مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف
دی ۱۳۸۷، شماره‌ی چهل و پنجم، ص. ۷۷-۸۵

مدل پیشنهادی برای ارزیابی سطح هوشمندی مورد نیاز ساختمان

محمد فتحیان (استادیار)
دانشکده‌ی مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران

تشکیل جوامع مدرن اطلاعاتی مرهون فناوری اطلاعات[1] و تأثیر آن بر فناوری‌های رایج در جهان امروزی است. فناوری اطلاعات در عرصه‌ی ساخت و معماری نیز تغییر و تحولاتی را پدید آورده است که از آن جمله می‌توان به مواردی همچون «تغییر در فرایند ساخت»، «به‌کارگیری روش‌های مهندسی هم‌زمان و فنون جدیدی مانند هوش مصنوعی»، «شبکه‌های عصبی و الگوریتم‌های ژنتیک در مهندسی عمران» اشاره کرد. ساختمان‌های هوشمند یکی از مظاهر اصلی تأثیر فناوری اطلاعات بر حوزه‌ی ساختمان است. این نوشتار حاصل اجرای یک طرح پژوهشی است که ضمن مطالعه‌ی ادبیات ساختمان‌های هوشمند در پی ارائه‌ی مدلی به‌منظور ارزیابی سطح هوشمندی مورد نیاز یک ساختمان است. این مدل با تکیه بر تعاریف مختلف ساختمان‌های هوشمند به معرفی هشت محور اصلی ــ به‌عنوان موضوعات اساسی در ارزیابی و سنجش هوشمندی ساختمان‌ها ــ می‌پردازد. هریک از این هشت محور خود شامل معیارهایی است که مبین وضعیت آن محور برای ساختمان مورد نظر است. ارزیابی درجه‌ی هوشمندی ساختمان با توجه به محورهای هشت‌گانه و ضمن بهره‌گیری از یک روش ریاضی به‌کمک نظرسنجی از خبرگان آشنا به اهداف سازمانی ساختمان مورد نظر انجام می‌پذیرد. ضمناً مدل مزبور در یک مجتمع ساختمانی نمونه که متعلق به وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات است مورد استفاده قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: فناوری اطلاعات، ساختمان هوشمند، ارزیابی هوشمندی.

fathian@iust.ac.ir

۱. مقدمه

امروزه فناوری اطلاعات به‌عنوان گفتمان غالب سده‌ی جدید چنان تأثیر شگرفی بر زمینه‌های اقتصادی، سیاسی، اجتماعی و فرهنگی جوامع داشته که از چنین تحولی به‌عنوان انقلاب اطلاعاتی یاد می‌شود. لذا درصد زیادی از چالش‌های جهان امروز ــ نظیر جهانی‌سازی و نقش شبکه‌های ارتباطی، توسعه‌ی اطلاعاتی و اقتدار ملی، اقتصاد دیجیتال و دولت الکترونیک ــ مبتنی بر فناوری اطلاعات خواهد بود. بنابراین حضور فعال و مقتدر در جامعه‌ی جهانی و اکوسیستم بین‌المللی و ایفای نقش مؤثر به‌عنوان عضو فعال جهانی، بدون توجه به فناوری اطلاعات به‌عنوان بستر و محور اصلی توسعه امری دشوار است.

بسیاری «فناوری اطلاعات» را مترادف با «رایانه» می‌دانند. این تلقی از آنجا که موتور محرکه‌ی این فناوری رایانه است چندان بیهوده نیست؛ اما از آنجا که تنها بیان‌گر گوشه‌یی از تغییراتی است که در اثر ورود به این مرحله‌ی حیات به وجود آمده (یا خواهد آمد) دور از واقعیت است. اگرچه در حال حاضر بسیاری از افزارهای مبتنی بر فناوری اطلاعات مشخصاً رایانه‌یی نیستند، آنچه رشته‌ی همه‌ی کاربردهای مختلف این فناوری را به هم پیوند می‌دهد جریان اطلاعات و پردازش آن است.

