نوشتار حاضر، نتایج میدانی از وضعیت ارتباطات در کارگاه‌های ساخت را ارائه کرده و در یک مطالعه‌ی موردی، کارایی ابزارهای الکترونیک خودکار را سنجیده است. برای بررسی وضعیت ارتباطات در صنعت ساخت، یک نمونه‌ی ۱۰۶ نفره از شاغلان در پروژه‌های ساختمانی مصاحبه شدند. پنج ابزار جهت بررسی کارایی ارتباطات الکترونیکی استفاده شده است، که شامل: برچسب QR Code، موقعیت‌یاب گوشی هوشمند، دکه‌ی الکترونیکی، دوربین گوشی هوشمند و واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان هستند. نتایج پژوهش بیان‌گر ارتباطات کم‌تأثیر و ناکافی در کارگاه‌های ساخت است و مزیت ارتباط الکترونیک خودکار بر آموزش عوامل، ایمنی کارگاه، زمان پروژه و هزینه‌ی پروژه را نشان می‌دهد. پژوهش حاضر، مورد علاقه و استفاده‌ی کسانی خواهد بود که در زمینه‌ی ساخت خودکار پروژه‌های ساختمانی فعالیت دارند.

s.hosseinian@basu.ac.ir
e.afshar@eng.basu.ac.ir
masoud.najarian77@gmail.com

واژگان کلیدی: ارتباط الکترونیک، خودکارسازی، کارگاه‌های ساخت.

۱. مقدمه

یکی از نگرانی‌های مهم مدیران پروژه در صنعت ساخت رسیدن به اهداف پروژه است. در یک پروژه‌ی ساخت، تعداد زیادی از عوامل با هم کار می‌کنند و برای دست‌یابی به اهداف پروژه، تبادل اطلاعات زیادی دارند.[۱] در پروژه‌هایی که مشکل تبادل اطلاعات وجود دارد، اهداف پروژه ممکن است محقق نشوند.[۲ و ۳] متأسفانه، به نظر می‌رسد که ارتباطات در کارگاه‌های ساخت، بیشتر سنتی و غیرخودکار است.[۴] السفورائی و آیر[۱] (۲۰۱۸) ادعا می‌کنند در پروژه‌های ساخت، ۷۰/۶٪ ارتباطات یک‌طرفه است و بخش کوچک‌تری از ارتباطات، یکی از حالت‌های دوطرفه‌ی غیرخودکار (۲۶/۹٪) و یا خودکار (۲/۵٪) را دارد.[۴] ذکاوت و همکاران (۲۰۱۴) عقیده دارند که (نبود ارتباط مؤثر) مهم‌ترین مشکل در ارتباطات کارگاه‌های ساخت است.[۵] کُندی گردش اطلاعات باعث تأخیر در اجرای دستورکارها و در نتیجه، تأخیر در پروژه می‌شود.[۶] لیبل و کانسوس[۲] (۲۰۱۷) بحث کرده‌اند که عدم ارتباط سریع، باعث به تعویق افتادن فعالیت‌ها و کاهش بهره‌وری در کارگاه می‌شود.[۷] همچنین، عدم انتقال اطلاعات موجب کاهش کیفیت طراحی، اجرا و کُندی تصمیم‌گیری‌ها و اعلام پاسخ می‌شود.[۸ و ۹] ژانگ[۳] و همکاران (۲۰۱۸) بیان کرده‌اند که مدیریت ارتباطات موجب کاهش هزینه‌های اضافی، جلوگیری از تأخیرها، و ارزیابی پیوسته‌ی عملکرد در پروژه می‌شود.[۱۰]

یک روش مناسب جهت ایجاد ارتباط کافی و مؤثر، استفاده از ابزارهای خودکارسازی و فنّاوری دیجیتال است.[۱۱ و ۱۲] چنین ابزارهایی می‌توانند منجر به کاهش مشکلات اجرایی و رضایت بیشتر کارفرمایان در پروژه‌های ساخت شوند.[۱۳-۱۵] ژای[۴] و همکاران (۲۰۰۹) عقیده دارند که استفاده‌ی صحیح از فنّاوری اطلاعات و ارتباطات، باعث افزایش بهره‌وری ۳۱ تا ۴۵ درصد می‌شود.[۱۶] ارتباط خودکار باید به نحوی باشد که بدون دخالت انسان، اهداف پروژه به طور خودکار دنبال شود.[۱۷] با توجه به آثار مطلوب خودکارسازی و فنّاوری خودکار در بهبود بهره‌وری، متأسفانه، ابزارهای مذکور در صنعت ساخت کمتر استفاده شده‌اند.[۱۸ و ۱۹] این موضع، یکی از نگرانی‌ها در رابطه با خودکارسازی در کارگاه‌های ساخت است.[۲۰]

در نوشتار حاضر، نتایج جدیدی از وضعیت ارتباطات در پروژه‌های ساخت ارائه و عملکرد ابزارهای الکترونیک خودکار در یک مطالعه‌ی موردی ارزیابی شده است. جهت بررسی وضعیت ارتباطات در پروژه‌های ساخت، یک نمونه‌ی ۱۰۶ نفره از شاغلان در پروژه‌های ساختمانی در استان همدان مصاحبه شدند. پنج ابزار الکترونیکی، شامل: بر چسب QR Code، موقعیت‌یاب گوشی هوشمند، دکه‌ی

* نویسنده مسئول
تاریخ: دریافت ۱۴۰۰/۱/۱۴، اصلاحیه ۱۴۰۰/۳/۲۳، پذیرش ۱۴۰۰/۶/۶.
DOI:10.24200/J30.2021.57754.2936

الکترونیکی، دوربین گوشی هوشمند و واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان جهت بررسی کارایی ابزارهای الکترونیکی استفاده شده است. نوشتار حاضر، مورد توجه کسانی خواهد بود که علاقه‌مند به اجرای خودکار پروژه‌های ساختمانی هستند. این فرضیه‌ها در نوشتار حاضر بررسی شده‌اند:

۱ـ ارتباطات موجود در کارگاه‌های ساخت، ناکافی است.

۲ـ ارتباط الکترونیک خودکار به تسریع گردش اطلاعات در کارگاه‌های ساخت کمک می‌کند و منجر به کاهش هزینه، افزایش کیفیت و افزایش ایمنی ساخت می‌شود.

۲. پیشینه‌ی پژوهش

تعدادی از پژوهشگران به عملکرد ابزارهای ارتباط الکترونیک در صنعت ساخت نگاهی کرده‌اند. به عنوان مثال، ذکاوت و همکاران (۲۰۱۳)، به بررسی عملکرد دوربین مداربسته، پلاک‌های RFID، دکه‌ی الکترونیکی و دستگاه GPS پرداخته و نشان داده‌اند که استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک، سهولت ارتباط عوامل و افزایش بهره‌وری را به همراه دارد.[۲۱ و ۲۲] دنیس[۵] و همکاران (۲۰۲۰)، از ابزارهای پویش[۶] لیزری و واقعیت مجازی BIM برای بهبود ارتباطات پروژه‌های ساختمانی استفاده کرده و دریافته‌اند که استفاده از ابزارهای اخیر، موجب افزایش بهره‌وری، قابلیت یادگیری و رضایت کارفرمایان پروژه‌ها می‌شود.[۲۳] کیم[۷] و همکاران (۲۰۱۵)، از ابزارهای پویش لیزری و BIM برای ارزیابی کیفیت سطح عناصر بتنی پیش‌ساخته استفاده کردند و نشان دادند که ابزارهای ذکر شده باعث کاهش زمان و هزینه‌ی بررسی کیفیت می‌شوند.[۲۴] اریس[۸] وهمکاران (۲۰۲۰)، از واقعیت مجازی پاناروما ۳۶۰ درجه برای آموزش ایمنی استفاده کردند و دریافتند که با آموزش به صورت واقعیت مجازی، قابلیت درک افراد در رعایت ایمنی افزایش می‌یابد.[۲۵] در ساخت مقاطع بزرگ و حجیم با استفاده از چاپگر سه‌بُعدی، ژانگ و همکاران (۲۰۲۰)، به وسیله‌ی گوشی هوشمند، چند چاپگر را منطبق کردند و به نتایج مطلوبی در هماهنگی نوبت و دقت چاپ دست یافتند.[۱۱] لی[۹] و همکاران (۲۰۱۸) با مرور نوشتارها بیان کردند که ابزارهای ارتباط الکترونیک واقعیت مجازی به پیمانکاران قابلیت ارتقاء اجرای جنبه‌های مختلف پروژه و به کارفرمایان محصولی با پایداری و کیفیت بالاتر را ارائه می‌کنند.[۲۶] ژو[۱۰] و همکاران (۲۰۱۸)، یک مدل برای یک‌پارچه‌سازی اطلاعات و ارتباطات در نظارت بر ایمنی در پروژه‌ها پیشنهاد کردند. آنان برای ارزیابی مدل پیشنهادی، یک مطالعه‌ی موردی را بررسی کردند که کاهش مخاطرات و افزایش ایمنی افراد را نشان می‌داد.[۲۷] برای مشکل تداخل تأسیسات با المان‌های ساختمان، تنگ[۱۱] و همکاران (۲۰۲۰)، از پروتکل‌های ارتباطی باز شبکه‌های خودکارسازی کنترل ساختمان و ابزار مدل اطلاعات ساختمان استفاده کردند و به نتایج خوبی در کاهش مشکل تداخل در طراحی دست یافتند.[۲۸] پوری و تارکان[۱۲] (۲۰۲۰)، در ساخت یک پل و قرارگیری قطعات پیش‌ساخته‌ی آن از مدل چهاربُعدی اطلاعات ساختمان، سامانه‌ی نمایش قرارگیری قطعات و بررسی لحظه‌یی مشکلات تطابق استفاده کردند. استفاده از ابزارهای اخیر منجر به اجرای دقیق‌تر و سریع‌تر پل شده است.[۱۷]

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های محدودی، در زمینه‌ی عملکرد ارتباط الکترونیک در اجرای پروژه‌های ساخت صورت گرفته است.[۱۱، ۱۵، ۲۹ و ۳۰] بنابراین، انجام پژوهش حاضر، نیاز است. نوآوری نوشتار حاضر، شامل دو بخش است: اول این‌که به نظر می‌رسد، پژوهشی در ایران، وضعیت ارتباطات در کارگاه‌های ساخت را بررسی نکرده است. دوم آن‌که، به نظر می‌رسد، عملکرد ابزارهای الکترونیک خودکار (شامل برچسب‌های QR Code، موقعیت‌یاب گوشی هوشمند، دکه‌ی الکترونیکی، دوربین گوشی هوشمند و واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان) در یک مطالعه‌ی موردی ارزیابی نشده است. در نوشتار حاضر، قسمتی از شکاف علمی ذکر شده بررسی شده است.

۳. روش انجام پژوهش

روش انجام پژوهش حاضر در دو بخش ارائه شده است: بخش اول، بررسی میدانی و بخش دوم، مطالعه‌ی موردی.

۱.۳. بررسی میدانی

جهت بررسی وضعیت ارتباطات در صنعت ساخت، یک مطالعه‌ی میدانی در سطح پروژه‌های ساختمانی استان همدان انجام شد، که در آن مهندسان عمران و معماری دارای پروانه‌ی اشتغال اجرا یا نظارت از سازمان نظام مهندسی ساختمان استان همدان مصاحبه شدند. بدین منظور، جهت طراحی یک پرسش‌نامه‌ی توصیفی با سؤال‌های نیمه ساختاریافته از معیارهای نوشتار لیتز[۱۳] (۲۰۱۰)،[۳۱] استفاده شده است. از مشارکت‌کننده‌ها خواسته شد، به این سؤال‌ها پاسخ دهند:

۱ـ چه مشکلاتی در ارتباطات عوامل کارگاه‌های ساخت (پیمانکار، کارفرما، مشاور و پیمانکاران جزء) وجود دارد؟ دلیل آنها را ذکر کنید.

