

فصلنامه علمی پژوهشی در ایمنی، سلامت و محیط زیست

تحلیل ساختاری سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند تبریز مبتنی بر اینترنت اشیا

مسعود حق لسان^۱

۱- نویسنده مسئول: دانشیار گروه معماری و شهرسازی، واحد ایلخچی، دانشگاه آزاد اسلامی، ایلخچی، ایران

چکیده	مشخصات مقاله
با گسترش روزافزون فناوری‌های نوین و رویکرد هوشمند سازی در سازمان‌ها، تضمین ایمنی در محیط‌های اداری مبتنی بر اینترنت اشیا به یکی از چالش‌های اساسی تبدیل شده است. هدف اصلی این پژوهش، تحلیل ساختاری سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند شهر تبریز باهدف شناسایی روابط متقابل و اولویت‌بندی عوامل مؤثر است. این پژوهش از نظر هدف کاربردی و از نظر ماهیت، توصیفی-تحلیلی است. جامعه آماری شامل ۲۵ نفر از خبرگان و متخصصان حوزه‌های مهندسی برق و کامپیوتر، مدیریت ریسک، ایمنی و بهداشت حرفه‌ای و آینده‌پژوهی بود که به روش نمونه‌گیری هدفمند انتخاب شدند. گردآوری داده‌ها در دو مرحله انجام پذیرفت؛ ابتدا با مرور ادبیات ۱۶ مؤلفه استخراج و سپس با استفاده از تکنیک تحلیل ساختاری و نرم‌افزار میک‌مک، روابط تأثیرگذاری و تأثیرپذیری میان مؤلفه‌ها بر اساس نظرات خبرگان سنجیده شد یافته‌ها نشان داد مؤلفه «کاهش حوادث فیزیکی و جانی» با تأثیرگذاری مستقیم ۸۱۷ و غیرمستقیم ۸۱۱ بیشترین سهم را دارد. «حمایت مدیریتی» و «کنترل دسترسی» با تأثیر ۷۶۹ در رتبه‌های بعدی قرار گرفتند. مجموع تأثیرگذاری و تأثیرپذیری کل مؤلفه‌ها ۴۱۶ است؛ «زیرساخت‌های فناورانه» با تأثیرپذیری ۱۱۸ بیشترین و «فرهنگ سازمانی» با تأثیرگذاری ۹۵ کمترین درجه را دارند. بر اساس نتایج، برای ارتقای ایمنی در ادارات هوشمند، لازم است مدیران و سیاست‌گذاران با تمرکز بر عوامل محرک و راهبردی، به‌ویژه تقویت زیرساخت‌های فنی و حمایت سازمانی، زمینه را برای کاهش حوادث و بهبود عملکرد ایمنی فراهم آورند.	تاریخچه مقاله: نوع مقاله: پژوهشی دریافت: ۱۴۰۵/۰۴/۱۸ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۱۰ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۱۷ انتشار آنلاین: ۱۴۰۵/۰۷/۲۱ نویسنده مسئول: ma.haghlesan@iau.ac.ir
	کلید واژه‌ها: تحلیل ساختاری؛ ایمنی؛ محیط‌های اداری؛ هوشمند؛ اینترنت اشیا.



© نویسندگان

ناشر: دانشگاه جامع امام حسین (ع)
این مقاله تحت لایسنس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License- CC BY) در دسترس شما قرار گرفته است.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر فناوری اینترنت اشیا^۱ به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موج‌های تحول دیجیتال در حوزه‌های مختلف از جمله ساختمان‌های هوشمند، محیط‌های اداری هوشمند و سامانه‌های مدیریت ایمنی ظهور یافته است [۱]. مفهوم اینترنت اشیا به شبکه‌ای از دستگاه‌های هوشمند و حسگرهایی اطلاق می‌شود که قادرند بدون دخالت انسانی، داده‌های محیطی را جمع‌آوری، تبادل و تحلیل کنند و در نتیجه فرآیندهای تصمیم‌گیری و اتوماسیون را بهینه‌سازی کنند [۱، ۲]. در محیط‌های اداری هوشمند، این فناوری فرصت‌های بی‌سابقه‌ای در جهت بهبود سطح ایمنی کارکنان، پیشگیری از حوادث داخلی، و مدیریت بهینه تهدیدات فیزیکی و سایبری فراهم می‌آورد.

ایجاد چنین محیط‌های هوشمند به‌واسطه ترکیب سنسورها، عملگرها، شبکه‌های ارتباطی، ذخیره‌سازی ابری و پلتفرم‌های تحلیلی امکان‌پذیر می‌شود؛ به‌گونه‌ای که اطلاعات محیطی بلادرنگ می‌تواند برای پیش‌بینی خطرات و اتخاذ راهکارهای پیشگیرانه مورد استفاده قرار گیرد [۳]. با این حال، افزایش اتصال بین دستگاه‌ها و سیستم‌ها همین‌طور چالش‌های جدیدی را در حوزه امنیت و ایمنی به وجود آورده است. آسیب‌پذیری‌ها در لایه‌های مختلف اینترنت اشیا می‌توانند منجر به نقض حریم خصوصی، نفوذ غیرمجاز، و یا حتی تهدید جدی برای سلامت و ایمنی کاربران شوند [۴].

به همین دلیل، پرداختن به تحلیل ساختاری سطح ایمنی در چنین محیط‌هایی نه تنها از نگاه فناوری بلکه از منظر مدیریت ریسک، سیاست‌گذاری و طراحی سیستم‌های پایدار ضروری است. تحلیل ساختاری به‌عنوان یک رویکرد سیستماتیک، به بررسی روابط میان عناصر کلیدی سیستم (مانند سنسورها، پروتکل‌های ارتباطی، معماری نرم‌افزاری و کاربران) می‌پردازد تا اثرات متقابل آن‌ها بر سطح ایمنی محیط مشخص گردد [۴]. با وجود پتانسیل‌های بالای اینترنت اشیا در پایش ایمنی محیط کار، مطالعات داخلی موجود بیشتر بر جنبه‌های مدیریت انرژی یا امنیت اطلاعات در ساختمان‌های

هوشمند متمرکز بوده‌اند و به تحلیل ساختاری ایمنی به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین لایه‌های پایداری، توجه کمتری شده است. پژوهش‌های مرتبط با مدیریت ریسک در سازمان‌های شهر تبریز نیز عمدتاً بر مؤلفه‌هایی چون ایمنی داده‌ها، دوربین‌های هوشمند و مدیریت بحران متمرکز بوده و به پایش وضعیت اسکلت و اجزای سازنده ساختمان به‌عنوان بستر فیزیکی این فعالیت‌ها کمتر پرداخته‌اند. از سوی دیگر، الگوهای موجود برای هوشمند سازی ساختمان‌های اداری، اگرچه به مؤلفه ایمنی و امنیت به‌عنوان یکی از اولویت‌ها اشاره دارند، اما کمتر به ابعاد فنی و ساختاری آن و نحوه پیاده‌سازی سیستمی مبتنی بر اینترنت اشیا برای پایش سلامت سازه پرداخته‌اند. شکاف دانشی موجود در زمینه به‌کارگیری سیستماتیک اینترنت اشیا برای پایش سلامت ساختاری در محیط‌های اداری هوشمند، به‌ویژه با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و زمین‌شناختی خاص شهر تبریز (مانند زلزله‌خیزی منطقه)، ضرورت انجام تحقیقی جامع در این حوزه را نمایان می‌سازد. این مقاله باهدف پر کردن این خلأ تحقیقاتی، به دنبال تحلیل ساختاری سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند شهر تبریز با بهره‌گیری از اینترنت اشیا است. در این راستا سؤال اصلی پژوهش به شرح زیر می‌باشد.

چگونه می‌توان با بهره‌گیری از اینترنت اشیا، سطح ایمنی محیط کار در ساختمان‌های اداری هوشمند شهر تبریز را تحلیل و ارتقاء داد؟

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

پیش از هر چیز باید اینترنت اشیا به‌عنوان زیربنای فناوری محیط‌های هوشمند تعریف شود. اینترنت اشیا به شبکه‌ای از دستگاه‌های متصل به اینترنت گفته می‌شود که با استفاده از حسگرها و ابزارهای تعبیه‌شده داده‌های محیطی را در زمان واقعی جمع‌آوری، پردازش و تبادل می‌کنند [۱]. این ویژگی باعث می‌شود تا سیستم‌های اداری هوشمند قادر باشند وضعیت داخلی ساختمان، رفتار کاربران، شرایط تهدیدآمیز و نقایص ایمنی را به‌صورت مستمر پایش کنند و در نتیجه واکنش‌های سریع و خودکار در برابر حوادث احتمالی داشته باشند [۲]. در جدول شماره ۱ تعریف اینترنت اشیا ارائه می‌شود.

¹ Internet of Things – IoT

جدول ۱. تعریف اینترنت اشیا

ردیف	تعریف	منبع
۱	اینترنت اشیا آینده‌ای را متصور می‌شود که در آن موجودیت‌های دیجیتال و فیزیکی می‌توانند با استفاده از فناوری‌های اطلاعات و ارتباطات مناسب، به یکدیگر متصل شوند تا طبقه جدیدی از کاربردها و خدمات را امکان‌پذیر سازند.	[5]
۲	پارادایم اینترنت اشیا نتیجه همگرایی سه دیدگاه اصلی است: دیدگاه اشیاءمحور یکپارچه‌سازی اشیاء عمومی با دیدگاه اینترنت‌محور استفاده از پروتکل اینترنت برای اتصال اشیاء هوشمند با دیدگاه معنایی بهره‌گیری از فناوری‌های معنایی برای سازمان‌دهی اطلاعات	[6]
۳	اینترنت اشیا به‌عنوان پارادایمی تعریف می‌شود که در آن اشیاء مجهز به حسگرها و پردازنده‌ها با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند تا به هدفی معنادار خدمت کنند	[7]

بر تجمیع راهکارهای فناوری و مدیریت ریسک تأکید دارند تا این دو حوزه را به‌صورت هم‌زمان پوشش دهند [۳].