اما به‌راستی فناوری اطلاعات چیست؟ انجمن فناوری اطلاعات آمریکا «فناوری اطلاعات» را مطالعه، طراحی، توسعه، پیاده‌سازی، مدیریت و پشتیبانی از سیستم‌های مبتنی‌بر رایانه ــ به‌ویژه کاربردهای نرم‌افزاری و سخت‌افزارهای رایانه‌یی ــ تعریف می‌کند.[1] تعاریف مختلف دیگری نیز برای فناوری اطلاعات ارائه شده که مهم‌ترین آنها عبارت است از:

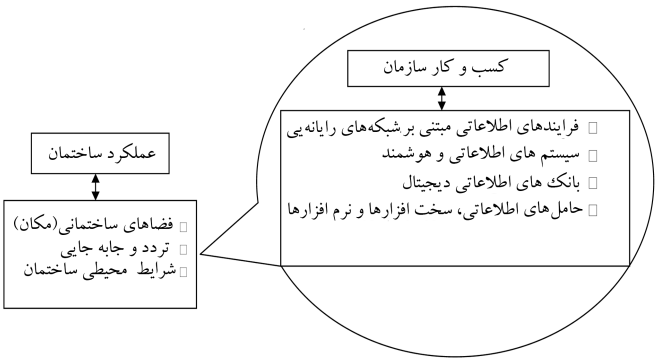
فناوری اطلاعات به‌کلیه‌ی فناوری‌های به‌کار گرفته شده در جمع‌آوری، انتقال، ذخیره و بازیابی، پردازش، انتشار و نمایش اطلاعات اطلاق می‌شود.[2]

فناوری اطلاعات واژه‌یی کلی است که از آن برای وسعت‌بخشیدن به محصولات و خدمات الکترونیکی حاصل از نوآوری‌های مخابراتی و رایانه‌یی استفاده می‌شود.[3]

فناوری اطلاعات شاخه‌یی از فناوری است که از روش‌های مختلف سخت‌افزاری، نرم‌افزاری، شبکه‌افزاری و فکرافزاری در زمینه‌های جمع‌آوری، انتقال، ذخیره‌سازی، بازیابی، پردازش، انتشار و نمایش اطلاعات بهره می‌گیرد[4].

فناوری اطلاعات شاخه‌یی از فناوری است که با استفاده از سخت‌افزار، نرم‌افزار و شبکه‌افزار[2]، مطالعه و کاربرد داده و پردازش آن را در زمینه‌هایی چون: ذخیره‌سازی[3]، دستکاری[4]، انتقال[5]، مدیریت[6]، جابه‌جایی[7]، مبادله[8]، کنترل[9]، سوییچینگ[10] و داده‌آمایی خودکار[11] امکان‌پذیر می‌سازد.[5]

تاکنون مطالعات متعددی درخصوص تأثیر فناوری اطلاعات در صنعت ساخت انجام شده است.[6-13] البته، هیچ‌یک از این مطالعات به بررسی تأثیر فناوری اطلاعات بر معماری و ساختمان نمی‌پردازند و فقط به بررسی تأثیر ابزاری و کاربردی فناوری اطلاعات در صنعت ساخت توجه می‌کنند.



شکل ۱. تعامل عوامل مختلف حوزه‌ی فناوری اطلاعات و ساخت.

به‌منظور بررسی دقیق‌تر تأثیرات فناوری اطلاعات بر حوزه‌ی ساخت و معماری لازم است تعامل عوامل مختلف دو حوزه را مورد مطالعه قرار دهیم. در شکل ۱ مهم‌ترین عوامل دو حوزه به‌صورت کلی نمایش داده شده است. چنان که ملاحظه می‌شود عوامل حوزه‌ی ساخت در سه محور کلی مکان و فضاهای ساختمانی، تردد و جابه‌جایی، و شرایط محیطی ساختمان مورد نظر، ارائه شده است. عوامل حوزه‌ی فناوری اطلاعات نیز به مؤلفه‌هایی بازمی‌گردد که تعیین‌کننده‌ی عملکرد اطلاعاتی سازمان مورد نظر است. بر این اساس می‌توان اهم تأثیرات دو حوزه را چنین مد نظر قرار داد:

۱. بهره‌گیری از سیستم‌های کنترل هوشمند و حذف نقش انسان در اجرای مستقیم برخی از وظایف موجب کاهش نیروی انسانی مورد نیاز در برخی از واحدهای سازمان و نتیجتاً تحدید فضای مورد نیاز خواهد شد.