۲ـ وضعیت فعلی ارتباطات عوامل در کارگاه‌های ساخت را چگونه ارزیابی می‌کنید؟

۳ـ آیا تجربه‌ی استفاده از ارتباطات الکترونیکی در کارگاه‌های ساخت را دارید؟ نمونه‌هایی از آنها را نام ببرید.

۴ـ آیا با کاربردهای دکه‌ی الکترونیکی، موقعیت‌یاب گوشی هوشمند و برچسب QR Code جهت ارتباط در کارگاه‌های ساخت آشنایی دارید؟

۵ـ مزیت‌ها و معایب استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک (مثل موقعیت‌یاب گوشی هوشمند، دکه‌ی الکترونیکی، دوربین و برچسب QR Code) برای ایجاد ارتباط الکترونیک در کارگاه ساخت چیست؟

۶ـ مزیت‌ها و معایب ارتباط‌های سنتی نظیر گفتاری (صحبت رو در رو و تلفنی) و نوشتاری (کاغذی) در کارگاه‌های ساخت چیست؟

۷ـ آیا در کارگاه‌های ساخت ارتباطات کم‌تأثیر و ناکافی هستند؟

برای تحلیل جواب‌ها، ابتدا نظرهای هر یک از مشارکت‌کننده‌ها به صورت جداگانه بررسی و نکات مهم، عبارت‌ها و مفاهیم ذکر شده از پاسخ‌نامه‌ها استنتاج شدند. سپس، تعداد دفعات تکرار، هم‌نظری و یا نظرهای مخالف بررسی شدند. روش اخیر در مطالعات کیفی میدانی دارای مصاحبه با سؤال‌های نیمه ساختاریافته معمولاً استفاده می‌شود.[۳۲] مشارکت‌کنندگان از طریق نمونه‌گیری آماری انتخاب شدند. برای تعیین تعداد نمونه‌ها از رابطه‌ی ۱ استفاده شده است:[۳۳]

$$n = \frac{N z^2 pq}{N d^2 + z^2 pq} \qquad (۱)$$

که در آن، N حجم جامعه، d مقدار خطای مجاز، z مقدار متغیر نرمال است، که با سطح اطمینان ۹۵٪ برابر ۱/۹۶ است، p نسبت برخورداری از صفت مورد نظر است و q=(۱-p) نسبت عدم برخورداری از صفت مورد نظر است. معمولاً مقدار

جدول ۱. مشخصات شرکت‌کنندگان در پژوهش حاضر.

	توزیع فراوانی بر حسب مشخصات پاسخ‌دهندگان					
	سال	تعداد	درصد (٪)		تعداد	درصد (٪)
سابقه‌ی کار	زیر ۵	۱۷	۱۶	مهندس ناظر	۳۶	۳۴
	۶-۱۰	۴۹	۴۶	مهندس کارگاه	۱۹	۱۸
	۱۱-۱۵	۱۳	۱۲	مدیر ساخت	۲۵	۲۴
	۱۶-۲۰	۷	۷	مدیر پروژه	۳	۳
	بالای ۲۰	۹	۸	سایر	۱۷	۱۶
حوزه‌ی فعالیت	نظارت	۲۶	۲۵	زیر ۵	۹	۸
	اجرا	۱۹	۱۸	۶-۱۵	۲۷	۲۵
	کارفرما	۹	۸	۱۶-۲۵	۳۴	۳۲
	مشاور	۳۵	۳۳	۲۶-۳۵	۲۹	۲۷
	پیمانکار	۱۷	۱۶	بالای ۳۵	۷	۷

	تعداد مشارکت در پروژه (سال)

جدول ۲. مشکلات ارتباطات در کارگاه‌های ساخت.

ردیف	مشکلات ارتباطات کارگاهای ساخت	تعداد دفعات تکرار (از ۱۰۶)	درصد دفعات تکرار (٪)
۱	ارتباط ناکافی بین عوامل ساخت	۷۸	۷۴
۲	درک نادرست از خواسته‌ها و دستورکارها	۶۸	۶۴
۳	ارتباطات کند و کم‌تأثیر	۶۴	۶۰
۴	به موقع نبودن ارتباطات	۵۱	۴۸
۵	دو طرفه نبودن ارتباطات	۴۳	۳۳
۶	دسترسی نداشتن همه‌ی افراد به یکدیگر	۳۵	۳۸
۷	زمان‌بر بودن تفهیم خواسته‌ها	۳۴	۳۲

جدول ۳. دلایل وجود مشکلات در ارتباطات عوامل.

ردیف	دلیل وجود مشکلات در ارتباطات عوامل	تعداد دفعات تکرار (از ۱۰۶ نفر)	درصد دفعات تکرار
۱	نبود ابزار و زیر ساخت ارتباطی	۷۱	۶۷
۲	استفاده‌ی ناصحیح از ابزارهای موجود	۶۷	۶۳
۳	نبود استاندارد ارتباطی مناسب	۵۸	۵۵
۴	سنتی بودن گردش اطلاعات	۵۳	۵۰

p برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.[۳۳] در نوشتار حاضر، مقدار d برابر ۰/۰۹۳ در نظرگرفته شد. بر اساس اطلاعات سازمان نظام‌مهندسی ساختمان استان همدان، مجموع تعداد مهندسان عمران و معماری، که پروانه‌ی کار دارند، ۳/۰۶۰ نفر است (مهندسان عمران ۱/۹۰۲ نفر و مهندسان معماری ۱/۱۵۸ نفر.) با توجه به اطلاعات ذکر شده و با استفاده از رابطه‌ی ۱، حجم نمونه‌ی مورد نیاز ۱۰۶ نفر به دست آمد. مشارکت‌کننده‌ها به صورت تصادفی از فهرست سازمان نظام مهندسی ساختمان استان همدان انتخاب شدند. مصاحبه‌ها به صورت حضوری، مکالمه‌ی تصویری و صوتی انجام شد. به مهندسان گفته شد که با در نظرگرفتن آخرین پروژه‌یی که در آن حضور داشتید، به سؤال‌ها پاسخ دهید. میانگین سابقه‌ی کار شرکت‌کنندگان ۸/۲۹ سال و میانگین تعداد مشارکت در پروژه‌های ساخت ۲۱ مورد بود. در جدول ۱، مشخصات شرکت‌کنندگان در پژوهش حاضر ارائه شده است. هر مصاحبه بین ۳۰ و ۳۵ دقیقه طول کشید و کل مصاحبه‌ها در مدت ۳ ماه انجام شد.

جوابیه‌ی سؤال یک (چه مشکلاتی در ارتباطات عوامل کارگاه‌های ساخت وجود دارد؟ دلیل آنها را ذکر کنید.) در جدول‌های ۲ و ۳ ارائه شده است. توضیح این‌که، جهت جلوگیری از امکان حذف شدن جواب‌های مختلف، ابتدا در مصاحبه‌ها تلاش شد مخاطبان به درستی از موضوع مورد بررسی مطلع شوند. سپس، برای تحلیل نتایج مصاحبه‌ها، مطابق توصیه‌های نوشتار گالتا[۱۴] (۲۰۱۳)،[۳۲] جواب‌های مخاطبان دسته‌بندی و جمله‌ی منتخب هر دسته، که بیانگر موضوع آن دسته بود، به عنوان نتیجه بیان شد.

جدول ۲ نشان می‌دهد که مشکلات ارتباطات کارگاه‌های ساخت در ۷ مورد ممکن است دسته‌بندی شوند. از بین آنها، ارتباط ناکافی بین عوامل ساخت، درک نادرست از خواسته‌ها و دستورکار و ارتباطات کُند و کم‌تأثیر از مهم‌ترین مشکلات ارتباطات کارگاه‌های ساخت بودند. به نظر می‌رسد که در کارگاه‌های ساخت مشکلاتی، از جمله: ارتباطات ناکافی، درک نادرست از دستورکارها، ارتباطات کم‌تأثیر، دوطرفه نبودن و عدم دسترسی به افراد و همچنین زمان‌بر بودن ارتباطات وجود دارد. در جدول ۳، نیز دلایل وجود مشکلات در ارتباطات عوامل در ۴ مورد دسته‌بندی و ارائه شده است. مهم‌ترین دلیل، عدم وجود ابزار و زیرساخت ارتباطی و بعد از آن استفاده‌ی ناصحیح از ابزارهای موجود بوده است. اشاره‌ی ۶۷ و ۶۳ درصد مصاحبه‌شوندگان،

به ترتیب، به دلایل نبود ابزار و زیرساخت ارتباطی و استفاده نکردن از ابزارهای موجود نشان می‌دهد که علی‌رغم استفاده‌ی فراوان از ابزارهای ارتباط الکترونیک در زندگی، در کارگاه‌های ساخت به نظر از ابزارهای مذکور استفاده‌ی قابل توجهی نمی‌شود. با توجه به اشاره‌ی ۵۵٪ مصاحبه‌شوندگان، شاید بتوان ادعا کرد برای ارتباطات عوامل کارگاه‌های ساخت، استاندارد ارتباطی هنوز وجود ندارد. نتایج مندرج در جدول ۴ در پاسخ به پرسش دوم (وضعیت فعلی ارتباطات عوامل در کارگاه‌های ساخت را چگونه ارزیابی می‌کنید؟) به دست آمده است، که نشان می‌دهد عمده‌ی ارتباطات عوامل (۸۱٪) در کارگاه‌های ساخت به صورت سنتی و کمتر به‌روز و الکترونیکی است.

در شکل ۱، نتایج سؤال سوم (آیا تجربه‌ی استفاده از ابزارهای ارتباطات الکترونیکی در کارگاه‌های ساخت برای اجرای کار ساخت را دارید؟ نمونه‌هایی از آن‌ها را نام ببرید.) مشاهده می‌شود؛ که مطابق آن، ۵۲٪ مشارکت‌کننده‌ها، تجربه‌ی استفاده از ارتباط الکترونیک درکارگاه‌های ساخت را داشته و ۴۸٪ تاکنون از ارتباط الکترونیک در کارگاه‌های ساخت استفاده نکرده‌اند. همچنین در شکل ۱ مشاهده می‌شود که عوامل کارگاه‌های ساخت (پیمانکاران جزء، استادکاران و کارگران) فقط تجربه‌ی استفاده‌ی محدود از سه ابزار گوشی هوشمند (۲۹٪)، دستگاه بی‌سیم رادیویی (۱۶٪) (مثلاً برای ارتباط کاربر جرثقیل با کمک کاربر) و موقعیت‌یاب (۷٪) در کارگاه‌های ساخت برای اجرای کار ساخت را داشته‌اند. در ارتباط از طریق گوشی هوشمند، کلیه‌ی امکانات در دسترس گوشی، شامل: تماس تصویری، اتصال به اینترنت، موقعیت‌یاب گوشی، دوربین و غیره مد نظر بود.

در پاسخ به سؤال چهارم (آیا با کاربردهای دکه‌ی الکترونیکی، موقعیت‌یاب گوشی هوشمند و برچسب QR Code جهت ارتباط در کارگاه‌های ساخت آشنایی‌دارید؟) ۸۱٪ پاسخ‌دهندگان به پرسش‌نامه اظهار داشتند که با کاربرد ابزارهای مذکور در کارگاه‌های ساخت آشنایی ندارند و فقط ۱۹٪ پاسخ‌دهندگان با موقعیت‌یاب گوشی هوشمند آشنایی داشتند و جهت ایجاد ارتباط، از آن استفاده می‌کردند. نتایج اخیر نشان می‌دهند که در کارگاه‌های ساخت، ابزارهای ارتباطی به‌روز استفاده نمی‌شود؛ این در حالی است که طبق مطالعات اوئستریک و توتبرگ[15] (۲۰۱۶)،[13] و چن[16] و همکاران (۲۰۱۸)،[14] استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک منجر به بهبود بهره‌وری و کاهش مشکلات اجرایی می‌شود.