تحقیقات اخیر نشان داده‌اند که برای طراحی سیستم‌های ایمنی مؤثر در تحلیل ساختاری، باید هم تکنیک‌های امنیت سایبری (مانند رمزگذاری، احراز هویت و تشخیص نفوذ) و هم سنسورهای فیزیکی و مدل‌های هشدار حوادث در نظر گرفته شوند [۴]. علاوه بر این، تحلیل ساختاری می‌تواند به شناسایی مؤلفه‌های بحرانی سیستم، روابط علت و معلولی بین بخش‌های مختلف، و نقاط ضعف بالقوه کمک کند تا راهکارهای پیشگیرانه طراحی شوند. به‌طور مثال، سنسورهای دود می‌توانند با سیستم کنترل دسترسی و سرورهای مدیریت داده یکپارچه شوند تا در صورت شناسایی حریق، دسترسی به منطقه خطر را به‌طور خودکار محدود کنند، که این خود یک‌لایه ایمنی فیزیکی و امنیتی فراهم می‌آورد [۱].

یکی از ابعاد کلیدی در تحلیل ساختاری سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند، توجه به مفهوم مدیریت ریسک سیستماتیک و تاب‌آوری در برابر تهدیدات چندلایه است. معماری اینترنت اشیا به دلیل ماهیت توزیع‌شده، ناهمگن و چندلایه خود در معرض طیف وسیعی از آسیب‌پذیری‌های فنی و سایبری قرار دارد و ارزیابی ریسک باید در تمامی لایه‌های ادراکی، شبکه و کاربردی صورت گیرد [۸]. در چنین چارچوبی، تحلیل ساختاری به شناسایی گره‌های بحرانی سیستم، وابستگی‌های متقابل و نقاط شکست احتمالی کمک می‌کند و امکان اولویت‌بندی اقدامات پیشگیرانه را فراهم می‌سازد. همچنین تضمین محرمانگی، یکپارچگی و دسترس‌پذیری داده‌ها در سیستم‌های اینترنت اشیا پیش شرط ارتقای اعتماد سازمانی و افزایش سطح ایمنی ادراک‌شده کارکنان محسوب می‌شود [۹]. بنابراین، ترکیب رویکردهای مهندسی ایمنی با مدل‌های ارزیابی ریسک دیجیتال، چارچوب نظری مهمی برای تحلیل محیط‌های اداری هوشمند ایجاد می‌کند.

گسترش سامانه‌های اینترنت اشیا در ساختمان‌های اداری منجر به تولید حجم گسترده‌ای از داده‌های محیطی می‌شود که تحلیل آن‌ها می‌تواند در پیشگیری از حوادث و مدیریت بحران نقش مؤثری ایفا کند. ارزش واقعی اینترنت اشیا نه صرفاً در اتصال دستگاه‌ها، بلکه در قابلیت

معماری رایج اینترنت اشیا شامل چندین لایه است: (۱) لایه حسگر-دستگاه، (۲) لایه شبکه یا دروازه‌های ارتباطی، (۳) لایه پردازش و ذخیره‌سازی داده و (۴) لایه کاربرد [۴]. هر یک از این لایه‌ها نه تنها نقش خود را در جمع‌آوری و پردازش داده ایفا می‌کنند، بلکه می‌توانند در سطح کلی ایمنی و امنیت سیستم تأثیرگذار باشند. به‌عنوان مثال، ضعف در لایه شبکه ممکن است باعث حملات سایبری شود که منجر به اختلال در سیستم هشدار آتش‌سوزی یا سیستم کنترل دسترسی گردد [۴]. میان اصطلاحات ایمنی^۱ و امنیت^۲ تفاوت مفهومی وجود دارد، اگرچه در عمل به‌هم پیوسته‌اند. ایمنی به حفاظت از انسان‌ها و محیط در برابر خطرات فیزیکی اشاره دارد، در حالی که امنیت بیشتر به حفاظت از داده‌ها، سیستم‌ها و اطلاعات در برابر حملات سایبری می‌پردازد [۲]. در محیط‌های اداری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا، تهدیدات ایمنی می‌توانند از خطاهای سخت‌افزاری، حریق، نفوذ غیرمجاز فیزیکی، تا حملات سایبری بر لایه‌های اینترنت اشیا متغیر باشند. به همین دلیل، مطالعات اخیر

^۱ Safety^۲ Security

پیشنهادی آن‌ها ۷۸,۳ درصد از واریانس تحقق زندگی هوشمند را تبیین کرد [۱۴].

لیو^۲ و همکاران (۲۰۲۴) در پژوهشی با عنوان «تأثیر ویژگی‌های فناوری ساخت هوشمند بر عملکرد ایمنی پروژه‌های ساختمانی: یک تحلیل تجربی مبتنی بر مدل‌سازی معادلات ساختاری» به بررسی تأثیر ویژگی‌های فناوری‌های ساخت هوشمند بر عملکرد ایمنی پرداختند. روش تحقیق آن‌ها با شناسایی پنج ویژگی اصلی (یکپارچگی، اتوماسیون، ابتکار عمل، اشتراک‌پذیری و پایداری) و با تلفیق مدل پذیرش فناوری و مدل تناسب وظیفه-فناوری، یک مسیر نظری از «ویژگی‌های فناوری-رفتار ادراکی-قصد رفتاری-عملکرد ایمنی» ارائه و یک مدل معادلات ساختاری توسعه دادند. نتایج نشان داد این ویژگی‌ها تأثیر مستقیم و معناداری بر عملکرد ایمنی دارند (با اثر مستقیم ۰,۶۱) و همچنین از طریق متغیرهای میانجی مانند سهولت استفاده درک شده، سودمندی درک شده، قصد استفاده و رفتار استفاده، به‌طور غیرمستقیم بر عملکرد ایمنی تأثیر مثبت می‌گذارند [۱۵].

وقار^۳ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان «ارزیابی موانع پذیرش اینترنت اشیا برای مدیریت ایمنی پروژه‌های کوچک ساختمانی در مالزی: رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری» به شناسایی موانع حیاتی پیاده‌سازی اینترنت اشیا در پروژه‌های کوچک ساختمانی مالزی پرداختند. روش تحقیق آن‌ها یک طرح ترکیبی (کمی و کیفی) بود. ابتدا موانع از ادبیات استخراج و با نظر متخصصان غربال شد، سپس یک نظرسنجی مقدماتی با تحلیل عاملی اکتشافی برای شناسایی موانع معنادار انجام دادند. در ادامه، یک نظرسنجی اصلی انجام و با استفاده از مدل‌سازی معادلات ساختاری، مدلی شامل ۱۶ مانع نهایی در قالب ۵ سازه تکوینی توسعه یافت. یافته‌ها نشان داد که بحرانی‌ترین موانع مربوط به پایگاه‌های داده و فناوری هستند، درحالی‌که موانع مدیریتی کمترین تأثیر را دارند [۱۶].

مایتی^۴ و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی با عنوان «یک سنسور میز حفظ‌کننده حریم خصوصی برای نظارت بر وقفه‌های حرکتی سالم در محیط‌های اداری هوشمند

تحلیل داده‌های بلادرنگ و استخراج الگوهای پیش‌بینی‌کننده نهفته است» [۱۰]. یکپارچه‌سازی الگوریتم‌های یادگیری ماشین با شبکه‌های حسگر امکان شناسایی رفتارهای غیرعادی، نقص‌های فنی و تهدیدات بالقوه را پیش از وقوع بحران فراهم می‌کند [۱۱]. درنتیجه، تحلیل ساختاری سطح ایمنی باید علاوه بر مؤلفه‌های فیزیکی و شبکه‌ای، ظرفیت تحلیلی سامانه‌های داده محور را نیز به‌عنوان یک متغیر کلیدی در مدل مفهومی لحاظ کند.

توسعه محیط‌های اداری هوشمند بدون چارچوب‌های استاندارد امنیتی می‌تواند منجر به افزایش آسیب‌پذیری‌های سیستمی شود. تنوع پروتکل‌ها و معماری‌های ارتباطی در اینترنت اشیا چالش‌هایی در حوزه تعامل‌پذیری و امنیت ایجاد می‌کند که نیازمند طراحی ساختاری منسجم است [۱۲]. علاوه بر ابعاد فنی، مسائل حقوقی و مقرراتی مرتبط با حفاظت از داده‌ها و حریم خصوصی نیز بخش جدایی‌ناپذیر از ایمنی در محیط‌های متصل محسوب می‌شوند [۱۳]. بنابراین، تحلیل ساختاری سطح ایمنی باید در بستری چندبعدی شامل فناوری، مدیریت سازمانی، سیاست‌گذاری و فرهنگ کاربری انجام شود تا بتوان به مدلی جامع برای محیط‌های اداری هوشمند دست یافت.

غانسا^۱ و همکاران (۲۰۲۲) در پژوهشی با عنوان «توسعه یک مدل ادراک کاربر برای زندگی هوشمند: رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری با حداقل مربعات جزئی» به این نتیجه رسیدند که علیرغم ترویج زندگی هوشمند توسط سیاست‌گذاران و متخصصان، توجه کمی به درک دیدگاه کاربران نهایی شده است. روش تحقیق این مطالعه، یک روش کمی متوالی اکتشافی بود. آن‌ها با مرور جامع ادبیات، یک مدل ادراک کاربر پیشنهاد کرده و با استفاده از نمونه موردی یک خوابگاه دانشجویی هوشمند، ۲۲۱ داده معتبر از طریق پرسشنامه جمع‌آوری کردند. تحلیل داده‌ها با رویکرد مدل‌سازی معادلات ساختاری با حداقل مربعات جزئی نشان داد که چهار بعد معنادار شامل شرایط سیستم-به-کاربر، شرایط انطباق سیستم-با-سیستم، شرایط مرتبط با ایمنی و خدمات و شرایط مرتبط با ردیابی و نظارت، در تحقق زندگی هوشمند از دیدگاه کاربران نقش کلیدی دارند. مدل

² Liu

³ Waqar

⁴ Maiti

¹ Ghansah

انرژی در حدود ۲۳٪ در یک سناریوی واقعی شده است [۱۸].