۲. وجود فرایندهای اطلاعاتی و گردش اطلاعات مبتنی بر شبکه ضرورت جابه‌جایی و تردد افراد بین واحدهای مختلف سازمانی را کاهش خواهد داد.

۳. دیجیتالی شدن اطلاعات بر امکان تشکیل بانک‌های اطلاعاتی و ذخیره‌سازی ساده‌تر اطلاعات می‌افزاید و تخصیص فضاهای بایگانی اطلاعات در ساختمان را غیر ضروری می‌سازد.

۴. نیازمندی‌های اطلاعاتی کارکنان یا مراجعین، و لزوم دسترسی سریع به آن به‌معنی ضرورت وجود مکان‌های جدید و خاص (مانند کافی‌نت‌ها، واحدهای اطلاعات مبتنی بر شبکه در ورودی ساختمان، سیستم‌های اطلاع‌رسانی نصب‌شده در اماکن عمومی و تابلوی اعلانات هوشمند که علاوه بر ارائه‌ی اطلاعات مورد نیاز سازمانی، ردیابی کارکنان را ممکن می‌سازد) به‌منظور دریافت اطلاعات در ساختمان است.

۵. دسترسی سریع افراد به یکدیگر براساس شبکه‌ی ارتباطی از ضرورت نزدیکی اطاق‌های کارکنان به‌دلیل اشتغال در یک حوزه می‌کاهد، که این خود به‌معنی امکان بازنگری چینش سنتی واحدهای سازمانی در ساختمان است.

۶. بهره‌گیری از فناوری اطلاعات در انجام وظایف شغلی توسط کارکنان، به‌معنای استفاده از ادوات جدید در اجرای مناسب مأموریت‌ها است که شرایط جانبی مورد نیاز و چگونگی استقرار آنها جای تأمل دارد. مثلاً می‌توان به استفاده از فناوری آموزشی جدید مبتنی بر فناوری اطلاعات در محل آموزش یا سالن جلسات و کنفرانس اشاره کرد.

۷. جمع‌آوری هوشمند اطلاعات محیطی ساختمان به‌منظور انتقال، پردازش و به‌کارگیری مناسب آنها با بهره‌گیری از حسامسه‌های (سنسورهای) مختلف در نقاط مختلف ساختمان میسر می‌شود؛ برای مثال می‌توان به دوربین‌ها، حسامسه‌های دود، حرارتی و غیره اشاره کرد که لازم است در نقاط مناسب ساختمان تعبیه شوند و کنترل هوشمند تأسیسات ساختمانی را انجام دهند. همچنین می‌توان با استفاده از حسامسه‌های اندازه‌گیری بار و فشار در سازه‌ی ساختمان و کنترل توزیع هوشمند بار، استحکام ساختمان در هنگام وقوع زلزله را تقویت کرد و بدین ترتیب محیط مناسبی را برای نیل به اهداف اطلاعاتی سازمان ایجاد کرد.

۸. تحقق کلیه‌ی کاربردهای مبتنی بر شبکه با استفاده از زیرساخت مناسب ممکن خواهد بود و لذا سخت‌افزارها و نرم‌افزارهای مورد نیاز سازمان از نقشی کلیدی برخوردارند که تأثیراتی را نیز بر حوزه‌ی ساخت و معماری خواهند گذاشت؛ برای مثال می‌توان به فضای مورد نیاز برای عبور کابل‌های ارتباطی در به‌کارگیری شبکه‌ی رایانه‌یی و اجرای اتوماسیون سازمان و نیز در شبکه‌ی کنترل هوشمند و مدیریت ساختمان، اتصالات مورد نیاز، سوئیچ‌ها، اطاق کنترل مرکزی سیستم‌های تأسیساتی هوشمند، اطاق سرور و مرکز رایانه اشاره کرد.