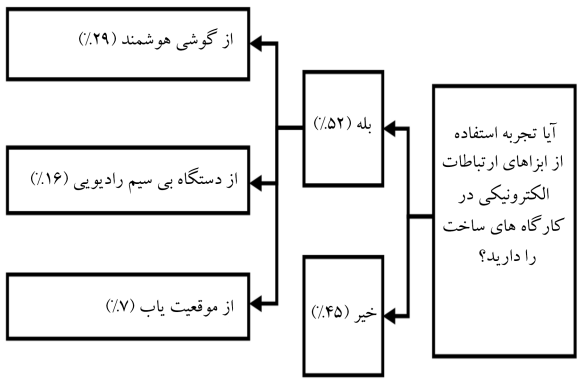
در شکل ۲، پاسخ‌ها به سؤال پنجم (مزیت‌ها و مشکلات استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک برای ایجاد ارتباط الکترونیک درکارگاه ساخت چیست؟) مشاهده می‌شود، که مطابق آن، ۵۵٪ از مخاطبان از مزیت‌ها و معایب استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک بی‌اطلاع بودند.

در مزیت‌های بیان شده برای استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک، افزایش سرعت انجام کار، کاهش زمان ارتباطات و ارتقاء کیفیت از مهم‌ترین‌ها دلایل هستند. موارد نبود اینترنت پرسرعت، فقدان آگاهی عوامل و امتناع عوامل سنتی برای استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک، از مهم‌ترین معایب از نظر مشارکت‌کننده‌ها هستند. مزیت‌های بیان شده برای ارتباط الکترونیک نشان می‌دهد که استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک به ارتقاء کیفیت اجرا، مدیریت پروژه و اشتراک‌گذاری دانش و تجربه کمک می‌کند، که بن‌صلاح[17] و همکاران (۲۰۱۸)،[15] نیز مطلب اخیر را تأیید کرده‌اند.

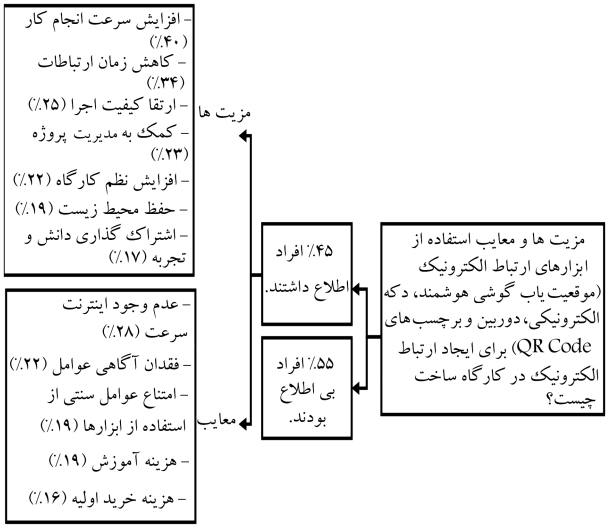
در شکل ۳، پاسخ‌ها به سؤال ششم (مزیت‌ها و معایب ارتباط‌های سنتی نظیر گفتاری (رو در رو و تلفنی) و نوشتاری (کاغذی) در کارگاه‌های ساخت چیست؟) مشاهده می‌شود. بیشتر مخاطبان (بالای ۹۰٪) از مزایا و معایب ارتباط سنتی اطلاع

جدول ۴. وضعیت فعلی ارتباطات عوامل.

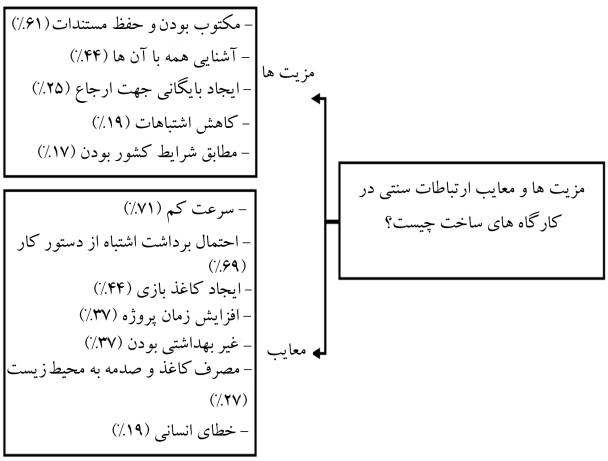
وضعیت فعلی ارتباطات در کارگاه‌های ساخت	درصد افراد بیان‌کننده
سنتی (گفتاری رو در رو، گفتاری تلفنی و نوشتاری)	۸۱
به‌روز (الکترونیکی)	۱۹



شکل ۱. وضعیت استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک در کارگاه‌های ساخت.



شکل ۲. مزیت‌ها و معایب استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک.



شکل ۳. مزیت‌ها و معایب ارتباط‌های سنتی.

داشتند. مهم‌ترین مزیت ارتباط سنتی، مکتوب بودن و حفظ مستندهاست. مزیت مهم دیگر ارتباطات سنتی، آشنایی همه با آنهاست. در مقابل، مهم‌ترین معایب ارتباط سنتی، سرعت کم، احتمال برداشت اشتباه از دستورکارها و ایجاد کاغذبازی است. معایب دیگر، غیربهداشتی بودن (در ارتباط گفتاری رو در رو و نوشتاری) و صدمه به محیط زیست (در ارتباط نوشتاری) است. در شکل ۳ هم‌راستا با برخی نوشتارها،[۱۰ و ۲۸] مشاهده می‌شود که برداشت اشتباه و از دست دادن زمان، از معایب ارتباطات سنتی است، که مطلب مذکور، از نظر مدیر پروژه مطلوب نیست.

در پاسخ سؤال هفتم (آیا در کارگاه‌های ساخت، ارتباطات کم‌تأثیر و ناکافی‌اند؟)، ۹۱٪ مشارکت‌کنندگان ضمن جواب مثبت، بیان داشتند که ارتباطات کم‌تأثیر و ناکافی هستند و ۹٪ جواب منفی دادند و تأکید کردند که ارتباطات در کارگاه‌های ساخت مناسب است. دینیس[۱۸] و همکاران (۲۰۲۰) بیان کرده‌اند که فنّاوری، رویکردی برای غلبه بر موانع در برقراری ارتباط‌های صحیح بین عوامل مرتبط با پروژه است.[۲۳] در برخی دیگر از نوشتارها نیز اشاره شده است که استفاده از فنّاوری، روشی مناسب جهت ایجاد ارتباط کافی و مؤثر است. نتایج به دست آمده از مصاحبه‌ها، صحت فرضیه‌ی اول را تأیید می‌کند.[۱۱، ۱۲ و ۲۳]

۱.۱.۳. پایایی و روایی محتوایی مصاحبه

پایایی با این امر سروکار دارد که ابزار اندازه‌گیری در شرایط یکسان تا چه اندازه نتایج یکسانی به دست می‌دهد. بررسی درصد توافق نکات اشاره شده توسط مصاحبه‌شوندگان، روشی مرسوم برای تحلیل پایایی است.[۳۴] برای تعیین درصد توافق از ضریب کاپای کوهن[۱۹] (k) استفاده می‌شود رابطه‌ی:

$$k = \frac{p_0 - p_e}{1 - p_e} \qquad (۲)$$

که در آن، p_0 تعداد جواب‌هایی است که در آنها توافق وجود دارد و p_e نسبت جواب‌هایی است که احتمال می‌رود توافق تصادفی باشد. اگر تعداد توافق‌های مشاهده شده برابر با تعداد توافق‌های تصادفی احتمالی باشد، ضریب کاپا برابر صفر خواهد بود. اگر تعداد توافق‌های مشاهده شده کمتر از تعداد توافق‌های تصادفی احتمال باشد، مقدار ضریب کاپا منفی خواهد شد و اگر توافق کامل بین دو قضاوت باشد، ضریب کاپا برابر ۱ خواهد بود.[۳۴]

در پژوهش حاضر، میزان توافق پاسخ‌های مشارکت‌کنندگان به سؤال‌ها بررسی شد. برای محاسبه‌ی ضریب کاپای کوهن از نرم‌افزار SPSS استفاده شد و ضریب کاپای کوهن برابر ۰/۷۱ به دست آمد، که مقدار اخیر از ۰/۶ بیشتر است. طبق نوشتار لندیس[۲۰] و همکاران (۱۹۷۷)،[۳۵] اندازه‌ی ضریب کاپای بیشتر از ۰/۶، بیان‌گر توافق زیاد است و مصاحبه، پایایی قابل قبولی دارد؛ لذا قابلیت تعمیم‌پذیری به جامعه را دارد.[۳۵] مقصود از روایی آن است که وسیله‌ی اندازه‌گیری، بتواند خصیصه و ویژگی مورد نظر را اندازه بگیرد یا اعتبار کافی داشته باشد.[۳۶] جهت بررسی روایی محتوایی از روش والتز و باسل[۲۱] استفاده شد. بدین صورت که متخصصان «مربوط بودن» و «واضح بودن» هر سؤال را بر اساس یک طیف لیکرتی چهار قسمتی مشخص کردند. سپس مقدار شاخص روایی محتوایی (CVI) [۲۲] از تقسیم تعداد متخصصان موافق با سؤال (بر اساس طیف لیکرتی نمره‌های ۳ و ۴ موافق در نظر گرفته شد)، بر تعداد کل متخصصان محاسبه شد. کمینه‌ی مقدار قابل قبول برای شاخص CVI برابر با ۰/۷۹ است و اگر شاخص کمتر از ۰/۷۹ باشد، آن سؤال باید حذف شود.[۳۶] در ابتدا، پنج مصاحبه‌ی آزمایشی برای رفع ابهام سؤال‌ها انجام شد. شرکت‌کنندگان در مصاحبه‌های آزمایشی دارای سمت‌های مدیر پروژه، مهندس کارگاه، ناظر و مدیر پروژه بودند. پس از جمع‌آوری ارزیابی آنان از مصاحبه‌ی نیمه ساختاریافته، تغییرات مورد نیاز در سؤال‌ها انجام شد تا شاخص روایی بالای ۰/۸ شود.

۲.۳. مطالعه‌ی موردی

برای بررسی عملکرد ارتباط الکترونیک خودکار در کارگاه ساخت، یک مطالعه‌ی موردی در نظر گرفته شد. مطالعه‌ی موردی کارگاهی ساخت مربوط به کندوهای آرد واقع در غرب شهرستان همدان بود. مشخصات پروژه، شامل ساخت ۹ کندوی آرد با استفاده از قالب لغزنده و اجرای عملیات ساخت در طول شبانه‌روز بود. نحوه‌ی خدمات پروژه به صورت سنتی (کارفرما، مشاور و پیمانکار) بود. برای دسترسی به اینترنت دو راه استفاده از اینترنت ADSL و 4G وجود داشت. برای استفاده از اینترنت ADSL نیاز به مودم بود تا بتوان اینترنت را برای افراد کارگاه به اشتراک گذاشت. همان‌طور که در تجربیات پژوهشگران پیشین از جمله تحقیقات وو[۲۳] و همکاران (۲۰۱۱)، در زمینه‌ی ارتباطات بیان شده است، دسترسی مودم وای‌فای[۲۴] معمولی در حدود ۲۰ متر است.[۳۷] با توجه به محیط باز کارگاه، اگر مودم در هر مکانی از کارگاه قرار گیرد، کاهش سیگنال‌دهی وجود خواهد داشت؛ بنابراین از اینترنت همراه 4G (LTE) استفاده شده است.