آکایا^۴ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان «تکنیک‌های پایش تعداد occupants مبتنی بر اینترنت اشیا برای ساختمان‌های هوشمند با بهره‌وری انرژی» به بررسی روش‌های موجود در زمینه پایش تعداد سرنشینان و تکنیک‌های تلفیق داده‌های چندحالتی برای ساختمان‌های تجاری هوشمند پرداختند. روش تحقیق آن‌ها از نوع مروری و باهدف ایجاد چارچوبی برای تحقیقات آینده بود. آن‌ها بر استفاده از زیرساخت‌های موجود در ساختمان (بدون نصب اپلیکیشن جدید) و توسعه تکنیک‌های مؤثر تلفیق داده از منابع متعدد مانند سنسورهای دما، دوربین‌های نظارتی و برچسب‌های شناسایی با امواج رادیویی برای بهبود دقت پایش تأکید داشتند [۱۹].

پلاگراس^۵ و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی با عنوان «جمع‌آوری، پردازش و تحلیل کارآمد داده‌های بزرگ سنسوری مبتنی بر اینترنت اشیا در ساختمان‌های هوشمند» به بررسی سیستم‌های جدید برای جمع‌آوری و مدیریت داده‌های سنسور در یک ساختمان هوشمند که در محیط اینترنت اشیا عمل می‌کند، پرداختند. روش تحقیق آن‌ها بر استفاده از یک سرور ابری به‌عنوان فناوری پایه برای سیستم مدیریت سنسور پیشنهادی استوار بود که داده‌های تولیدشده توسط هر سنسور را جمع‌آوری می‌کند. این داده‌ها به‌راحتی توسط یک دستگاه راه دور (موبایل) که در شبکه مبتنی بر فناوری اینترنت اشیا کار می‌کند، قابل مدیریت و کنترل از راه دور هستند. نتیجه تحقیق آن‌ها نشان داد که راه‌حل‌های پیشنهادی برای جمع‌آوری و مدیریت داده‌های سنسور در یک ساختمان هوشمند می‌تواند به ساختمانی با بهره‌وری انرژی (ساختمان سبز) منجر شود [۲۰].

زنجرچی و همکاران (۱۴۰۴) در پژوهشی باهدف «دستیابی به عملکرد پایدار: کاربرد قابلیت اینترنت اشیا در انجام اقدامات و فرآیندهای محیط‌زیستی در شرکت‌های کوچک و متوسط»، به بررسی نقش فناوری اینترنت اشیا (IoT) در ارتقای پایداری عملکرد این شرکت‌ها پرداختند. این مطالعه با رویکرد کیفی و استفاده

با اینترنت اشیا» به معرفی یک رویکرد جدید سنسوری برای راه‌حل‌های اینترنت اشیا در محیط کار می‌پردازد که حریم خصوصی افراد را حفظ می‌کند. روش تحقیق آن‌ها شامل طراحی یک سنسور جدید است که به‌طور خودکار حرکات انسان در دفتر کار را برای نظارت بر رفتار کم‌حرکتی تشخیص داده و ثبت می‌کند. این سنسور با ارائه بازخورد مداوم درباره رفتارهای میز کار، بخشی از یک راه‌حل سلامت الکترونیک است که به کارکنان برای وقفه‌های حرکتی سالم هشدار می‌دهد. تحلیل داده‌های این سنسور با اندازه‌گیری دو پارامتر فاصله فیزیکی در زمان واقعی و استفاده از تفاوت آن‌ها برای تعیین کنش‌های انسانی، امکان جمع‌آوری داده‌های دقیق و به‌موقع را نسبت به روش‌های خود گزارشی فراهم می‌کند

الحاجری^۱ و همکاران (۲۰۲۱) در پژوهشی با عنوان «مدل دفتر کار هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا» به ارائه یک مدل هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا برای دفتر کار پرداختند. روش تحقیق آن‌ها مبتنی بر شبیه‌سازی با نرم‌افزار سیمکو پکت ترایسر^۲ بود که شامل ویژگی‌ها و عملکردهای مختلف اینترنت اشیا است. این مدل با تمرکز بر سه جنبه شامل کنترل از راه دور تمام دستگاه‌های دفتر کار با تلفن هوشمند، افزایش امنیت و افزایش ایمنی، طراحی شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که پیاده‌سازی دفاتر کار هوشمند می‌تواند یک محیط کار کارآمد را فراهم آورد [۱۷].

مورنو^۳ و همکاران (۲۰۱۴) در پژوهشی با عنوان «چگونه می‌توانیم بهره‌وری انرژی را در ساختمان‌های هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا بهبود بخشیم؟» به تحلیل پارامترهای اصلی برای گنجاندن در مدیریت انرژی ساختمان پرداختند. روش تحقیق آن‌ها شامل انتخاب سه ساختمان هوشمند مرجع با زمینه‌های مختلف بود که پلتفرم اتوماسیون آن‌ها برای پایش انرژی مستقر شده بود. آن‌ها آزمایش‌هایی برای نشان دادن تأثیر پارامترهای شناسایی شده بر مصرف انرژی انجام داده و سپس در دو ساختمان، استراتژی‌های کنترلی متفاوتی برای صرفه‌جویی در انرژی الکتریکی اعمال کردند. ارزیابی نتایج نشان داد که مراحل اولیه این رویکرد منجر به صرفه‌جویی

1 Alhajri

2 Cisco Packet Tracer

3 Moreno

4 Akkaya
5 Plageras

«مدل مفهومی اسپیرال» را به‌عنوان الگوی نهایی شهر هوشمند ارائه کرد [۲۳].

آقای زاده و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان «واکاوی اثرات تمرکز مکان‌گزینی ادارات در محدوده‌های متداخل مناطق سازمان‌های خدمات رسان شهری»، به بررسی پدیده قطبی‌شان کاربری‌های اداری و چالش‌های ناشی از تداخل منطقه سازمان‌های خدماتی (شهرداری، برق، گاز، آب، مخابرات) در شهر رشت پرداختند. این مطالعه با بهره‌گیری از روش‌های اسنادی، پیمایشی و تحلیل‌های مکانی در محیط GIS و با استفاده از مدل‌های AHP و آنتروپی، نشان داد که محدوده‌های گلسار، استادسرا و بلوار حافظ به دلیل تمرکز مراکز اداری، از اهمیت بالایی برخوردارند. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که کاربری‌های خدماتی و شهرداری بیشترین تمرکز را داشته، درحالی‌که مجموعه‌هایی نظیر استانداری و دادگستری کمترین میزان تمرکز را در مناطق متداخل شهری دارا می‌باشند [۲۴].

اگرچه پژوهش‌های متعددی در سطح جهانی در زمینه دفاتر هوشمند و ایمنی انجام شده است، اما مطالعات متمرکز بر شرایط فرهنگی، سازمانی و کالبدی شهر تبریز بسیار محدود است و هیچ‌یک از مطالعات داخلی ارائه شده، به‌طور خاص به بررسی پیوند میان «هوشمندی» و «ایمنی» در ادارات شهر تبریز نپرداخته‌اند. همچنین، بررسی مقالات نشان می‌دهد که پژوهش‌ها یا صرفاً بر جنبه‌های فنی و سخت‌افزاری اینترنت اشیا تمرکز داشته‌اند و یا بر عوامل رفتاری و سازمانی ایمنی تأکید کرده‌اند و هیچ‌یک از این مطالعات مدلی یکپارچه ارائه نکرده‌اند که در آن فناوری‌های نوین IoT به‌عنوان زیرساخت و عوامل رفتاری-سازمانی به‌عنوان بالا ساختار، به‌طور هم‌زمان در تبیین «سطح ایمنی» محیط‌های اداری مورد تحلیل قرار گیرند. از سوی دیگر، در میان مطالعات مرور شده، اگرچه برخی از روش‌های مدل‌سازی معادلات ساختاری SEM استفاده کرده‌اند، اما این مدل‌ها اغلب بر «پذیرش فناوری» یا «موانع پیاده‌سازی» متمرکز بوده‌اند و خلأ پژوهشی موجود در عدم کاربرد روش تحلیل ساختاری برای سنجش «سطح ایمنی» به‌عنوان متغیر وابسته اصلی، تحت تأثیر مؤلفه‌های هوشمند سازی است. علاوه بر این، پژوهش‌های فنی موجود بیشتر بر کارکرد

از روش‌های دلفی فازی و ماتریس خانه کیفیت فازی، بر روی مدیران شرکت‌های کوچک و متوسط در پنج استان منتخب کشور انجام شد. نتایج نشان داد که قابلیت‌های اینترنت اشیا بیشترین تأثیر را بر «فرآیندهای بهینه»، «ارزیابی عملکرد» و «تعهد به استانداردهای محیط‌زیستی» دارد. همچنین مشخص گردید که انجام اقدامات محیط‌زیستی مبتنی بر این فناوری، به‌طور مستقیم بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، مصرف انرژی و منابع و همچنین افزایش رضایت مشتریان، کیفیت محصولات و درآمد شرکت‌ها مؤثر است [۲۱].

برزگر و همکاران ۱۴۰۴ در پژوهشی باهدف «تحلیل عوامل مؤثر بر پذیرش رفتارهای ایمن در محیط کار و پیامدهای آن بر کاهش خطای انسانی»، به بررسی رابطه بین متغیرهای مدیریتی و رفتار ایمن در محیط‌های صنعتی و شهری پرداختند. این مطالعه با روش ترکیبی (کمی و کیفی) و با استفاده از مدل یابی معادلات ساختاری روی ۲۶۵ نفر از کارکنان نشان داد که «فرهنگ سازمانی»، «حمایت مدیریتی» و «آموزش مستمر» تأثیر معناداری بر ارتقای رفتار ایمن شغلی دارند. همچنین نتایج حاکی از آن بود که رفتار ایمن نقش مستقیمی در کاهش خطای انسانی دارد. در بخش کیفی نیز مصاحبه با مدیران، موانعی همچون فشار کاری و کمبود منابع ایمنی را به‌عنوان چالش‌های اصلی شناسایی کرد که لزوم توجه به سیاست‌های حمایتی و آموزشی را برای بهبود ایمنی محیط کار برجسته می‌سازد [۲۲].