با توجه به مطالب فوق ساختمان‌های هوشمند یکی از وجوه اصلی به‌کارگیری فناوری اطلاعات در حوزه‌ی ساختمان است. امروزه هوشمندسازی ساختمان‌ها به‌عنوان موضوعی مهم مورد توجه معماران و طراحان ساختمانی است، اما قبل از اجرای هر طرحی لازم است میزان هوشمندی مورد نیاز ساختمان براساس مدلی مشخص ارزیابی شود. هدف اصلی این نوشتار ارائه‌ی یک مدل پیشنهادی و اجرای آن در یک مجتمع ساختمانی به‌عنوان یک مطالعه‌ی موردی است. بنابراین سؤال اصلی این تحقیق را می‌توان چنین مطرح کرد: «چگونه می‌توان سطح هوشمندی مورد نیاز یک ساختمان را مورد ارزیابی قرار داد؟» در بخش‌های بعدی این نوشتار ضمن مرور ادبیات موضوع، پاسخ به این سؤال نیز ارائه خواهد شد.

۲. ساختمان هوشمند

از میان کلیه‌ی تأثیرات فناوری اطلاعات بر حوزه‌ی ساخت که در بخش قبل ارائه شد، لزوم وجود محیط مناسب برای فعالیت نیروی کار فناوری اطلاعات و استقرار تجهیزات مرتبط، حرکت به سوی ایجاد ساختمان‌های هوشمند را در پی خواهد داشت. به‌بیان دیگر، ساختمان‌های هوشمند یکی از مظاهر اصلی به‌کارگیری فناوری اطلاعات در حوزه‌ی ساختمان‌اند.

کلمه‌ی «هوش» در آغاز دهه‌ی ۸۰ برای اولین‌بار درمورد ساختمان و در ایالات متحده‌ی آمریکا به‌کار گرفته شد. مفهوم ساختمان هوشمند مبتنی‌بر توسعه‌ی فناوری اطلاعات در برخی از مراجع علمی نیز مورد توجه قرار گرفته است[۱۴ و ۱۵] با توجه به تحقیقات انجام‌شده، بیش از ۳۰ تعریف درخصوص ساختمان‌های هوشمند ارائه شده است که برخی از این تعاریف بر وجوه فناوری تأکید دارد؛ مثلاً ساختمان هوشمند به‌عنوان ساختمانی با سیستم‌های کنترلی کاملاً خودکار تعریف شده است.[۱۶] «انستیتو ساختمان هوشمند» در واشنگتن، ساختمان هوشمند را مجموعه‌ی یک‌پارچه‌یی از سیستم‌های متعدد برای مدیریت مؤثر منابع، افزایش قابلیت‌های فنی، صرفه‌جویی در هزینه‌های سرمایه‌گذاری، عملیاتی و انعطاف‌پذیری می‌داند.[۱۷ و ۱۵] و برخی دیگر از صاحب‌نظران ساختمان هوشمند را ساختمانی می‌دانند که نیازمندی‌های کاربران (ساکنین یا مراجعه‌کنندگان) را برآورده می‌سازد؛ و در تعریفی دیگر ساختمان هوشمند یک معماری پویا است که با تعاملات مناسب بین چهار عنصر اصلی شامل مکان

جدول ۱. محورهای مطرح برای ارزیابی هوش ساختمان.

ردیف	محورهای مطرح برای ارزیابی درجه‌ی هوشمندی ساختمان
۱	وجود سیستم‌های کنترلی خودکار[۱۶]
۲	راحتی افراد، انعطاف‌پذیری سازمانی، قابلیت انطباق تکنولوژیک و عملکرد محیطی[۱۹]
۳	امنیت، ایمنی، راحتی، مدیریت انرژی، سیستم‌های ارتباطی و یک‌پارچه‌سازی[۲۰]
۴	اصول بهداشتی، بهره‌مندی مناسب از فضا و انعطاف‌پذیری، اثربخشی هزینه، راحتی انسان در ساختمان، کارایی در انجام وظایف، ایمنی و امنیت، فرهنگ، فناوری پیشرفته، ساخت و ساختار، محیط، حفظ انرژی و سلامت محیط[۲۱ و ۲۲]
۵	وجود تعامل مناسب بین ساختمان و تأسیسات، اتوماسیون، سیستم‌های کنترلی، کاربران و خدمات و مدیریت نگه‌داری و عملکرد ساختمان[۱ و ۴]