معیار سنجش عملکرد ارتباط الکترونیک خودکار، بهبود کیفیت، کاهش هزینه، افزایش ایمنی و کاهش زمان پروژه بود. با بهره‌گیری از گوشی هوشمند و رایانه، ابزارهای ارتباط الکترونیک شامل بر چسب‌های QR Code، دکه‌ی الکترونیکی، موقعیت‌یاب گوشی هوشمند و دوربین گوشی هوشمند آماده شدند.

۱.۲.۳. بر چسب‌های QR Code

QR Code ابزار مناسبی برای ایجاد ارتباط سریع و مؤثر است. سروازه‌ی QR Code[۲۵] به معنای کد پاسخ سریع است. QR Code یک نوع بارکد دوبُعدی است که می‌تواند با استفاده از گوشی‌های هوشمند و ابزاری مخصوص خوانده و مستقیماً به متن، رایانامه، وب‌گاه و تلفن پیوند شود. در ابتدا، برچسب‌ها به صورت مشکی، در یک اندازه و تک‌رو چاپ شدند. با توجه به بازخورد به دست آمده از استفاده‌کننده‌ها از برچسب‌ها و نیاز پروژه، بعداً آنها به صورت رنگی، در ابعاد مختلف و دو رو چاپ شدند. در پژوهش حاضر، از ۴ نوع برچسب QR Code برای تحقق ۴ منظور استفاده شد: (الف) برچسب مدیریت میلگرد (آبی، قرمز و سبز) برای مدیریت خودکار میلگرد، هر رنگ بیان‌گر یک اندازه از میلگرد بود، که کار انتخاب میلگرد را راحت می‌کرد؛ (ب) برچسب دستورکار (مشکی) برای مدیریت خودکار دستورکار؛ (ج) برچسب ماشین‌آلات (بنفش) برای مدیریت خودکار ماشین‌آلات و (د) برچسب درج اطلاعات (مشکی) برای درج اطلاعات بر روی مقاطع سازه‌یی.

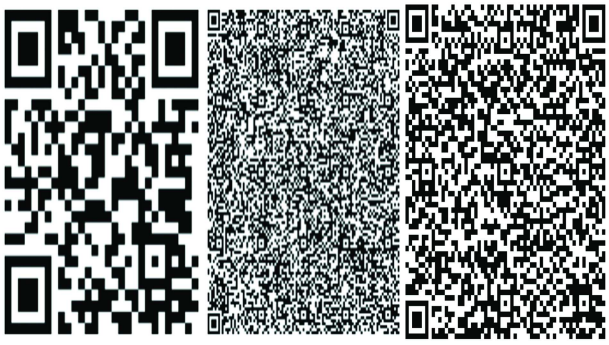
به منظور آب‌بندی و نصب برچسب‌های مدیریت میلگرد، دستورکار و ماشین‌آلات از روکشی با جنس چسب شیشه‌یی ۵ سانتی‌متری استفاده شده است. برای آب‌بندی، استحکام بیشتر و نصب راحت، برچسب‌های درج اطلاعات در محفظه‌یی شیشه‌یی با ابعاد ۸ × ۸ سانتی‌متر قرار گرفتند. سپس محفظه‌ی اخیر با چسب آبزی‌دان[۲۶] عایق شد، تا رطوبت به برچسب‌ها نرسد. برچسب‌های ماشین‌آلات به نحوی روی ماشین‌آلات تعبیه شدند که در دسترس افراد و قابل رؤیت و پویش باشند. برچسب‌های درج اطلاعات هم در محل‌هایی نصب شدند که به راحتی امکان دسترسی و پویش برچسب‌ها وجود داشته باشد.

برچسب‌های مدیریت میلگردها حاوی اطلاعاتی، نظیر: عامل حمل، مسئول انبار، استادکار مرتبط، کارخانه‌ی سازنده، نوع میلگرد، مهندس ناظر و مهندس مجری

الف) برچسب مدیریت ماشین آلات؛ ب) برچسب مدیریت مصالح.

شکل ۴. برچسب مدیریت ماشین‌آلات و مصالح .

شکل ۵. بر چسب مدیریت و دستورکار نصب شده روی مصالح.



الف) نمونه برچسب دستور کار؛ ب و ج) نمونه برچسب های ذخیره اطلاعات.

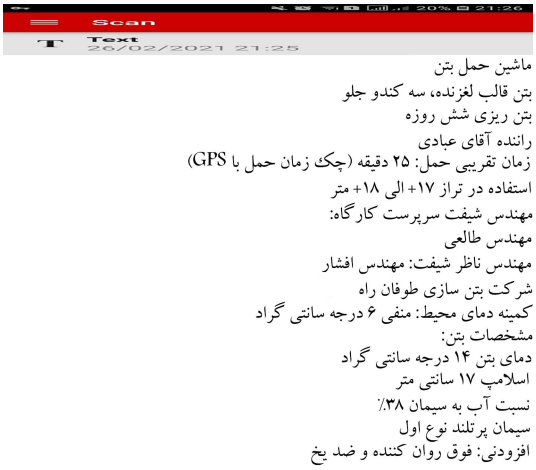
شکل ۶. برچسب دستورکار و ذخیره اطلاعات .

بود. پویش برچسب‌های مذکور به صورت خودکار، اطلاعات مورد نیاز و فرد مسئول را معرفی می‌کرد (شکل‌های ۴ و ۵).

برچسب دستورکار، حاوی اطلاعات مورد نیاز استادکاران مرتبط، محل کارگذاری میلگرد، نحوه‌ی کارگذاری، ابعاد مقطع سازه‌یی، نوع میلگرد (سنجاقی، خاموت، کششی و فشاری)، طول قطع و خم، نوع خم، مهندس ناظر و مهندس مجری بود. استادکاران با پویش بر چسب‌های اخیر به صورت خودکار به دستورکارها دسترسی پیدا می‌کردند (شکل‌های ۶ و ۷). برچسب درج اطلاعات، برای دسترسی به اطلاعات در مواقع خاص (به طور مثال دعاوی حقوقی یا زلزله) مفید هستند (شکل ۶ - ب).

برچسب ماشین‌آلات، حاوی اطلاعات نام کاربر، نوع بار، محل استفاده، فرد تحویل‌گیرنده و متصدی تخلیه بوده است. برچسب‌های اخیر در درب ورودی کارگاه مورد مطالعه به طور خودکار قابلیت تشخیص از دیگر ماشین‌های حمل را برای نگهبانان فراهم می‌کردند و رنگ بنفش برای آنها انتخاب شد (شکل‌های ۴ و ۸). به

شکل ۷. عامل ساخت در حال استفاده از بر چسب‌های QR Code.

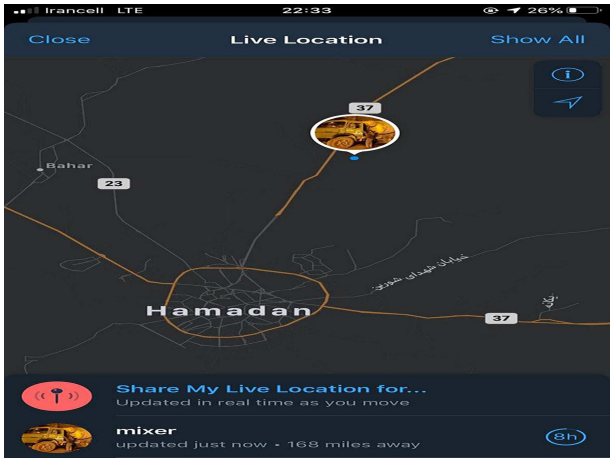


شکل ۸. نمونه‌ی اطلاعات QR Code پویش شده.

طور مثال، برای کامیون حمل بتن، اطلاعاتی نظیر: دمای ساخت بتن، مقاومت بتن، اسلامپ بتن، نسبت آب به سیمان، نوع سیمان، طبقه یا تراز مورد استفاده، مهندسان مرتبط و غیره درج شد.

۲.۲.۳. موقعیت‌یاب گوشی هوشمند

از موقعیت‌یاب گوشی هوشمند، برای مدیریت ماشین‌آلات، اطلاع از زمان حمل بتن، ترافیک جاده‌یی و مدت ساخت، بارگیری و انتقال بتن استفاده شد. کامیون‌های حمل بتن، وظیفه‌ی ۲۴ ساعته‌ی تأمین بتن پروژه را بر عهده داشتند. نبود اطلاعات کافی از زمان و نحوه‌ی حمل بتن باعث شد از موقعیت‌یاب گوشی هوشمند استفاده شود. قابلیت موقعیت زنده‌ی[۲۷] گوشی هوشمند و برنامه‌های تلگرام[۲۸] و واتس‌آپ[۲۹] امکان به اشتراک‌گذاری موقعیت لحظه‌یی را فراهم می‌کنند. در یک آزمون به مدت ۲۴ ساعت، وضعیت سه کامیون حمل بتن بررسی شد. از قابلیت موقعیت زنده‌ی گوشی هوشمند رانندگان کامیون‌های حمل بتن، برای اشتراک‌گذاری موقعیت لحظه‌یی استفاده شد. برقراری ارتباط گوشی هوشمند عوامل کارگاه (سرگروه قالب لغزنده، مهندس کارگاه و ناظر مقیم) با گوشی هوشمند رانندگان، امکان بررسی موقعیت کامیون را فراهم می‌کردند. دلیل انتخاب گوشی هوشمند، نداشتن هزینه، زمان آموزش کم، امکان دسترسی آسان و عملکرد بالا در مقایسه با دستگاه موقعیت‌یاب بود. در ابتدای آزمون برای همکاری عوامل حمل بتن به هر راننده یک بسته اینترنت همراه هدیه داده شد و از راننده‌های کامیون حمل بتن خواسته شد با استفاده از قابلیت موقعیت زنده، موقعیت لحظه‌یی خود را برای عوامل کارگاه به اشتراک بگذارند تا دسترسی خودکار به موقعیت ماشین‌آلات فراهم شود. در شکل ۹، موقعیت مکانی کامیون حمل بتن درگوشی هوشمند مهندس کارگاه مشاهده می‌شود.



شکل ۹. نمایش موقعیت کامیون حمل بتن در گوشی هوشمند مهندس کارگاه.

شکل ۱۰. دکه‌ی الکترونیکی بعد از رنگ‌آمیزی و آماده‌ی استفاده در کارگاه.

۳.۲.۳. دکه‌ی الکترونیکی و واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان

دکه‌ی الکترونیکی برای آموزش و ارتباط خودکار عوامل انتخاب شد. رایانه‌ی دکه، از نوع All in one بود، که دلیل انتخاب آن، حجم کم، قابلیت کار لمسی، صفحه‌ی کار بزرگ و دسترسی آسان بود. در پیوست، مشخصات رایانه بیان شده است.