حجاریان (۱۴۰۳) در پژوهشی باهدف «تبیین الگوی شهر هوشمند با استفاده از روش فرا ترکیب»، به بررسی مؤلفه‌های مؤثر بر شکل‌گیری شهرهای هوشمند با تأکید بر اینترنت اشیا پرداخت. این پژوهش که به روش کیفی و با رویکرد تک‌روشی موازی انجام شده، از تکنیک‌های فراترکیب و تحلیل محتوا جهت تحلیل داده‌ها بهره برده است. نتایج حاصل از تحلیل اسنادی و مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با استفاده از نرم‌افزار NVivo، منجر به شناسایی ۵ مؤلفه اصلی شامل «حکروایی هوشمند»، «شهروند هوشمند»، «پویایی هوشمند»، «محیط هوشمند» و «اقتصاد هوشمند» گردید. درنهایت، پژوهشگر با استخراج ۱۷ کد محوری از میان ۷۵۷ ارجاع اولیه،

جدول ۲. مؤلفه‌ها و زیر مؤلفه‌های پژوهش

کد شناسه	مؤلفه اصلی	زیر مؤلفه‌ها	کد شناسه	ارتباط با خلأ پژوهشی
		حمایت مدیریتی در پیاده‌سازی IoT	OCS3	رفتاری (مانند برزگر و همکاران) را پر می‌کند و نقش سازمان در ترویج ایمنی هوشمند را بررسی می‌نماید.
		قوانین و مقررات استانداردسازی	OCS4	
SPI	شاخص‌های عملکرد ایمنی	کاهش حوادث فیزیکی و جانی	SPI1	متغیر وابسته و خروجی مدل: این مؤلفه که در مطالعات قبلی به‌طور جامع به‌عنوان نتیجه‌ی ساختاری موردبررسی قرار نگرفته بود، اثرات مستقیم و غیرمستقیم هوشمندسازی بر ایمنی واقعی در ادارات تبریز را می‌سنجد.
		کاهش خطای انسانی	SPI2	
		سرعت واکنش و مدیریت بحران	SPI3	
		رضایت شغلی و آسایش محیطی	SPI4	

۳- روش تحقیق

پژوهش حاضر از نظر هدف، کاربردی است و با توجه به ماهیت موضوع و شناسایی روابط متقابل میان متغیرها، در زمره پژوهش‌های توصیفی-تحلیلی قرار می‌گیرد. جامعه آماری این پژوهش شامل خبرگان و متخصصان حوزه‌های مهندسی برق و کامپیوتر (گرایش شبکه و اینترنت اشیا)، مدیریت ریسک، ایمنی و بهداشت حرفه‌ای HSE و آینده‌پژوهی در شهر تبریز بوده است. روش نمونه‌گیری به‌صورت هدفمند (غیرتصادفی) انجام شد و در نهایت، ۲۵ نفر از افراد واجد شرایط شامل ۱۰ نفر از اساتید دکتری تخصصی در رشته‌های مهندسی برق/کامپیوتر، مدیریت ریسک و آینده‌پژوهی، ۸ نفر از مدیران و کارشناسان ارشد HSE و مدیریت ریسک در سازمان‌های خدمات‌رسان و مناطق ده‌گانه شهر تبریز، و ۷ نفر از پژوهشگران و مهندسان فعال در حوزه پیاده‌سازی سیستم‌های IoT در ادارات هوشمند به‌عنوان نمونه نهایی انتخاب شدند. گردآوری داده‌ها در دو مرحله اصلی انجام

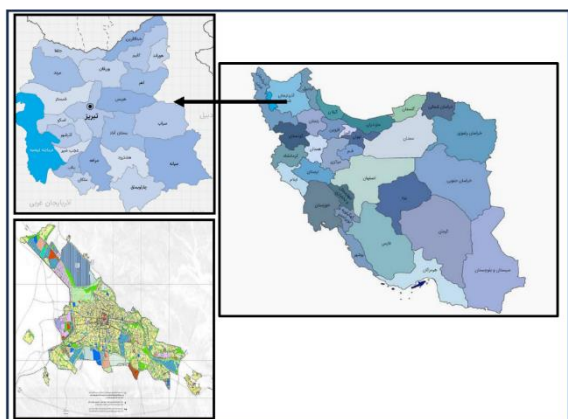
سیستم‌ها تمرکز دارند تا ادراک کاربران از امنیت و ایمنی و با توجه به اهمیت دیدگاه کاربران، پژوهش‌های کمتری وجود دارد که ادراک کارکنان ادارات هوشمند تبریز را از تأثیر اینترنت اشیا بر ایمنی شغلی و فیزیکی خود موردسنجش قرار دهد؛ بنابراین، پژوهش حاضر باهدف پر کردن این شکاف‌ها و ارائه مدل ساختاری سطح ایمنی مبتنی بر اینترنت اشیا در محیط‌های اداری تبریز، نوآوری لازم را دارا هست. بر این اساس مؤلفه‌ها و زیر مؤلفه‌های پژوهش در جدول شماره ۲ ارائه می‌شود.

جدول ۲. مؤلفه‌ها و زیر مؤلفه‌های پژوهش

کد شناسه	مؤلفه اصلی	زیر مؤلفه‌ها	کد شناسه	ارتباط با خلأ پژوهشی
STI	زیرساخت‌های فناوریانه هوشمند	سیستم‌های نظارت و پایش هوشمند	STI1	پوشش جنبه فنی: این مؤلفه به خلأ موجود در مطالعات قبلی (مانند مایتنی و مورنو) پاسخ می‌دهد که بیشتر بر سخت‌افزار تمرکز داشتند و آن را در قالب یک مدل ساختاری برای ایمنی اداری تبریز بومی‌سازی می‌کند.
		کنترل دسترسی و امنیت فیزیکی	STI2	
		مدیریت هوشمند تجهیزات و ایمنی محیط	STI3	
		یکپارچگی و اتصال‌پذیری شبکه	STI4	
BPF	عوامل رفتاری و ادراکی کارکنان	آگاهی و سواد دیجیتال ایمنی	BPF1	تمرکز بر دیدگاه کاربر: با توجه به‌نقد مطالعه غانسا مبنی بر عدم توجه به دیدگاه کاربران نهایی، این مؤلفه ادراک کارکنان ادارات تبریز را از فناوری‌های ایمن‌ساز وارد مدل می‌کند.
		پذیرش فناوری‌های ایمنی توسط کاربر	BPF2	
		حس امنیت روانی و حریم خصوصی	BPF3	
		مشارکت در گزارش دهی مخاطرات	BPF4	
OCS	فرهنگ و حمایت سازمانی	فرهنگ ایمنی مبتنی بر فناوری	OCS1	یکپارچه‌سازی فناوری و رفتار: این مؤلفه شکاف بین مطالعات صرفاً فنی و مطالعات
		آموزش و توانمندسازی مستمر	OCS2	

۳-۱- محدوده مطالعاتی

شهر تبریز با وسعتی حدود ۲۵۰۵۶ هکتار در ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۸ دقیقه عرض شمالی و ۴۶ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۲۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. متوسط ارتفاع شهر حدود ۱۴۶۰ متر از سطح دریاهای آزاد برآورد شده است. محدوده جغرافیایی اجرای این پژوهش، شهر تبریز است. به‌طور مشخص، این تحقیق بر روی محیط‌های اداری هوشمند مستقر در مناطق ده‌گانه شهرداری تبریز و سازمان‌های خدمات رسان این شهر متمرکز است. جامعه آماری مورد مطالعه نیز شامل مدیران، کارشناسان و اساتید متخصصی است که در این حوزه در شهر تبریز فعالیت می‌کنند. این پژوهش در سال ۱۴۰۴ انجام شده است. با توجه به رویکرد آینده‌پژوهی و تحلیل وضعیت آینده ادارات هوشمند، افق زمانی مورد نظر برای تدوین سناریوها و پیش‌بینی وضعیت ایمنی، بازه ۵ ساله (۱۴۰۴ تا ۱۴۰۹) در نظر گرفته شده است. شکل شماره ۱ محدوده مطالعاتی را معرفی می‌کند.



شکل ۱. محدوده مورد مطالعه

۴- یافته‌های پژوهش

نرم‌افزار میک مک یکی از ابزارهای بنیادین در حوزه آینده‌پژوهی و تحلیل ساختاری است که به‌منظور شناسایی و تبیین روابط متقابل میان عوامل مؤثر بر یک سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرد. این نرم‌افزار با بهره‌گیری از ماتریس تأثیرات متقابل، میزان تأثیرگذاری و وابستگی هر یک از عوامل را اندازه‌گیری می‌کند و در نتیجه امکان تفکیک عوامل کلیدی، محرک، وابسته و خودمختار در سیستم را فراهم می‌سازد. در پژوهشی با موضوع «تحلیل ساختاری سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند تبریز مبتنی بر اینترنت اشیا»، این ابزار به پژوهشگر کمک می‌کند تا تشخیص دهد که کدام عوامل نظیر امنیت داده‌ها،

پذیرفت. در نخستین مرحله، جهت شناسایی و استخراج شاخص‌ها، از روش‌های کتابخانه‌ای و مطالعات اسنادی استفاده شد که منجر به شناسایی ۴ مؤلفه اصلی و ۱۶ مؤلفه فرعی تأثیرگذار بر سطح ایمنی شد. فرآیند کسب اجماع خبرگان برای تکمیل ماتریس اثرات متقابل، طی ۲ دور دلفی با آستانه توافق ۷۰ درصد و ضریب توافق کندال نهایی ۰.۸۱ انجام شد. در دور اول، نظرات ۲۵ خبره در قالب ماتریس 16×16 جمع‌آوری و با محاسبه شاخص‌های میانگین، میانه و دامنه بین‌چهارکی (IQR) تحلیل گردید. سلول‌های دارای IQR بزرگتر از ۱ (پراکندگی بالا) به همراه بازخورد آماری از پاسخ‌های سایر خبرگان، در دور دوم مجدداً به خبرگان ارسال شد تا در صورت تمایل بازبینی نمایند. پس از دور دوم، میزان توافق برای بیش از ۹۲ درصد سلول‌ها به بالای ۷۰ درصد رسید و فرآیند دلفی خاتمه یافت. ماتریس نهایی با استفاده از میانگین وزنی نظرات (با در نظر گرفتن ضریب تخصص خودارزیابی‌شده هر خبره) تشکیل و سپس به نرم‌افزار میک مک وارد شد.