(ساختمان و تأسیسات)، فرایند (اتوماسیون، کنترل و سیستم)، فرد (خدمات و کاربران) و مدیریت (نگه‌داری و عملکرد) بهره‌وری مناسب را پدید می‌آورد.[۱۸] در ساختمان‌های هوشمند محورها و خصوصیات متفاوتی مورد توجه قرار می‌گیرد:

الف) ابعاد مهم عملکرد یک ساختمان هوشمند شامل راحتی افراد، انعطاف‌پذیری سازمانی، قابلیت انطباق تکنولوژیک و عملکرد محیطی است.[۱۹]

ب) مؤلفه‌های اصلی یک ساختمان هوشمند عبارت است از: امنیت، ایمنی، راحتی، مدیریت انرژی، سیستم‌های ارتباطی و یک‌پارچه‌سازی.[۲۰]

ج) ساختمان هوشمند دربرگیرنده‌ی ۱۰ موضوع اصلی است: ۱. اصول بهداشتی در ساختمان؛ ۲. بهره‌مندی مناسب از فضا و انعطاف‌پذیری؛ ۳. اثربخشی هزینه؛ ۴. راحتی انسان در ساختمان؛ ۵. کارایی در انجام وظایف؛ ۶. ایمنی و امنیت در ساختمان؛ ۷. فرهنگ؛ ۸. تصویری از فناوری پیشرفته؛ ۹. فرایند ساخت و ساختار؛ ۱۰. محیط دوست‌داشتنی، حفظ انرژی و سلامت محیط.[۲۱ و ۲۲]

در جدول ۱ خلاصه‌یی از محورهای مطرح برای ارزیابی درجه‌ی هوشمندی ساختمان ارائه شده است.

۳. مدل ارزیابی درجه‌ی هوشمندی مورد نیاز برای یک ساختمان

برای نیل به محورها و معیارهای مهم در ارزیابی هوشمندی ساختمان در اقدامی به‌منظور کسب نظرسنجی از خبرگان، کلیه‌ی محورهای مطرح برای ارزیابی هوش ساختمان (مطابق جدول ۱) در معرض دید ۱۲ فرد خبره که آشنا به زمینه‌های معماری و ساختمان بوده‌اند قرار گرفت و از طریق مصاحبه و به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری گروهی درجه‌ی ضرورت وجودی هریک از محورها و همچنین معیارهای مرتبط با آنها در قالب یک مقیاس پنج‌تایی لیکرت (معادل ۱ تا ۵) به دست آمده است. برای این منظور محورها و معیارهایی که از امتیاز میانگین بیش از ۳ برخوردارند استخراج، و لزوم توجه به محورها و معیارهای دیگر نیز مورد سؤال واقع شده است. از آنجا که هدف اصلی این نوشتار بیان روش ارزیابی درجه‌ی هوشمندی ساختمان به‌همراه اجرای مطالعه‌ی موردی در یک سازمان است، جدول‌های داده‌یی این بخش ارائه نشده و نتیجه‌ی نهایی آن مطابق آنچه که در ادامه آمده توصیف خواهد شد.

مطابق نتایج حاصله ۸ محور اصلی به‌عنوان موضوعات اساسی برای ارزیابی و سنجش هوشمندی ساختمان مورد توجه قرار می‌گیرد که هریک از آنها معیارهایی را شامل می‌شوند که معرف وضعیت آن محور است:

۱. ویژگی مکانی ساختمان: شامل سهولت دسترسی کارکنان و مراجعه‌کنندگان به مکان ساختمان، سهولت دسترسی به جاده‌ها و حمل‌ونقل عمومی، میزان نزدیکی به پارکینگ‌های عمومی، میزان ظرفیت پارکینگ ساختمان، سهولت دسترسی به شبکه‌ی آب‌رسانی، سهولت دسترسی به شبکه‌ی مخابراتی و داده، سهولت دسترسی به شبکه‌ی برق، سهولت دسترسی به منابع انرژی سوختی، سهولت دسترسی به منابع تأمین نیروی کار.