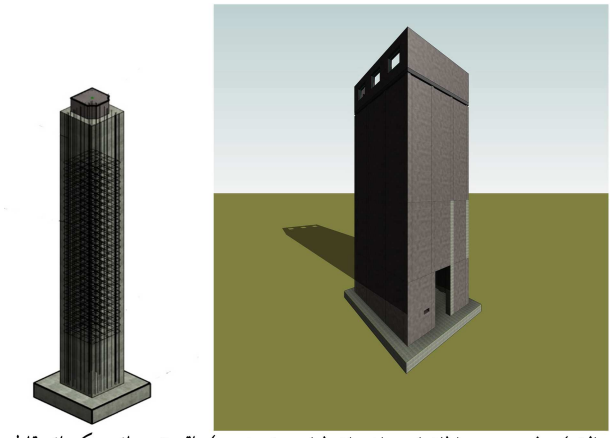
ویژگی‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری رایانه‌ی انتخاب شده به خوبی پاسخگوی نیازهای پژوهش بود. از آن‌جا که رایانه در محوطه‌ی کارگاه استفاده می‌شد، باید شرایطی فراهم می‌شد که صدمه‌یی به آن وارد نشود و امکان استفاده‌ی راحت و بدون دغدغه‌ی عوامل از رایانه وجود داشته باشد. بنابراین، ایده‌ی ایجاد یک دکه[۳۰]ی ساخت الکترونیکی مطرح شد. ایده‌ی اولیه‌ی ساخت دکه از نمونه‌ی ساخته شده توسط ذکاوت و برنالد[۳۱] (۲۰۱۳) گرفته شد.[۲۲] با توجه به ابعاد رایانه و نیاز پروژه، دکه طراحی و ساخته شد. دکه‌ی مورد نظر، دارای ابعاد و ارتفاع مناسب جهت دسترسی، سرپناه برای فرد استفاده‌کننده، عدم نفوذ آب، عدم امکان سرقت رایانه و عدم کاهش سینگال بی‌سیم (به دلیل استفاده از فلز کم‌ضخامت) بود. مصالح استفاده شده برای ساخت دکه به گونه‌یی انتخاب شدند که در عین سبکی و هزینه‌ی کم، استحکام لازم را داشته باشند (شکل ۱۰). سرپناه تعبیه شده در بالای سر استفاده‌کننده به گونه‌یی بود که فرد را در برابر باد، باران و خطرات احتمالی سقوط اشیا محافظت کند. رنگ نارنجی به دلیل قابلیت دید مناسب و حس اطمینان خوب انتخاب شد.

برای جلوگیری و عدم واژگونی رایانه‌ی دکه، یک شابلون[۳۲] ساخته شد و با استفاده از آن، رایانه از پشت به دکه و از زیر به یک ورق چوبی پیچ شد تا امکان حرکت و واژگونی رایانه وجود نداشته باشد. برای برقراری ارتباط با رایانه از ارتباط بی‌سیم استفاده شد. با اطمینان از امنیت رایانه برای حضور در کارگاه ساخت، دکه برای گرفتن آزمون ارزیابی عملکرد به کارگاه مورد مطالعه منتقل شد. اجرای پروژه در ۲۴ ساعت شبانه‌روز در جریان بود. مدت آزمون ۶ شبانه‌روز (۱۴۴ ساعت، معادل ۱۸ روز کاری معمول) بود.

با هماهنگی‌های به عمل آمده با عوامل کارگاه، استفاده از ترسیم‌های فنی کاغذی منتفی شد. عوامل کارگاه برای دست‌یابی به اطلاعات ساخت، نیاز بود به دکه‌ی الکترونیکی یا گوشی هوشمند مراجعه کنند. از دکه‌ی الکترونیکی برای حذف ترسیم‌های فنی کاغذی، استفاده از واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان، آموزش عوامل، مدیریت عوامل و ماشین‌آلات، آموزش ایمنی و حضور و غیاب استفاده شد. در ابتدا، پرونده‌هایی که نباید عوامل کارگاه به آن دسترسی پیدا کنند در یک رانه[۳۳] ریخته و قفل شدند. در صفحه‌ی کار[۳۴] برای هرکدام از گروه مهندسان و گروه عوامل اجرایی حاضر در کارگاه، یک پرونده‌ی مخصوص ساخته شد که اطلاعات مختص به هر گروه در آن پرونده قرار گیرد. برای گروه‌های اجرایی، واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان، پرونده‌ی pdf ترسیم‌های فنی و پرونده‌ی حضور غیاب آماده شد. برای مهندسان، علاوه بر موارد ذکر شده، پرونده‌ی اتوکد (dwg)، مدل اطلاعات ساختمان، پیرابند[۳۵]های صورت‌جلسه و گزارش‌ها قرار داده شدند. در صفحه‌ی میزکار برای آموزش ایمنی عوامل ساخت، پرونده‌ی ایمنی قرار گرفت. همه‌ی اطلاعات مورد نیاز ساخت عوامل از دکه گرفته یا در دکه درج شد.

برای ایجاد درک متقابل از خواسته‌ها و کاهش خطاها و جایگزینی ترسیم‌های فنی کاغذی، از مدل اطلاعات ساختمان استفاده شد. همچنین از واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان برای دسترسی راحت به اطلاعات، درک بهتر از مقاطع در حال ساخت و آموزش خودکار استفاده شد. برای ارائه‌ی واقعیت مجازی، از صفحه‌ی نمایش، عینک واقعیت افزوده و واقعیت مجازی، گوشی هوشمند و مواردی مشابه می‌توان استفاده کرد. در پژوهش حاضر از صفحه‌ی نمایش دکه‌ی الکترونیک ساخت استفاده شد. برای آموزش ایمنی از فیلمی استفاده شد که میزان خطرها و صدمه‌ها را برای افراد فاقد کلاه ایمنی نشان می‌داد. فیلم آموزشی، مربوط به هشدار استفاده از کلاه ایمنی بود، که در ارتفاع‌های معین ۴ و ۸ متری پیچی فولادی رها می‌شد، تا به یک هندوانه‌ی مورد آزمایش برخورد کند. روش اخیر برای هندوانه بدون کلاه ایمنی و با کلاه ایمنی انجام شد. فیلم مورد نظر، صدمه‌های ناشی از عدم استفاده از کلاه ایمنی را برای هندوانه به خوبی نشان می‌داد. مورد آزمایش قرار گرفتن هندوانه، قابل تعمیم به انسان است، که در صورت عدم استفاده از کلاه ایمنی چه خطرهایی فرد را تهدید می‌کند (مرجع فیلم، سایت یوتیوب بود).

برای درک بهتر عوامل اجرایی از خواست‌های طراح و کارفرما، از واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان استفاده شد و تصاویر تهیه شده از آن در پرونده‌ی مربوط به هر گروه اجرایی قرار داده شد تا بتوانند با مراجعه به پرونده‌ی مذکور، اطلاعات مورد نیاز برای ساخت را دریافت کنند (شکل ۱۱) تصاویر آماده شده، اطلاعاتی مانند تعداد میلگردهای مورد نیاز مقاطع، ابعاد مقاطع، جانمایی آنها، نحوه‌ی صحیح بستن میلگردها به صورت سه‌بُعدی، شکل نهایی مقطع، میزان پوشَن[۳۶] و شکل محصول نهایی را به فرد استفاده‌کننده از دکه و پرونده نشان می‌داد. مدل اطلاعات ساختمان با نرم‌افزار Revit ساخته شد. هدف استفاده از مدل اخیر، آموزش افراد و درک سریع و آسان آنان از پروژه بود (شکل ۱۲).



الف) مدل سه بعدی اطلاعات ساختمان طراحی شده؛ ب) واقعیت مجازی یکی از مقاطع.

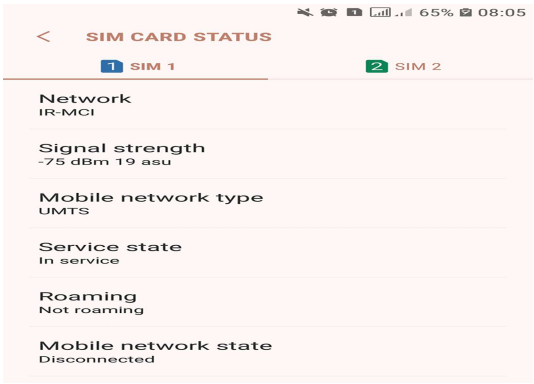
شکل ۱۱. مدل اطلاعات ساختمان و واقعیت مجازی .

شکل ۱۲. آموزش عوامل اجرایی (استفاده از واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان).

۴.۲.۳. دوربین گوشی هوشمند

عدم وجود دید مناسب کاربر جرثقیل در کارگاه، خطری است که عوامل کارگاه را تهدید می‌کند. بتن‌ریزی پروژه، با استفاده از جام و به کمک جرثقیل انجام شد. نبود ارتباط مؤثر با محل تخلیه‌ی بتن و برقراری ارتباط با دستگاه بی‌سیم رادیویی، باعث برخورد جام با یکی از کارگران و بروز حادثه شد. برای رفع مشکل ارتباط کاربر جرثقیل با بخش محل بتن‌ریزی، ایجاد دید مناسب برای کاربر جرثقیل مد نظر بود. در ابتدا تلاش شد تا با استفاده از دوربین مداربسته، ارتباط ایجاد شود. اما به دلیل ارتفاع زیاد (بیش از ۳۰ متر) و باز و بسته شدن بوم جرثقیل، استفاده از دوربین مداربسته امکان‌پذیر نبود. پژوهشگران تصمیم گرفتند که با استفاده از گوشی هوشمند، ارتباطی مؤثر را برای کاربر جرثقیل به وجود آورند. برای به اشتراک‌گذاری تصویر، از مکالمه‌ی تصویری نرم‌افزار واتس‌آپ استفاده شد. در اینترنت همراه گوشی هوشمند، محدودیت ارتفاع و فاصله مطرح نیست، بلکه قدرت سیگنال و سرعت بالای اینترنت مهم است. برای جلوگیری از تأخیر اپراتورهای اینترنت همراه بررسی شدند و از بهترین اپراتور سرویس دهنده اینترنت استفاده شد (شکل ۱۳).

برای آزمودن میزان سرعت اینترنت و آنتن‌دهی، از گوشی هوشمندی که دوربین آن برای ارتباط مدنظر بود، استفاده شد. گوشی هوشمند شرکت سامسونگ مدل Galaxy A۵-۲۰۱۷ استفاده شد، که دارای ویژگی‌های شبکه‌ی 4G، دوربین ۱۶ مگاپیکسل با دریچه‌ی ۹/۱، ۲۷ میلی‌متری تمرکز خودکار، نور LED با فیلم‌برداری کیفیت ۱۰۸۰p با سرعت ۳۰ فریم در ثانیه بود. برای محافظت از گوشی هوشمند،



شکل ۱۳. بررسی میزان سرعت اینترنت همراه اپراتورهای ارائه‌دهنده‌ی اینترنت در تنظیمات گوشی هوشمند.

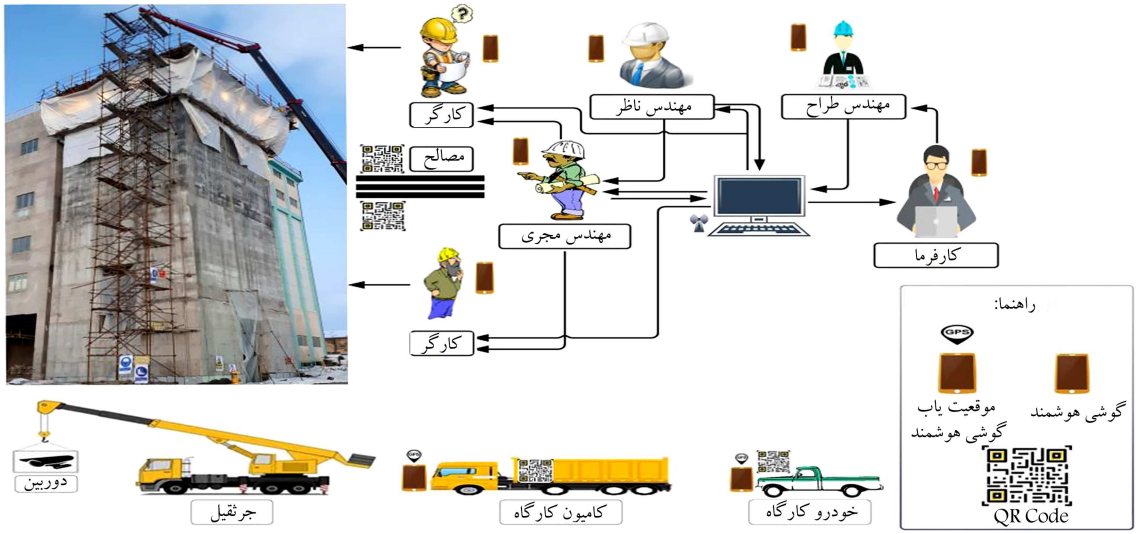
شکل ۱۴. محفظه‌ی ساخته شده برای محافظت از گوشی هوشمند.