در مرحله دوم، برای سنجش روابط متقابل میان این مؤلفه‌ها، از تکنیک تحلیل ساختاری و نرم‌افزار میک مک استفاده شد. فرآیند تحلیل داده‌ها با تشکیل ماتریس تأثیرات متقابل آغاز شد. در این ماتریس 16×16 ، میزان تأثیرگذاری هر عامل بر عامل دیگر بر اساس ۵ گزینه (شامل ۰: بدون تأثیر، ۱: تأثیر ضعیف، ۲: تأثیر متوسط و ۳: تأثیر قوی و ۴: تأثیر بالافوق) توسط خبرگان ارزیابی شد. پس از ورود داده‌ها به نرم‌افزار میک مک، محاسبات ماتریس در ۲ مرحله تکرار شد تا پایداری ماتریس تأیید شود (درجه پرشدگی ماتریس ۹۳.۷۵ درصد محاسبه شد). در ادامه، شاخص‌های تحلیل شامل تأثیرگذاری و تأثیرپذیری مستقیم MDI و غیرمستقیم محاسبه شد. برای تحلیل نهایی و رتبه‌بندی دقیق‌تر، از آنجا که اثرات غیرمستقیم اعداد چندرقمی بودند، سهم هر عامل در مقیاس ده هزار استانداردسازی شد. همچنین، با استفاده از نمودار پراکندگی، وضعیت پایداری یا ناپایداری سیستم بررسی و متغیرها در پنج دسته تأثیرگذار، دووجهی، تنظیمی، تأثیرپذیر و مستقل طبقه‌بندی شدند. در نهایت، گراف‌های چرخه‌ای تأثیرگذاری مستقیم و غیرمستقیم ترسیم شد تا ساختار تعاملات و شدت تأثیرات (خطوط قرمز برای تأثیر قوی، آبی برای متوسط و مشکی برای ضعیف) به‌صورت بصری تحلیل شود.

جدول ۳. ماتریس

	STI-1	STI-2	STI-3	STI-4	BPF1	BPF2	BPF3	BPF4	OCS1	OCS2	OCS3	OCS4	SPI1	SPI2	SPI3	SPI4
OCS1	3	2	2	2	3	2	4	4	0	1	2	1	2	2	4	4
OCS2	4	2	4	2	2	4	2	2	2	0	2	1	2	2	2	2
OCS3	3	2	2	3	3	3	2	4	2	2	0	2	3	3	2	4
OCS4	2	2	2	4	2	2	2	4	4	2	4	0	2	2	3	2
SPI1	3	2	3	3	2	2	2	4	2	3	3	2	0	3	2	2
SPI2	3	3	3	2	2	3	2	4	3	2	3	2	3	0	4	4
SPI3	3	2	3	3	2	3	2	2	3	2	3	2	2	4	0	4
SPI4	2	2	3	2	2	3	3	2	2	2	4	2	2	2	2	0

با توجه به مطالب ذکرشده در بخش مبانی نظری و مطالب ذکرشده در بخش روش تحقیق چهار مؤلفه (زیرساخت‌های فناورانه هوشمند، عوامل رفتاری و ادراکی کارکنان، فرهنگ و حمایت سازمانی و شاخص‌های عملکرد ایمنی) به‌عنوان مؤلفه‌های تأثیرگذار بر سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا در شهر تبریز شناسایی شدند، پس از تأیید شاخص‌های تأثیرگذار، ۱۶ مؤلفه تأثیرگذار بر سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا در شهر تبریز استخراج شد و جهت اطمینان از جامع بودن مؤلفه‌های استخراج‌شده به کارشناسان مذکور در جدول شماره ۴ مراجعه شد.

جدول ۴. مشخصات مصاحبه‌شوندگان، منبع: نگارنده ۱۴۰۴

تعداد	میزان تحصیلات	نوع ارتباط با موضوع
۱۵	دکتری تخصصی	اساتید رشته شهرسازی، آینده‌پژوهی
۱۰	کارشناسی ارشد	پژوهشگران آینده‌پژوهی مرتبط با موضوع پژوهش و مهندسی مشاور در حوزه پژوهش

زیرساخت‌های شبکه، هوشمند سازی تجهیزات، قوانین و مقررات حفاظتی و آگاهی کاربران، نقشی پررنگ‌تر در ارتقای سطح ایمنی ادارات هوشمند ایفا می‌کنند و کدام‌یک بیشتر به‌عنوان پیامد تغییرات سایر متغیرها ظاهر می‌شوند. نتایج حاصل از این تحلیل، مبنای مهمی برای تدوین راهبردهای ارتقای ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا محسوب می‌شود. روند کار به این صورت است که یک ماتریس $n \times n$ تشکیل می‌شود (که در آن n برابر با تعداد عوامل است). در هر سلول از این ماتریس، میزان تأثیر عامل i بر عامل j با استفاده از اعداد ۰ تا ۳ یا ۰ تا ۴ تعیین می‌گردد؛ بدین معنا که: ۰ نشان‌دهنده بدون تأثیر، ۱ نشان‌دهنده تأثیر ضعیف، ۲ نشان‌دهنده تأثیر متوسط و ۳ نشان‌دهنده تأثیر قوی است. این مرحله معمولاً بر اساس اجماع نظر خبرگان انجام می‌پذیرد. درنهایت، خروجی نرم‌افزار به‌صورت یک نمودار دوبعدی ارائه می‌شود که در آن هر عامل بر اساس میزان تأثیرگذاری و وابستگی، در یکی از چهار دسته قرار می‌گیرد. جدول شماره ۳ ماتریس را نشان می‌دهد.

جدول ۳. ماتریس

	STI-1	STI-2	STI-3	STI-4	BPF1	BPF2	BPF3	BPF4	OCS1	OCS2	OCS3	OCS4	SPI1	SPI2	SPI3	SPI4
STI-1	0	2	2	2	3	2	2	1	1	4	4	1	2	2	2	2
STI-2	2	0	2	2	3	2	3	2	3	1	2	2	2	2	2	2
STI-3	3	2	0	2	3	2	2	4	4	2	2	4	2	2	3	2
STI-4	2	2	3	0	2	2	4	4	2	4	2	2	4	4	2	4
BPF1	4	2	2	4	0	3	2	4	4	3	3	2	4	3	2	3
BPF2	2	4	2	4	3	0	3	2	2	2	4	4	2	4	2	4
BPF3	3	2	2	4	2	3	0	2	1	4	2	2	1	1	1	2
BPF4	2	2	2	4	2	4	1	0	1	4	1	1	2	1	2	4

جدول ۶. ویژگی‌های اثرات مستقیم در نرم‌افزار میک مک

مقدار	شاخص
۱۶	ابعاد ماتریکس
۲	تعداد تکرار
۱۶	تعداد صفرها
۱۶	تعداد یک
۱۲۸	تعداد دو
۴۸	تعداد سه
۴۸	تعداد P
۲۴۰	جمع
۹۳٫۷۵٪	درجه پرشدگی

در ماتریس تحلیل ساختاری که در نرم‌افزار میک مک مورد استفاده قرار می‌گیرد، هدف آن است که روابط میان متغیرهای مختلف یک سیستم، نظیر مؤلفه‌های مؤثر بر سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند، به صورت کمی نمایش داده شود. در این ماتریس، هر سطر نشان‌دهنده میزان تأثیرگذاری یک متغیر بر سایر متغیرهاست و هر ستون بیانگر میزان تأثیرپذیری آن متغیر از سایر متغیرها هست. بر این اساس، چنانچه مجموع اعداد سطرهای یک متغیر زیاد باشد، بدین معناست که آن متغیر بر عوامل دیگر تأثیر زیادی دارد؛ از این رو، متغیر تأثیرگذار یا محرک محسوب می‌شود. همچنین، اگر مجموع اعداد ستون‌های یک متغیر زیاد باشد، یعنی آن متغیر از دیگر مؤلفه‌ها تأثیر زیادی می‌پذیرد؛ بنابراین، متغیر تأثیرپذیر یا وابسته است. بر اساس نتایج تحلیلی این ماتریس (جدول شماره ۷) عملکرد ایمنی با میزان تأثیرگذاری ۱۲۸ بیشترین تأثیر را بر سطح ایمنی محیط‌های اداری و مؤلفه فرهنگ و حمایت سازمانی با تأثیرگذاری ۹۵ کمترین درجه تأثیرگذاری را داشته‌اند همچنین مؤلفه زیرساخت‌های فناورانه هوشمند با عدد ۱۱۸ بیشترین تأثیرپذیری را داشته است.