شکل ۱۵. نصب محفظه‌ی دوربین بر جام بتن.

یک محفظه‌ی چوبی ساخته شد (شکل ۱۴). گوشی از بالا درون محفظه قرار گرفت و درب محفظه محکم قفل شد.

درون محفظه‌ی مورد نظر با فوم ایمن شد، تا در صورت سقوط به گوشی آسیب نرسد. محفظه با سیم مفتول به جام بتن و قلاب جرثقیل وصل شد (شکل ۱۵).

ارتباط الکترونیک خودکار گوشی هوشمند در درون محفظه با گوشی هوشمند کاربر جرثقیل، دیدی مستقیم را برای کاربر جرثقیل از محل تخلیه بتن فراهم کرد، که باعث شد کاربر جرثقیل به صورت خودکار، جام بتن را به محل مورد نیاز هدایت کند، تا مخاطرات ناشی از نبود دید مناسب به میزان کمینه برسد. در شکل ۱۶، نحوه‌ی ارتباط عوامل کارگاه ساخت مورد مطالعه مشاهده می‌شود. مرکز تبادل اطلاعات کارگاه، دکه‌ی الکترونیکی است. پس از استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک مورد نظر، بازخورد عوامل بررسی شد. برای ارزیابی عملکرد ابزارهای ارتباط الکترونیک،



شکل ۱۶. نحوه‌ی ارتباطات کارگاه ساخت مورد مطالعه با استفاده از ارتباط الکترونیک خودکار.

۱۲ نفر از عوامل اصلی پروژه (پیمانکار، پیمانکاران جزء، مشاور و کارفرما)، در یک مصاحبه‌ی ساختاریافته مشارکت داده شدند. سؤال‌های مصاحبه، شامل بررسی عملکرد ابزارها در مدیریت خودکار مصالح، بهبود گردش اطلاعات خودکار، مدیریت دستورکارها، کمک به مدیریت زمان و کمک به آموزش عوامل با اعلام نمره‌یی از ۰ تا ۱۰۰ برای شاخص مورد نظر بود. در سؤالی دیگر، مخاطبان به بیان نکات مد نظر در استفاده از ابزارها پرداختند.

۴. نتایج

جدول ۵ نشان می‌دهد که میزان عملکرد برچسب‌های QR Code برای مدیریت خودکار مصالح و دستورکارها در مطالعه‌ی موردی در حدود ۷۵٪ و برای مدیریت زمان، دسترسی به اطلاعات سازه‌یی و گردش اطلاعات بیش از ۵۰٪ بوده است. در مجموع، میزان عملکرد برچسب‌های QR Code، ۵۸٪ توسط مشارکت‌کننده‌ها در مطالعه‌ی موردی برآورد شد.

برچسب‌های QR Code نقش مهمی در کاهش ضایعات مصالح داشتند. علت ایجاد ضایعات این بود که به صورت سنتی میلگرد ستون‌ها در طول‌های ۶ متر بریده می‌شدند. به کمک گردش اطاعات ایجاد شده توسط برچسب‌ها، مهندس کارگاه زودهنگام متوجه میزان ضایعات در حال ایجاد در میلگردها شد و دستورکار اصلاحی جهت برش بهینه را از طریق برچسب‌ها صادر کرد. این باعث کاهش میزان ضایعات میلگردها شد. به عنوان مثل، میزان ضایعات میلگردهای ستونی در پروژه بعد از ارائه‌ی خودکار دستورکارها با برچسب‌های QR Code، ۲۱/۳۵٪ نسبت به قبل از رسیدن اطلاعات مرتبط کاهش یافت. یکی از عوامل پیمانکار بیان کرد «برچسب‌های QR Code به من در تسریع در انجام کارم کمک خوبی کرد.» همچنین یکی از عوامل پیمانکار جزء گفت «برچسب‌های QR Code دسترسی من را به اطلاعات ترسیم‌های فنی تسریع کرد.» در جدول ۶، میزان عملکرد موقعیت‌یاب گوشی هوشمند در مطالعه‌ی موردی ارائه شده است، که مطابق آن، بر اساس نظر مشارکت‌کننده‌ها، میزان عملکرد موقعیت‌یاب گوشی هوشمند برای کمک به مدیریت خودکار ماشین‌آلات ۹۵٪ و این میزان برای کمک به مدیریت زمان و خودکار دستورکارها و بهبود گردش

جدول ۵. عملکرد برچسب‌های الکترونیکی QR Code در مطالعه‌ی موردی.

شاخص	درصد عملکرد
مدیریت خودکار مصالح	۷۵
مدیریت خودکار دستورکارها	۷۵
کمک به مدیریت زمان	۵۵
دسترسی به اطلاعات مقاطع سازه‌یی	۵۵
بهبود گردش اطلاعات	۵۰
میزان عملکرد کلی	۵۸

جدول ۶. عملکرد موقعیت‌یاب گوشی هوشمند در مطالعه‌ی موردی.

شاخص	درصد عملکرد
کمک به مدیریت ماشین‌آلات	۹۰
کمک به مدیریت زمان	۷۵
کمک به مدیریت خودکار دستورکارها	۷۵
بهبود گردش اطلاعات	۷۰
ارزیابی کلی	۷۷/۵

اطلاعات بیش از ۷۰٪ بوده است. در مجموع مشارکت‌کننده‌ها عملکرد موقعیت‌یاب گوشی هوشمند را ۷۷/۵٪ برآورد کردند. در استفاده از موقعیت‌یاب گوشی هوشمند، مهندس کارگاه بیان کرد «این موقعیت‌یاب کمک مؤثری در کنترل بهتر ماشین‌آلات به خصوص زمان رسیدن بتن آماده به کارگاه را برای من فرآهم کرد.»

در جدول ۷، نتایج میزان عملکرد دکه‌ی الکترونیکی را براساس نظر مشارکت‌کننده‌ها در پژوهش ارائه شده است، که بر اساس میزان عملکرد دکه برای کمک به آموزش عوامل ۹۵٪ و کمک به مدیریت زمان و خودکار دستورکارها و بهبود گردش اطلاعات بیش از ۸۰٪ است. در مجموع میزان عملکرد دکه ۸۸٪ توسط مشارکت‌کننده‌ها در مطالعه‌ی موردی تعیین شد. در استفاده از دکه‌ی الکترونیکی، یکی از عوامل پیمانکار جزء گفت «دکه‌ی الکترونیکی به اینجانب کمک مهمی در درک مناسبی از دستورکارها کرد.»

همان‌طور که گفته شد، برای بررسی تأثیر آموزش ایمنی در درک بیشتر خطر،

جدول ۷. عملکرد دکه‌ی الکترونیکی در مطالعه‌ی موردی.

شاخص	درصد عملکرد
کمک به آموزش عوامل	۹۵
کمک به مدیریت زمان	۹۰
کمک به مدیریت خودکار دستورکار	۸۵
بهبود گردش اطلاعات	۸۲
ارزیابی کلی	۸۸

جدول ۸. عملکرد دوربین گوشی هوشمند در مطالعه‌ی موردی.

شاخص	درصد عملکرد
برطرف کردن نقاط کور	۷۷
بهبود گردش اطلاعات	۷۶
کمک به مدیریت زمان	۷۳
ارزیابی کلی	۶۷/۷۵

یک فیلم آموزشی با استفاده از دکه به کارکنان نشان داده شد. رفتارگروهی شامل ۱۰ نفر از آنان قبل و بعد از آموزش مشاهده شد. بررسی‌های میدانی نشان داد که قبل از آموزش ۶ نفر و بعد از آموزش ۹ نفر کاملاً از وسایل حفاظت فردی استفاده کردند. این موضوع نشان می‌دهد که دکه‌ی الکترونیکی می‌تواند در آموزش ایمنی و بهبود درک خطر در عوامل ساخت مؤثر باشد.

میزان عملکرد دوربین گوشی هوشمند در جدول ۸ ارائه شده است، که مطابق آن میزان عملکرد دوربین گوشی هوشمند برای بر طرف کردن نقاط کور ۷۷٪، بهبود گردش اطلاعات ۷۶٪ و کمک به مدیریت زمان ۷۳٪ بوده است. در مجموع عملکرد دوربین گوشی هوشمند ۶۵/۷۵٪ توسط مشارکت‌کننده‌ها در مطالعه‌ی موردی تعیین شد. در استفاده از دوربین گوشی هوشمند، سرپرست گروه بتن‌ریزی تأکید کرد «استفاده از دوربین منجر به افزایش ایمنی در بتن‌ریزی، ارتباط راحت کاربر جرثقیل با عوامل بتن‌ریزی و کیفیت بیشتر بتن‌ریزی در ارتفاع شده است.»

۱.۴. اهمیت نسبی ابزارهای ارتباط الکترونیک

جهت بررسی اهمیت نسبی ابزارهای ارتباط الکترونیک در کارگاه مورد مطالعه، از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شد.[۳۸] بدین منظور، ماتریسی ۴ × ۴ ساخته شد، که مقایسه‌ی دو به دو بین ابزارها بر اساس اهمیت استفاده در کارگاه ساخت مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مقایسه به این صورت بود که با انتخاب یک نمره، میزان اهمیت یک ابزار واقع در ستون نسبت به یک ابزار واقع در سطر مشخص می‌شد. در مقایسه‌ی اخیر وقتی اهمیت دو ابزار برابر می‌بود، نمره ۱ انتخاب می‌شد. نمره‌های ۱/۹، ۱/۷، ۱/۵ و ۱/۳ نشان‌دهنده‌ی اهمیت کمتر ابزار واقع در ستون نسبت به ابزار واقع در سطر است. نمره‌ی ۱/۹ اهمیت خیلی کمتر و ۱/۳ اهمیت کم را نشان می‌دهد. نمره‌های ۳، ۵، ۷ و ۹ نشان‌دهنده‌ی اهمیت بیشتر ابزار واقع در ستون نسبت به ابزار واقع در سطر است. نمره‌ی ۳ اهمیت زیاد و ۹ اهمیت خیلی زیاد را نشان می‌دهد. به منظور رتبه‌بندی ابزارها، نیاز بود که میانگین هر عنصر را بر جمع میانگین‌ها تقسیم کرد تا وزن نهایی آن به دست آید.[۳۸]

در جدول ۹، نمونه‌ی محاسبات سنجش اهمیت نسبی استفاده از ابزارها توسط یکی از مشارکت‌کننده‌ها (کارفرما) در پژوهش حاضر را نشان می‌دهد. اوزان نرمال شده، بیان‌گر اولویت نسبی هر ابزار هستند.[۳۸]

در جدول ۱۰، اهمیت نسبی استفاده از ابزارها در کارگاه ساخت به تفکیک کارفرما، مشاور و پیمانکار و اهمیت نسبی مشخص شده توسط کل مشارکت‌کننده‌ها در پژوهش حاضر ارائه شده است. از نظر عوامل پروژه، دکه‌ی ساخت الکترونیکی، بیشترین اولویت استفاده در کارگاه مورد نظر را داشته است. ذکاوت و برنولد (۲۰۱۳)،[۲۲] هم تأکید کرده‌اند که استفاده از دکه‌ی الکترونیکی، اهمیت زیادی در پروژه‌های ساختمانی دارد. اولویت برچسب‌های QR Code و دوربین گوشی هوشمند به ترتیب در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفت. از نظر مشاور و کارفرما، برچسب‌های QR Code اولویت دوم اهمیت را داشت. دلیل آن شاید صرفه‌جویی در مصرف مصالح و کاهش هزینه بوده است. اما از نظر پیمانکار، برچسب QR Code کمترین اهمیت را داشته است. دلیل آن ممکن است مربوط به زمان‌بر بودن نصب آن باشد. دوربین گوشی‌هوشمند از نظر عوامل پروژه در اولویت سوم و موقعیت‌یاب گوشی هوشمند در اولویت چهارم اهمیت قرار گرفت؛ در حالی که ابزار اخیر برای پیمانکار، دومین ابزار با اهمیت بود. شاید دلیل اهمیت موقعیت‌یاب گوشی هوشمند برای پیمانکار، ایجاد ارتباط مؤثر برای مدیریت کامیون‌های کارگاه باشد. جهت اطمینان از سازگاری در قضاوت شرکت‌کنندگان، نسبت‌سازگاری (CR)[۳۷] مطابق رابطه‌ی ۳ محاسبه شد.