جدول ۷. میزان اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم مؤلفه‌ها

ردیف	مؤلفه‌ها	میزان تأثیرگذاری	میزان تأثیرپذیری
۱	سیستم‌های نظارت و پایش هوشمند	۲۴	۳۳
۲	کنترل دسترسی و امنیت فیزیکی	۳۲	۲۹
۳	مدیریت هوشمند تجهیزات و ایمنی	۲۷	۳۳
۴	یکپارچگی و اتصال‌پذیری شبکه	۱۹	۲۳

در نخستین گام از پیاده‌سازی مدل پژوهش حاضر، کلیه ۱۶ مؤلفه مؤثر بر سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند تبریز مبتنی بر اینترنت اشیا، در نرم‌افزار میک مک وارد گردید. این مؤلفه‌ها با دقت انتخاب شده‌اند تا بتوانند ابعاد گوناگون ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند را به خوبی بازتاب دهند و نقشی کلیدی در تحلیل و ارزیابی شاخص‌های اثرگذار بر محیط‌های اداری شهر تبریز ایفا کنند. برای هر یک از مؤلفه‌ها، نشانگرهای کوتاهی تعریف شد که امکان اندازه‌گیری و ارزیابی دقیق‌تر را فراهم می‌آورد. توجه به تعاملات و روابط متقابل میان مؤلفه‌ها، درک عمیق‌تری از وضعیت ایمنی در محیط‌های اداری تبریز را به همراه دارد. همچنین، تحلیل این داده‌ها امکان شناسایی نقاط قوت و ضعف در زمینه ادارات هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا و تعیین مسیرهای اثرگذار بر مؤلفه‌های ایمنی را فراهم می‌سازد.

بر اساس نتایج حاصل از جلسات دلفی و تکنیک پویش محیطی با حضور ۲۵ نفر از کارشناسان، اساتید و مدیران مناطق ده گانه شهر تبریز، تأثیرات متقابل میان مؤلفه‌ها و زیر مؤلفه‌های سطح ایمنی به دقت بررسی شد. این فرایند تحلیلی درک روشنی از نحوه ارتباط و تأثیرگذاری هر مؤلفه بر سایرین ارائه می‌دهد. بدین ترتیب، مجموعه‌ای از ۱۶ ماتریس اثرات متقاطع تشکیل شد که در هر ماتریس، میزان تأثیر یک مؤلفه بر سایر مؤلفه‌ها مشخص گردیده است. محاسبه اثرات متقاطع در ماتریس مذکور، ۲ مرتبه تکرار شد که این تعداد تکرار، پیشنهاد پایه نرم‌افزار میک مک برای دستیابی به پایداری ماتریس است. جدول شماره ۵ تعداد تکرار محاسبه ماتریس اثرات متقاطع را نشان می‌دهد.

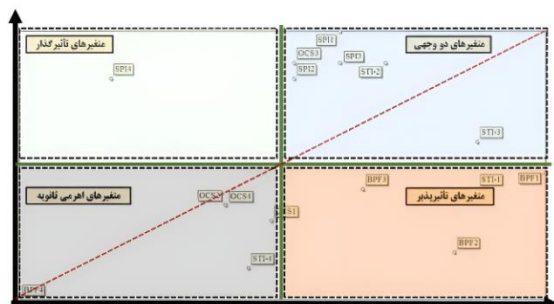
جدول ۵. تعداد تکرار محاسبه ماتریس اثرات متقاطع

تکرار	تأثیر	وابستگی
۱	۹۶٪	۸۵٪
۲	۱۰۱٪	۱۰۰٪

شاخص تأثیر مستقیم در نرم‌افزار میک مک، به عنوان نخستین گام برای شناخت دینامیک درونی سیستم و شناسایی عوامل راهبردی آن، اهمیتی بنیادین دارد و مبنای تمامی تحلیل‌های بعدی در فرآیند آینده‌پژوهی محسوب می‌شود. جدول شماره ۶ ویژگی‌های مربوط به اثرات مستقیم را در نرم‌افزار میک مک به نمایش می‌گذارد.

متغیر در این سیستم قابل شناسایی هستند: متغیرهای تعیین کننده یا تأثیرگذار، متغیرهای دوجبه، متغیرهای تنظیمی، متغیرهای تأثیرپذیر یا نتیجه و متغیرهای مستقل.

از دستاوردهای کلیدی نرم افزار میک مک، ایجاد ماتریس تحلیل ساختاری است که امکان نمایش عوامل مختلف در یک فضای دوبعدی را فراهم می سازد. این نمایش به صورت یک نمودار چهاربخشی طراحی شده که به شناسایی چهار گروه اصلی از متغیرها کمک می کند. بدین ترتیب، تحلیل گران می توانند با بررسی دقیق این چهار گروه، روابط و تأثیرات متقابل میان متغیرها را به صورت عمیق تری درک کرده و به تحلیلی جامع تر از داده ها دست یابند. شکل شماره ۲ نقشه تأثیرات متقاطع در نرم افزار میک مک را نشان می دهد.



شکل ۲. نقشه تأثیرات متقاطع در نرم افزار میک مک

گراف تأثیرگذاری مستقیم یکی از ابزارهای کلیدی و بنیادین در تحلیل ساختاری با استفاده از نرم افزار میک مک محسوب می شود. این گراف ها شبکه ای از شاخص ها را به تصویر می کشند که ارتباط میان آن ها توسط خطوط و فلش های رنگی مشخص شده است. در این نمایش، هر رنگ بیانگر شدت تأثیر متفاوتی است؛ به طوری که خطوط قرمز نشان دهنده تأثیر قوی (۳)، خطوط آبی نشان دهنده تأثیر متوسط (۲) و خطوط مشکی نقطه چین نشان دهنده تأثیر ضعیف (۱) هستند. همچنین، جهت فلش ها مسیر اثرگذاری میان شاخص ها را ترسیم می کند. این نمودار به تحلیل گر کمک می کند تا ساختار کلی تعاملات میان مؤلفه ها را به صورت بصری و شهودی درک کند. گراف اثرات مستقیم، روابط اولیه و آشکار میان شاخص ها را بر اساس داده های ماتریس اولیه نمایش می دهد؛ در حالی که گراف اثرات غیرمستقیم از طریق تکرار ماتریس و محاسبه

جدول ۷. میزان اثرگذاری و اثرپذیری مستقیم مؤلفه ها

جمع مؤلفه زیرساخت های فناوریانه هوشمند		۱۰۲	۱۱۸
۵	آگاهی و سواد دیجیتال ایمنی	۲۵	۳۶
۶	پذیرش فناوری های ایمنی توسط کاربر	۲۰	۳۲
۷	حس امنیت روانی و حریم خصوصی	۲۴	۲۸
۸	مشارکت در گزارش دهی مخاطرات	۱۷	۱۳
جمع مؤلفه عوامل رفتاری و ادراکی کارکنان		۸۶	۱۰۹
۹	فرهنگ ایمنی مبتنی بر فناوری	۲۲	۲۴
۱۰	آموزش و توانمندسازی مستمر	۲۳	۲۲
۱۱	حمایت مدیریتی در پیاده سازی IoT	۳۲	۲۵
۱۲	قوانین و مقررات استانداردسازی	۲۳	۲۲
جمع مؤلفه فرهنگ و حمایت سازمانی		۱۰۰	۹۵
۱۳	کاهش حوادث فیزیکی و جانی	۳۴	۲۷
۱۴	کاهش خطای انسانی	۳۱	۲۵
۱۵	سرعت واکنش و مدیریت بحران	۳۲	۲۷
۱۶	رضایت شغلی و آسایش محیطی	۳۱	۱۷
جمع مؤلفه شاخص های عملکرد ایمنی		۱۲۸	۹۶
جمع کل		۴۱۶	۴۱۶

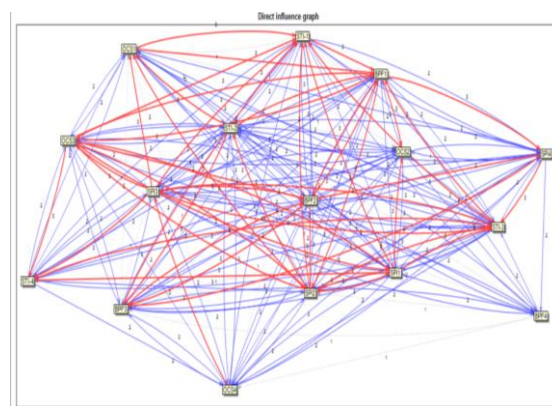
به منظور استخراج شاخص های کلیدی، تحلیل پایداری و ناپایداری سیستم انجام می پذیرد. همان گونه که در بخش روش پژوهش تشریح شد، در این مرحله نحوه توزیع و پراکندگی متغیرها، وضعیت پایداری یا ناپایداری سیستم را مشخص می کند. آنچه از بررسی صفحه پراکندگی مؤلفه های اثرگذار بر سطح ایمنی در محیط های اداری هوشمند تبریز مبتنی بر اینترنت اشیا استنباط می شود، بیانگر وضعیت ناپایداری سیستم است؛ به طوری که اکثریت متغیرها در اطراف محور قطری صفحه پراکنده شده اند. با توجه به این وضعیت ناپایدار، پنج دسته

جدول ۸. مؤلفه‌های کلیدی اثرگذار بر سطح ایمنی محیط‌های اداری هوشمند

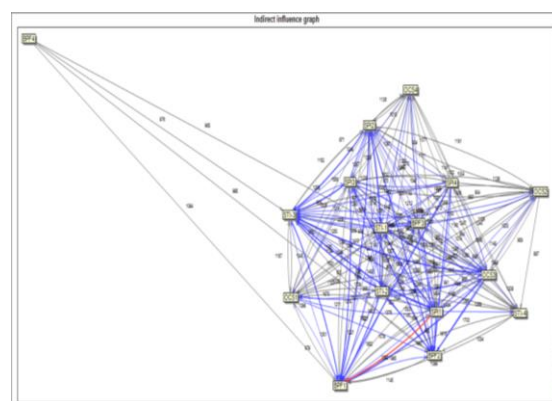
غیرمستقیم		مستقیم	
تأثیرگذاری	مؤلفه	تأثیرگذاری	مؤلفه
۸۱۱	کاهش حوادث فیزیکی و جانی	۸۱۷	کاهش حوادث فیزیکی و جانی
۷۵۷	حمایت مدیریتی در پیاده‌سازی	۷۶۹	کنترل دسترسی و امنیت فیزیکی
۷۵۰	کنترل دسترسی و امنیت فیزیکی	۷۶۹	حمایت مدیریتی در پیاده‌سازی IoT
۷۳۸	کاهش خطای انسانی	۷۶۹	سرعت واکنش و مدیریت بحران
۷۲۹	سرعت واکنش و مدیریت بحران	۷۴۵	کاهش خطای انسانی
۷۱۶	رضایت شغلی و آسایش محیطی	۷۴۵	رضایت شغلی و آسایش محیطی
۶۶۶	مدیریت هوشمند تجهیزات و ایمنی محیط	۶۴۹	مدیریت هوشمند تجهیزات و ایمنی محیط

با توجه به اینکه نرم‌افزار برای محاسبه اثرهای غیرمستقیم، ماتریس را چندین بار به توان می‌رساند، مجموع اثرگذاری و اثرپذیری‌های غیرمستقیم به اعداد چندرقمی می‌رسد و مقایسه آن‌ها با اثرهای مستقیم دشوار می‌گردد. برای رفع این مشکل، نرم‌افزار جدولی از سهم عوامل بر اساس اثرهای مستقیم و غیرمستقیم را در مقیاس ده هزار ارائه می‌دهد. بدین ترتیب، مجموع اثرگذاری و اثرپذیری‌ها به عدد ده هزار محاسبه شده و سهم هر یک از عوامل از این عدد، نمایانگر سهم آن‌ها در کل سیستم است. مؤلفه «کاهش حوادث فیزیکی و جانی»

توان های بالاتر به دست می‌آید تا روابط پنهان و چندلایه میان شاخص‌ها را آشکار سازد. تحلیل این گراف‌ها امکان شناسایی شاخص‌های کلیدی سیستم را فراهم می‌کند؛ یعنی آن دسته از شاخص‌هایی که بیشترین تأثیر را بر دیگران دارند یا از عوامل متعددی تأثیر می‌پذیرند. به‌ویژه شاخص‌هایی که در گراف غیرمستقیم اهمیت بیشتری پیدا می‌کنند، معمولاً در بلندمدت یا در شرایط پیچیده نقشی راهبردی‌تر ایفا می‌کنند. در مجموع، این نوع تحلیل تصویری به‌عنوان ابزاری مکمل برای تحلیل عددی عمل کرده و در تصمیم‌گیری‌های کلان و اولویت‌بندی شاخص‌های آینده‌نگر نقشی بسزا دارد. گراف تأثیرگذاری مستقیم مؤلفه‌ها در شکل شماره ۳ و گراف تأثیرگذاری غیرمستقیم مؤلفه‌ها در شکل شماره ۴ ارائه شده است.



شکل ۳. گراف چرخه اثرگذاری مستقیم برحسب شماره متغیر



شکل ۴. گراف چرخه اثرگذاری غیرمستقیم برحسب شماره متغیر

در گام بعدی و به‌منظور استخراج مؤلفه‌ها و زیر مؤلفه‌های اثرگذار، به بررسی جابه‌جایی‌ها و همچنین رتبه‌بندی مؤلفه‌های موردنظر از نظر میزان تأثیرگذاری و تأثیرپذیری (به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم) پرداخته می‌شود. جدول شماره ۸ مؤلفه‌های کلیدی اثرگذار بر سطح ایمنی محیط‌های اداری هوشمند را نشان می‌دهد.

جدول ۹. خلاصه سناریوهای محتمل برای آینده ایمنی ادارات هوشمند تبریز

شاخص	سناریوی خوش بینانه	سناریوی بدبینانه	سناریوی محتمل
کاهش حوادث فیزیکی و جانی	تا ۴۰ درصد	افزایش تا ۲۵ درصد	بهبود ۱۰- ۱۵ درصد
کاهش خطای انسانی	تا ۳۵ درصد	افزایش محسوس	بهبود جزئی
سرعت واکنش به بحران	تا ۵۰ درصد بهبود	اختلال در سیستم‌ها	تا ۲۰ درصد بهبود
وضعیت یکپارچگی شبکه	کامل و امن	ناقص و آسیب پذیر	متوسط با نقاط ضعف
وضعیت نهایی ایمنی	مطلوب (الگویی برای سایر شهرها)	بحرانی (افزایش مخاطرات)	متوسط (قابل قبول) اما نیازمند (بهبود)

۵- نتیجه گیری

نتایج حاصل از تحلیل ساختاری در پژوهش حاضر نشان می‌دهد که «کاهش حوادث فیزیکی و جانی» و «کنترل دسترسی و امنیت فیزیکی» به‌عنوان مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار (محرك) در سیستم ایمنی محیط‌های اداری هوشمند تبریز شناسایی شده‌اند. این یافته‌ها با نتایج پژوهش لیو و همکاران (۲۰۲۴) همخوانی دارد که در آن ویژگی‌های فناوری هوشمند تأثیر مستقیم و معناداری بر عملکرد ایمنی داشتند. همچنین، اهمیت «زیرساخت‌های فناورانه هوشمند» به‌عنوان عاملی با بالاترین میزان تأثیرپذیری، تأییدکننده نتایج الحاجری و همکاران (۲۰۲۱) است که مدل دفتر کار هوشمند را مبتنی بر زیرساخت‌های امن و کنترل از راه دور طراحی کردند. درحالی‌که پژوهش غانسا و همکاران (۲۰۲۲) بر ادراک کاربر و شرایط مرتبط با ایمنی و نظارت تمرکز داشت، پژوهش حاضر با رویکرد سیستمی، تعاملات پویا میان این عوامل را تحلیل کرده و نشان داد که «فرهنگ و حمایت سازمانی» و به‌ویژه «حمایت مدیریتی» نقشی کلیدی در تسهیل سایر مؤلفه‌ها ایفا می‌کند؛ موضوعی که در پژوهش برزگر و همکاران (۱۴۰۴) نیز به‌عنوان عامل مؤثر بر رفتار ایمن مورد تأکید قرار گرفته است. علاوه بر این، شناسایی «عوامل رفتاری و ادراکی کارکنان» به‌عنوان

با تأثیرگذاری ۸۱۷ بیشترین سهم را در اثرگذاری مستقیم دارد و این مؤلفه با تأثیرگذاری ۸۱۱ بیشترین سهم را در اثرگذاری غیرمستقیم نیز به خود اختصاص می‌دهد. همچنین تقریباً تمامی مؤلفه‌های کلیدی که در اثرگذاری مستقیم شناسایی شده‌اند، با اندکی جابه‌جایی در اثرگذاری غیرمستقیم نیز تکرار شده‌اند.

بر اساس نتایج ماتریس اثرات متقابل و با توجه به دو مؤلفه راهبردی حمایت مدیریتی در پیاده‌سازی IoT و زیرساخت‌های فناورانه هوشمند به‌عنوان مهم‌ترین عوامل محرك و نیز مؤلفه عوامل رفتاری و ادراکی کارکنان به‌عنوان عاملی با تأثیرپذیری بالا، سه سناریوی خوش‌بینانه، بدبینانه و محتمل برای افق ۵ ساله (۱۴۰۴-۱۴۰۹) تدوین گردید. در سناریوی خوش‌بینانه (تاب‌آوری هوشمند)، با حمایت قوی مدیریت، سرمایه‌گذاری گسترده در زیرساخت‌ها و توانمندسازی کارکنان، شاخص‌های عملکرد ایمنی تا ۴۰ درصد بهبود یافته و ادارات تبریز به الگویی برای سایر شهرها تبدیل می‌شوند. در سناریوی بدبینانه (رکود ایمنی)، به‌دلیل کمبود منابع، ضعف مدیریت و عدم مشارکت کارکنان، حوادث فیزیکی و جانی تا ۲۵ درصد افزایش یافته و سیستم با مخاطرات جدی مواجه می‌شود. سناریوی محتمل (تدریجی-تعادلی)، حرکت گام‌به‌گام به‌سوی هوشمندسازی با سرمایه‌گذاری اولویت‌محور و بهبود ۱۰ تا ۱۵ درصد در شاخص‌های ایمنی را ترسیم می‌کند که در صورت عدم مداخلات مدیریتی جدی، محتمل‌ترین وضعیت برای افق ۵ ساله خواهد بود. خلاصه سناریوها در جدول ۹ ارائه شده است.

جدول ۹. خلاصه سناریوهای محتمل برای آینده ایمنی ادارات هوشمند تبریز

شاخص	سناریوی خوش بینانه	سناریوی بدبینانه	سناریوی محتمل
سطح حمایت مدیریتی	قوی و مستمر	ضعیف و مقطعی	متوسط
سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های IoT	گسترده و هدفمند	ناچیز و متوقف	تدریجی و اولویت‌محور
سواد دیجیتال و فرهنگ ایمنی کارکنان	بالا و نهادینه شده	پایین و بی‌توجهی	در حال رشد اما ناقص

سواد دیجیتال و فرهنگ ایمنی، اثربخشی فناوری‌ها تضمین شود. بر اساس یافته‌های پژوهش، پیشنهادهای زیر ارائه می‌گردد:

۱. اولویت‌بندی سرمایه‌گذاری در «زیرساخت‌های فناوریانه هوشمند» و «سیستم‌های نظارت و پایش هوشمند» به‌عنوان عوامل کلیدی تأثیرگذار بر ایمنی.
۲. تقویت «حمایت مدیریتی» در پیاده‌سازی پروژه‌های اینترنت اشیا و تخصیص بودجه کافی برای آموزش و توانمندسازی کارکنان.
۳. طراحی دوره‌های آموزشی برای ارتقای «آگاهی و سواد دیجیتال ایمنی» کارکنان جهت کاهش موانع رفتاری و افزایش پذیرش فناوری.
۴. استقرار سیستم‌های یکپارچه «کنترل دسترسی و امنیت فیزیکی» برای کاهش حوادث فیزیکی و جانی.