$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (۳)$$

که در آن، CI از رابطه‌ی ۴ محاسبه می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - s}{s - ۱} \qquad (۴)$$

در روابط ۳ و ۴، S اندازه‌ی ماتریس مقایسه ۴ × ۴، λmax مقدار ویژه‌ی ماتریس و RI[۳۸] شاخص تصادفی است، که از نوشتار ساتی[۳۹] (۱۹۹۰)،[۳۸] به دست می‌آید. هر چه نسبت سازگاری به صفر نزدیک‌تر باشد، قابلیت اطمینان سازگاری قضاوت‌ها برای مقایسه‌های دوتایی بیشتر است. نسبت سازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد.[۳۸] محاسبه‌ها در نرم‌افزار متلب[۴۰] انجام شده است. تمامی ۱۲ پاسخ نظرسنجی سازگاری نشان دادند و هیچ پاسخی از مجموعه‌ی داده‌ها حذف نشد. میانگین نسبت سازگاری برای همه‌ی پاسخ‌ها ۰/۰۴۳ به دست آمد. این امر نشان می‌دهد که پاسخ‌ها قابل اعتماد هستند و سازگاری داخلی قضاوت‌ها برای مقایسه‌ی دو به دو قابل قبول است.

۵. بحث و بررسی

در پژوهش حاضر، وضعیت ارتباطات کارگاه‌های ساخت و میزان عملکرد ابزارهای الکترونیکی بررسی شده است. نتایج نشان داد که فنّاوری ارتباطات در صنعت ساخت هنوز رشد نکرده است و افراد بیشتر تمایل به استفاده از ابزارهای ساده و سنتی ارتباطات را دارند. به نظر می‌رسد که افراد به صورت سنتی در کارگاه‌های ساخت در برابر ورود فنّاوری، انعطاف‌پذیری کمتری دارند.[۱۸] این در حالی است که بعد از آموزش و یادگیری و استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیکی در مطالعه‌ی موردی، عوامل پروژه دیدگاه بهتری نسبت به ارتباطات پیدا کرده‌اند. عوامل کارگاه مورد مطالعه درباره‌ی تجربه‌ی استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک بیان کردند: «آموزش توسط فنّاوری و رایانه، درک خوبی از دستورکارها ایجاد می‌کند» ، «استفاده از ابزارهای ارتباط الکترونیک دشوار نیست» و «استفاده از فنّاوری، هماهنگی اجرای پروژه‌های ساخت را راحت می‌کند.» بر اساس داده‌های میدانی، هزینه‌ی خرید و راه‌اندازی ابزارهای الکترونیکی برای پروژه‌ی مورد مطالعه در حدود ۳۳ میلیون تومان و هزینه‌ی کل پروژه در حدود ۲/۹ میلیارد تومان بوده است. در نتیجه ابزارهای

جدول ۹. نمونه‌ی تعیین اهمیت نسبی استفاده از ابزارهای الکترونیکی در کارگاه‌های ساخت.

ابزار	برچسب‌های QR Code	موقعیت‌یاب گوشی هوشمند	دوربین گوشی هوشمند	دکه‌ی الکترونیکی	اوزان نرمال شده (اولویت)	اولویت
برچسب‌های QR Code	۱	۷	۵	۰/۲	۰/۲۶	۲
موقعیت‌یاب گوشی هوشمند	۰/۱۴	۱	۰/۳۳	۰/۱۴	۰/۴۶	۴
دوربین گوشی هوشمند	۰/۲	۳	۱	۰/۲	۰/۰۹	۳
دکه‌ی الکترونیکی	۵	۷	۵	۱	۰/۵۹	۱

جدول ۱۰. اولویت‌های نسبی استفاده از ابزارها توسط کارفرما، مشاور و پیمانکار.

نام ابزار	کارفرما		مشاور		پیمانکار		کل	
	اوزان نرمال	اولویت	اوزان نرمال	اولویت	اوزان نرمال	اولویت	اوزان نرمال	اولویت
دکه	۰/۵۹	۱	۰/۵۴	۱	۰/۴۵	۱	۰/۵۱	۱
برچسب QR Code	۰/۲۶	۲	۰/۲۶	۲	۰/۰۳	۴	۰/۲۰	۲
دوربین گوشی	۰/۰۹	۳	۰/۰۹	۳	۰/۱۱	۳	۰/۱۹	۳
موقعیت‌یاب گوشی	۰/۴۶	۴	۰/۰۵	۴	۰/۳۴	۲	۰/۰۹	۴

الکترونیکی حدود ۱٪ از هزینه‌ی کل پروژه را تشکیل می‌دادند. با توجه به هزینه‌های کم و مزایای ذکر شده در جدول‌های ۷ الی ۱۰، استفاده از ابزارهای الکترونیکی کمک مهمی به بهبود عملکرد در پروژه بوده است. در پروژه‌ی مورد مطالعه، ابزارهای مورد استفاده یک شبکه‌ی ارتباطی یک‌پارچه را به وجود آورد. نانتاسونتی و برنولد[41] (۲۰۰۶) عقیده دارند که ارتباط الکترونیک، یک شبکه‌ی یک‌پارچه‌ی بی‌سیم را در کارگاه ساخت فراهم می‌آورد.[39]

نوشتار حاضر نشان داد که زمان‌بر بودن تفهیم خواسته‌ها و وجود اختلاف سلیقه در درک و اجرای خواسته‌ها از مشکلات ارتباطات در کارگاه‌های ساخت هستند. در مطالعه‌ی موردی استفاده از ابزار واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان جهت آموزش خودکار، موجب درک بهتر عوامل ساخت از پروژه، افزایش سرعت تبادل اطلاعات و به اشتراک‌گذاری تجربه شده است. برخی مطالعات پیشین نیز نشان داده‌اند که مدل اطلاعات ساختمان به تفهیم عوامل و اشتراک‌گذاری تجربیات کمک می‌کند.[6، 15 و 40] با استفاده از ارتباط الکترونیکی، ترسیم‌های کاغذی حذف شد، که موجب کاهش مصرف کاغذ، ایجاد ارتباط مؤثر و حفظ محیط زیست می‌شود. موضوع استفاده از ارتباط الکترونیکی برای ارتقاء ارتباطات خودکار مؤثر مورد تأکید برخی مطالعات پیشین هم بوده است.[8، 11 و 12] تأکید عوامل پروژه بر اثر ابزارها در افزایش سرعت تبادل اطلاعات، افزایش کیفیت و عملکرد در ساخت، مدیریت زمان، دسترسی آسان و سریع به اطلاعات فنی، کنترل ماشین‌آلات، آموزش عوامل، اشتراک‌گذاری تجربه، تفهیم خواسته‌ی مورد نظر و حفاظت اطلاعات، نشان‌دهنده‌ی تأثیر خودکارسازی در رشد صنعت ساخت بوده است. در برخی دیگر از مطالعات پیشین نیز بیان شده است که خودکارسازی ارتباطات، راهی برای ایجاد ارتباط سریع و مؤثر و کاهش دخالت انسان است.[5، 27 و 21]

نتایج بازخوردهای به دست آمده از مطالعه‌ی موردی، کمک ابزارها به رفع مشکل ارتباطات را نشان می‌دهند و بیانگر عملکرد ارتباط الکترونیک خودکار در کمک به بهبود ارتباطات کارگاه‌های ساخت هستند. موفقیت ابزارهای ارتباط الکترونیک در ایجاد ارتباط مؤثر و سرعت مناسب انتقال اطلاعات، فرضیه‌ی پژوهش (ارتباط الکترونیک خودکار به تسریع گردش اطلاعات در کارگاه‌های ساخت کمک می‌کند) را تأیید می‌کند. نتایج مصاحبه‌ی ساختاریافته با عوامل پروژه‌ی مورد مطالعه، برآورده‌سازی اهداف ساخت و فرضیه‌ی پژوهش (ارتباط الکترونیک خودکار منجر به کاهش هزینه، افزایش کیفیت و افزایش ایمنی ساخت می‌شود) را تأیید می‌کند.

ایده‌ی استفاده از دکه‌ی ساخت الکترونیکی به عنوان ایجاد مرکزی متمرکز جهت تبادل اطلاعات کارکنان کارگاه ساخت بوده است. دکه‌ی مذکور می‌تواند در محیط بازکارگاه یا در دفتر فنی باشد. دسترسی گروه‌های کاری مختلف، شامل: استادکاران، کارگران و متصدیان ماشین‌آلات به دفترکارگاه با محدودیت‌هایی ممکن است همراه باشد. استفاده از ابزارهای دیگر الکترونیکی، همچون رایانک در راستای ارتباط الکترونیکی بوده است، اما دکه‌ی ساخت الکترونیکی به دلیل بزرگی صفحه‌ی نمایش شاید برای نمایش جزئیات و مشخصات فنی بهتر باشد. همچنین از نظر اقتصادی، شاید تهیه‌ی رایانک برای کارکنان با محدودیت‌هایی همراه باشد. سطح ارتباطات و گردش اطلاعات درکارگاه‌های ساخت متنوع است. این تنوع شامل گردش اطلاعات در سطوح مدیریت پروژه (پیمانکاران، مشاوران و مالکان)، سطوح میانی (پیمانکاران فرعی، مشاوران فرعی، تأمین‌کنندگان مصالح) و سطوح کارکنان (متصدیان ماشین‌آلات، رانندگان حمل، گروه‌های اجرایی و مهندسان کارگاه) بوده است. بدین منظور نیاز است که ارتباطات مختلفی از طریق قابلیت ابزارهای مختلف پوشش داده شود. در دسترس بودن ابزارها و هزینه‌ی استفاده از آنها، ملاک انتخاب ابزارها بوده‌اند. ابزارهای مورد استفاده با هم هم‌پوشانی نداشتند و هرکدام وظیفه‌ی انتقال قسمتی از اطلاعات را درکارگاه بر عهده داشتند. اما، دکه‌ی ساخت الکترونیکی، مرکز تبادل اطلاع بود، طوری که دسترسی به اطلاعات برچسب‌های QR Code، دوربین گوشی هوشمند، موقعیت‌یاب و واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان در آن فراهم بوده است.