۶- مراجع

- [1] Alsamani, B., Chatterjee, S., Anjomshoe, A., & Ractham, P, Smart Space Design-A Framework and an IoT Prototype Implementation. Sustainability, 2022. 15(1): p. 111.
- [2] AL KARKOURI, A., Oughannou, Z., El Gannour, O., Mzili, T., & Bourekadi, S. , Internet of Things for Smart Building Security: Leveraging a Blockchain for Enhanced IoT Security. Mesopotamian Journal of CyberSecurity, 2025. 5(1): p. 187-201.
- [3] Hajam, A.A., Sania, U., & Deshpande, S. C, Iot-Enabled Smart Buildings: Advancements in Energy Management and Security Systems in Urban Infrastructure. International Journal of Innovation in Engineering, 2024. 4(2): p. 20-29.
- [4] Laghari, A.A., Li, H., Khan, A. A., Shoulin, Y., Karim, S., & Khani, M. A. K, Internet of Things (IoT) applications security trends and challenges. Discover Internet of Things, 2024. 4(1): p. 36.

عاملی با کمترین میزان تأثیرگذاری اما تأثیرپذیری بالا، با یافته‌های وقار و همکاران (۲۰۲۳) در خصوص موانع پذیرش فناوری و اهمیت جنبه‌های انسانی همسویی دارد. بالین‌حال، درحالی‌که پژوهش‌های مایتی و همکاران (۲۰۲۳) و آکایا و همکاران (۲۰۱۵) بیشتر بر جنبه‌های فنی نظیر سنسورها و صرفه‌جویی انرژی متمرکز بودند، پژوهش حاضر با تلفیق ابعاد فنی، رفتاری و سازمانی، تصویر جامع‌تری از ایمنی در محیط‌های اداری ارائه می‌دهد. پژوهش حاضر از چندین جنبه دارای نوآوری است. نخست، استفاده از تکنیک تحلیل ساختاری برای تحلیل سطح ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند مبتنی بر اینترنت اشیا در ایران، به‌ویژه در شهر تبریز، ازجمله رویکردهای نوین محسوب می‌شود که کمتر در ادبیات داخلی موردتوجه قرار گرفته است. دوم، شناسایی و اولویت‌بندی ۱۶ مؤلفه کلیدی در قالب چهار بُعد اصلی (زیرساخت‌های فناوریانه، عوامل رفتاری، فرهنگ‌سازمانی و شاخص‌های عملکرد) و تحلیل روابط علت و معلولی میان آن‌ها، درک عمیق‌تری از دینامیک ایمنی فراهم آورده است. سوم، تمرکز بر تعاملات غیرمستقیم و بلندمدت میان متغیرها، این امکان را فراهم کرده است تا عواملی که در نگاه اول ممکن است پنهان باشند اما در آینده نقشی تعیین‌کننده دارند، شناسایی شوند. باوجود تلاش برای انجام پژوهشی دقیق، محدودیت‌هایی وجود داشت که باید در نظر گرفته شود. نخست، وابستگی تحلیل‌ها به نظرات خبرگان و پژوهشگران منتخب که ممکن است دارای سوگیری‌های ذهنی باشد. دوم، محدودیت در دسترسی به تمامی ادارات هوشمند در سطح شهر تبریز و تمرکز بر نمونه‌های خاص. سوم، ماهیت پویای فناوری‌های اینترنت اشیا که ممکن است نتایج را در بلندمدت تحت تأثیر تغییرات تکنولوژیک قرار دهد. بر اساس نتایج تحلیل ساختاری، سیستم ایمنی در محیط‌های اداری هوشمند تبریز در وضعیت ناپایدار قرار دارد که نشان‌دهنده پویایی بالای تعاملات میان مؤلفه‌هاست. نتایج نشان داد که برای ارتقای سطح ایمنی، تمرکز بر «شاخص‌های عملکرد ایمنی» به‌عنوان نتایج نهایی کافی نیست، بلکه باید بر عوامل محرک و راهبردی نظیر «کنترل دسترسی»، «حمایت مدیریتی» و «زیرساخت‌های فناوریانه» تأکید گردد. همچنین، نقش «عوامل رفتاری و ادراکی» به‌عنوان عاملی وابسته، نیازمند توجه ویژه مدیران است تا با ارتقای

- [15] Liu, H., Li, S., & Wen, H, Effect of smart construction technology characteristics on the safety performance of construction projects: an empirical analysis based on structural equation modeling. *Buildings*, 2024. 14(7): p. 1894.
- [16] Waqar, A., Khan, M. B., Shafiq, N., Skrzypkowski, K., Zagórski, K., & Zagórska, A, Assessment of challenges to the adoption of IOT for the safety management of small construction projects in Malaysia: structural equation modeling approach. *Applied Sciences*, 2023. 13(5): p. 33–40.
- [17] Alhajri, K., AlGhamdi, M., Alrashidi, M., Balharith, T., & Tabeidi, R, Smart office model based on internet of things. In *The International Conference on Artificial Intelligence and Computer Vision 2021*: p. 174–183.
- [18] Moreno, M.V., Úbeda, B., Skarmeta, A. F., & Zamora, M. A, How can we tackle energy efficiency in IoT based smart buildings ?*Sensors*, 2014. 14(6): p. 9582–9614.
- [19] Akkaya, K., Guvenc, I., Aygun, R., Pala, N., & Kadri, A. IoT-based occupancy monitoring techniques for energy-efficient smart buildings. in *2015 IEEE Wireless Communications and Networking Conference Workshops (WCNCW)*. 2015. IEEE.
- [20] Plageras, A.P., Psannis, K. E., Stergiou, C., Wang, H., & Gupta, B. B, Efficient IoT-based sensor BIG Data collection–processing and analysis in smart buildings. *Future Generation Computer Systems*, 2018. 82: p. 349–357.
- [21] Zanjirchi, S.M., Ziaian, M., & Soleimani Zadeh, H, Achieving sustainable performance: Application of Internet of Things capability in performing environmental actions and processes in small and medium-sized enterprises. *Quarterly Journal of Environmental Education and Sustainable Development*, 2025. 14(2): p. 99–118.
- [5] Miorandi, D., Sicari, S., De Pellegrini, F., & Chlamtac, I, Internet of things: Vision, applications and research challenges. *Ad Hoc Networks*, 2012. 10(7): p. 1497–1516.
- [6] Abdmeziem, R., & Tandjaoui, D, nternet of Things: Concept, Building blocks, Applications and Challenges. *arXiv preprint*, 2014: p. 1401.6877
- [7] Sethi, P., & Sarangi, S. R, Internet of Things: Architectures, Protocols, and Applications. *Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2017.
- [8] Roman, R., Zhou, J., & Lopez, J, On the features and challenges of security and privacy in distributed internet of things. *Computer networks*, 2013. 57(10): p. 2266–2279.
- [9] Sicari, S., Rizzardi, A., Grieco, L. A., & Coen-Porisini, A, Security, privacy and trust in Internet of Things: The road ahead. *Computer networks*, 2015. 76: p. 146–164.
- [10] Zanella, A., Bui, N., Castellani, A., Vangelista, L., & Zorzi, M, Internet of things for smart cities. *IEEE Internet of Things journal*, 2014. 1(1): p. 22–32.
- [11] Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G, The internet of things: A survey. *Computer Networks*, 2010. 54(15): p. 2787–2805.
- [12] Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M, Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 2013. 29(7): p. 1645–1660.
- [13] Weber, R.H., Internet of Things–New security and privacy challenges. *Computer law & security review*, 2010. 26(1): p. 23–30.
- [14] Ghansah, F.A., Chen, J., & Lu, W, eveloping a user perception model for smart living: A partial least squares structural equation modelling approach. *Building and Environment*, 2022.

- [24] Aghaeiyazadeh, E., Oji, R., & Mohammadzadeh, R, Analysis of the effects of location concentration of offices in overlapping areas of urban service organizations (Case study: Rasht city). *Geography and Environmental Sustainability*, 2016. 6(2): p. 17–33.
- [22] Barzegar, M., Khaksari, A., & Jahani, M, Analysis of factors affecting the adoption of safe behaviors in the workplace and its consequences on reducing human error. *Research in Safety, Health and Environment*, 2025. 3(9): p. 45–57.
- [23] Hajarain, A., Explaining the smart city model using meta-synthesis method. *Urban Research and Planning Quarterly*, 2024.

Structural Analysis of Safety Level in IoT-Based Smart Office Environments in Tabriz

Masoud Hagh-Lesan¹

1- Corresponding Author: Associate Professor, Department of Architecture and Urban Planning, Ilkhchi Branch, Islamic Azad University, Ilkhchi, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Article Type: Research paper

Received: 11 Oct 2026

Received in revised form: 7 May 2026

Accepted: 2026/10/09

Available online: 2026/10/13

*Correspondence:

ma.haghlesan@iau.ac.ir

Keywords:

Structural Analysis

Safety

Office Environments

Smart

Internet of Things

ABSTRACT

With the ever-increasing expansion of modern technologies and the smartization approach in organizations, ensuring safety in Internet of Things (IoT)-based office environments has become one of the fundamental challenges. The main objective of this research is the structural analysis of the safety level in smart office environments in Tabriz, aiming to identify the interrelationships and prioritize the influencing factors. This research is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in nature. The statistical population consisted of 25 experts and specialists in the fields of electrical and computer engineering, risk management, occupational health and safety, and futures studies, who were selected through purposive sampling. Data collection was carried out in two stages; first, 16 components were extracted through literature review, and then, using structural analysis technique and MICMAC software, the influence and dependence relationships among the components were measured based on expert opinions. The research findings indicated that the safety system of smart offices in Tabriz is in an unstable state. The results of the cross-impact matrix revealed that the component "reduction of physical and life-threatening incidents" with the highest influence score (817) and "access control and physical security" ranked next. Furthermore, the component "smart technological infrastructure" was identified as having the highest dependency score. Overall, safety performance indicators and management support play a key role in steering the system. Based on the results, to enhance safety in smart offices, it is necessary for managers and policymakers to focus on driving and strategic factors, particularly strengthening technical infrastructure and organizational support, to pave the way for reducing incidents and improving safety performance.