۶. نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، نتایج اصیلی از وضعیت ارتباطات در صنعت ساخت ارائه و عملکرد ابزارهای الکترونیک خودکار در یک مطالعه‌ی موردی ارزیابی شده است. به منظور بررسی وضعیت ارتباطات در صنعت ساخت، یک نمونه‌ی ۱۰۶ نفره از شاغلان در پروژه‌ی ساختمانی مصاحبه شدند. عملکرد ۵ ابزار الکترونیکی، شامل: برچسب‌های QR Code، موقعیت‌یاب گوشی هوشمند، دکه‌ی ساخت الکترونیکی،

دوربین گوشی هوشمند و واقعیت مجازی مدل اطلاعات ساختمان در یک کارگاه ساخت بررسی شده‌اند.

نوشتار حاضر نشان می‌دهد که:

- عمده‌ی ارتباطات ساخت به صورت سنتی (بیشتر کاغذی) هستند.
- ارتباط ناکافی بین عوامل ساخت، درک نادرست از خواسته‌ها و دستورکارها و ارتباطات کُند و کم‌تأثیر از مهم‌ترین مشکلات ارتباطات کارگاه‌های ساخت هستند.
- عدم وجود ابزارها و زیرساخت ارتباطی و عدم استفاده صحیح از ابزارهای موجود از مهم‌ترین دلایل وجود مشکلات در ارتباطات در کارگاه‌های ساخت هستند.
- ارتباطات الکترونیکی به صرفه‌جویی در هزینه و زمان، بهبود سرعت انتقال اطلاعات، آموزش عوامل، افزایش ایمنی و کاهش ضایعات ساخت کمک می‌کند.
- اولویت‌بندی اهمیت ابزارهای ارتباط الکترونیکی در مطالعه‌ی موردی به ترتیب: دکه‌ی الکترونیکی، برچسب‌های QR Code، دوربین گوشی هوشمند و موقعیت‌یاب گوشی هوشمند بوده است.

پژوهش‌های محدودی، در زمینه‌ی عملکرد ارتباط الکترونیکی در پروژه‌های ساخت صورت گرفته است. نتایج پژوهش حاضر مرتبط با فعالان صنعت ساخت است، که به ساخت خودکار علاقه‌مند هستند. تأیید می‌شود که با ارزیابی عملکرد ارتباط الکترونیکی در یک مطالعه‌ی موردی احتمالاً نمی‌توان نتایج پژوهش حاضر را به همه‌ی کارگاه‌های ساخت تعمیم داد. اما می‌توان تصویری از وضعیت ارتباطات کارگاه‌های ساخت و نحوه‌ی بهبود ارتباطات مذکور ارائه داد. با افزایش تعداد مطالعه‌های موردی می‌توان پشتیبانی قانع‌کننده‌تری برای یافته‌های مطالعه‌ی حاضر به دست آورد. در پژوهش حاضر، فقط به میزان کارایی ابزارهای الکترونیکی پرداخته شده است؛ لذا لازم است در ادامه‌ی پژوهش حاضر، یک پایگاه داده‌ها ایجاد شود، که ابزارهای مختلف الکترونیکی قابلیت ارتباط با پایگاه داده‌ها را داشته باشند و مدیریت اطلاعات در سطوح بالاتری همچون نظام مهندسی، یا شهرداری انجام‌پذیر باشد.

پانوشت‌ها

1. Alsafouri & Ayer
2. Liebel & Knauss
3. Zhang
4. Zhai
5. Dinis
6. Scan
7. Kim
8. Eris
9. Li
10. Xu
11. Tang
12. Puri & Turkan
13. Lietz
14. Galletta
15. Oesterreich & Teuteberg
16. Chen
17. Bensalah
18. Dinis
19. Cohen's kappa coefficient
20. Landis
21. Waltz & Bausell
22. content validity index
23. Woo
24. Wifi
25. code quick response
26. akvarium
27. live location
28. Telegram
29. WhatsApp
30. Ckiosk
31. Zekavat & Bernold
32. template
33. drive
34. desktop
35. form
36. cover
37. consistency ratio
38. random index
39. Saaty
40. MATLAB
41. Nuntasunti and Bernold

منابع (References)

1. Dietrich, P., Eskerod, P., Dalcher, D. and et al. "The dynamics of collaboration in multipartner projects", *Project Management Journal*, **41**(4), pp. 59-78 (2010).
2. Hsu, J.S.C., Shih, S.P., Chiang, J.C. and et al. "The impact of transactive memory systems on IS development teams' coordination, communication, and performance", *International Journal of Project Management*, **30**(3), pp. 329-340 (2012).
3. Cheng, M.-Y., Liang, Y., Wey, Ch.-M. and et al. "Technological enhancement and creation of a computer-aided construction system for the shotcreting robot"?, *Automation in Construction*, **10**(4), pp. 317-326 (2001).
4. Al.safouri, S. and Ayer, S.K. "Review of ICT implementations for facilitating information flow between virtual models and construction project sites", *Automation in Construction*, **86**, pp. 176-189 (2018).
5. Zekavat, P.R., Moon, S. and Bernold, L.E. "Performance of short and long range wireless communication technologies in construction", *Automation in Construction*, **47**, pp. 30-61 (2014).
6. Puri, N. and Turkan, Y. "Bridge construction progress monitoring using lidar and 4D design models", *Automation in Construction*, **109**, pp.61-76 (2020).
7. Mohamad, M., Liebel, G. and Knauss, E. "LoCo CoCo: Automatically constructing coordination and communication networks from model-based systems engineering data", *Information and Software Technology*, **92**, pp. 179-193 (2017).

8. Chen, Y. and Kamara, J.M. "A framework for using mobile computing for information management on construction sites", *Automation in Construction*, **20**(7), pp. 776-788 (2011).

9. Zezulka, F., Marcon, P., Bradac, Z. and et al. "Communication systems for industry 4.0 and the IIoT", *IFAC-PapersOnLine*, **31**, pp. 130-133 (2018).

10. Zhang, X., Li, M., Lim, J.H. and et al. "Large-scale 3D printing by a team of mobile robots", *Automation in Construction*, **95**, pp. 98-106 (2018).

11. Jafari, P., Mohamed, E., Lee, S.H. and et al. "Social network analysis of change management processes for communication assessment", *Automation in Construction*, **118**, pp.92-102 (2020).

12. Harris, F. and McCaffer, R. "Modern construction management", *John Wiley and Sons, India* (2013).

13. Oesterreich, T.D. and Teuteberg, F. "Understanding the implications of digitisation and automation in the context of industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry", *Computers in Industry*, **83**, pp.121-139 (2016).

14. Chen, Q., de Soto, B.G. and Adey, B.T. "Construction automation: research areas, industry concerns and suggestions for advancement", *Automation in Construction*, **94**, pp. 22-38 (2018).

15. Bensalah, M., Elouadi, A. and Mharzi, H. "BIM integration to railway projects-case study", *Contemporary Engineering Sciences, HIKARI Ltd.*, **11**(44), pp. 2181-2199 (2018).

16. Tetik, M., Peltokorpi, A., Seppänen, O. and et al. "Direct digital construction: Technology-based operations management practice for continuous improvement of construction industry performance", *Automation in Construction*, **107**, pp.10-23 (2019).

17. Puri, N. and Turkan, Y. "Bridge construction progress monitoring using lidar and 4D design models", *Automation in Construction*, **109**, pp.61-76 (2020).

18. Zhai, D., Goodrum, P.M., Haas, C.T. and et al. "Relationship between automation and integration of construction information systems and labor productivity", *Journal of Construction Engineering and Management*, **135**(8), pp. 746-753 (2009).

19. Czerniawski, T. and Leite, F. "Automated digital modeling of existing buildings: A review of visual object recognition methods", *Automation in Construction*, **113**, pp.31-50 (2020).

20. Melenbrink, N., Werfel, J. and Menges, A. "On-site autonomous construction robots: Towards unsupervised building", *Automation in Construction*, **19**, pp.12-33 (2020).

21. Zekavat, P. "Performance assessment of agile communication in construction", *Thesis in fulfilment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy* (2020).

22. Zekavat, P.R. and Bernold, L.E. "Assessing the qual.ity of electronical.ly communicated information at construction field level", *International Journal of Engineering and Technology*, **5**(5), pp. 536-540 (2013).

23. Dinis, F.M., Sanhudo, L., Martins, J.P. and et al. "Improving project communication in the architecture, engineering and construction industry: Coupling virtual reality and laser scanning", *Journal of Building Engineering*, **30**, pp.87-96 (2020).

24. Kim, M.-K., Cheng, J.C., Sohn, H. and et al. "A framework for dimensional and surface quality assessment of precast concrete elements using BIM and 3D laser scanning", *Automation in Construction*, **49**(Part B), pp. 225-238 (2015).

25. Eiris, R., Gheisari, M. and Esmaeili, B. "Desktop-based safety training using 360-degree panorama and static virtual real.ity techniques: A comparative experimental study", *Automation in Construction*, **109**, pp.69-83 (2020).

26. Li, X., Yi, W., Chi, H.L. and et al. "A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety", *Automation in Construction*, **86**, pp. 150-162 (2018).

27. Xu, Z., Li, S., Li, H. and et al. "Modeling and problem solving of building defects using point clouds and enhanced case-based reasoning", *Automation in Construction*, **96**, pp. 40-54 (2018).

28. Tang, S., Shelden, D.R., Eastman, C.M. and et al. "BIM assisted building automation system information exchange using BACnet and IFC", *Automation in Construction*, **110**, pp.49-63 (2020).

29. Clevenger, C., Ozbek, M., Mahmoud, H. and et al. "Impacts and benefits of implementing BIM on bridge infrastructure projects (No. MPC 14-272)", *Mountain Plains Consortium*, pp.1-28 (2014).

30. Arashpour, M., Bai, Y., Kamat, V. and et al. "Project production flows in off-site prefabrication: BIM-enabled railway infrastructure", *In ISARC 2018 : The Future of Building Things : Proceedings of the 35th 2018 International Symposium on Automation and Robotics in Construction, International Association for Automation and Robotics in Construction*, Berlin, Germany, pp. 1-8 (2018).

31. Lietz, P. "Research into questionnaire design: A summary of the literature", *International Journal of Market Research*, **32**(2), pp. 249-272 (2010).

32. Galletta, A. "Mastering the semi-structured interview and beyond: from research design to analysis and publication", *New York University Press* (2013).

33. Cochran, W.G. and ling Techniques, S. "Sampling techniques", *Chapter 5* (1963).

34. Kvale, S. "Interviews: An introduction to qualitative research interviewing sage thousand oaks", *CA Google Scholar* (1996).

35. Landis, J.R. and Koch, G.G. "The measurement of observer agreement for categorical data", *Biometrics*, pp. 159-174 (1977).

36. Waltz, C. and Bausell, R.B. "Nursing research: design, statistics and computer analysis", *Edition 1, Philadelphia*, FA Davis Co. (1983).

37. Woo, S., Jeong, S., Mok, E. and et al. "Application of WiFi-based indoor positioning system for labor tracking at construction sites: A case study in guangzhou MTR?" *Automation in Construction*, **20**(1), pp. 3-13 (2011).

38. Saaty, T.L. "An exposition of the AHP in reply to the paper remarks on the analytic hierarchy process", *Management Science*, **36**(3), pp. 259-268 (1990).

39. Nuntasunti, S. and Bernold, L.E. "Experimental assessment of wireless construction technologies", *Journal of Construction Engineering and Management*, **132**(9), pp. 1009-1018 (2006).

40. Al. Hattab, M. and Hamzeh, F. "Information flow comparison between traditional and BIM-based projects in the design phase", *In Proceedings for the 21st Annual Conference of the International Group for Lean Construction*, pp. 761-770 (June, 2013).

41. Razkenari, M., Fenner, A., Shojaei, A. and et al. "Perceptions of offsite construction in the United States: An investigation of current practices", *Journal of Building Engineering*,**29**, pp.38-51 (2020).