۲. ایمنی و سلامت ساختمان: شامل عدم استفاده از مواد خطرناک در ساختمان؛ وجود سیستم هشدار، اعلام و مقابله با حریق؛ وجود سیستم آشکارسازی و مقابله با زلزله؛ وجود سیستم آشکارسازی و مقابله با سیل؛ وجود سیستم آشکارسازی و مقابله با شرایط بد آب و هوایی محیط بیرونی؛ وجود خدمات بهداشتی و تسهیلات درمانی؛ وجود تسهیلات مرتبط با شرایط اضطراری (شبیه پله فرار).

۳. هویت ساختمان: شامل تناسب ساختمان با اهداف سازمانی، سهولت تشخیص ساختمان، زیبایی محیط داخلی، زیبایی محوطه‌ها، تصویر و نمای خارجی، استفاده از شیشه‌ی هوشمند.

۴. راحتی در ساختمان: شامل وجود سیستم‌های کنترل روشنایی، وجود سیستم‌های کنترل آسانسور، وجود سیستم‌های کنترل درجه حرارت هوای محیط (HVAC[۱۲])، وجود سیستم‌های ایجاد هوای تازه در محیط، وجود سیستم‌های ایجاد بوی مطبوع در محیط، وجود سیستم‌های کنترل فشار هوا، وجود سیستم‌های آبیاری هوشمند، تخصیص میزان فضای کافی به هر شخص در ساختمان، قابلیت کنترل شخصی محیط توسط افراد، سهولت جابه‌جایی در ساختمان، سهولت جابه‌جایی و دسترسی ساده‌ی افراد ناتوان، وجود سیستم‌های دریافت فرامین صوتی، وجود سیستم‌های کنترل رطوبت، وجود سیستم‌های برق اضطراری.

۵. امنیت ساختمان: شامل وجود سیستم‌های کنترل دسترسی و تردد هوشمند، وجود سیستم‌های ردیابی هوشمند کارکنان و مراجعین، وجود نظارت بصری درون و برون ساختمان (دوربین‌های مداربسته)، وجود سیستم‌های هشدار مزاحمت، وجود نگهبانی فیزیکی شبانه‌روزی، وجود سیستم‌های امنیت اطلاعات و شبکه‌ی ارتباطی.

۶. سیستم‌های ارتباطی ساختمان: شامل وجود شبکه‌های رایانه‌یی در ساختمان (اینترانت)، امکان ارتباط به اینترنت، وجود سیستم‌های ویدئوکنفرانس، وجود خطوط تلفن، وجود سیستم‌های اطلاعاتی و اتوماسیون دفتری، وجود تابلوهای اعلانات هوشمند در ساختمان.

۷. مدیریت سیستم‌ها: شامل میزان یک‌پارچه‌سازی سیستم‌های مدیریت ساختمان و مشارکت در تبادل اطلاعات، انعطاف‌پذیری سیستم‌های مدیریت ساختمان، تطابق سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مدیریت ساختمان با استانداردهای معتبر جهانی، امکان مستندسازی و ثبت به‌روز گزارشات سیستم‌ها، وجود سیستم‌های مدیریت تأسیسات و تجهیزات (مدیریت فضا و جابه‌جایی و جایابی تجهیزات)، مدیریت صرفه‌جویی انرژی و استفاده از انرژی‌های جدید، مدیریت خطرپذیری و ارزیابی خطرات در سیستم‌های امنیتی و ایمنی.

۸. خدمات و پشتیبانی سیستم‌های هوشمند مورد استفاده: شامل وجود خدمات

مستمر و مناسب سیستم‌ها، قابلیت و سهولت تعمیر و نگه‌داری سیستم‌ها، صرفه‌جویی در هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری و پشتیبانی سیستم‌ها.

۱.۳. روش‌شناختی اجرای مدل و تحلیل نتایج

برای اجرای مدل فوق و تعیین درجه‌ی هوشمندی مورد نیاز یک ساختمان پیرامون مطلوبیت هریک از معیارهای ذکر شده، با استفاده از مقیاس پنج‌نقطه‌یی لیکرت اقدام به نظرسنجی می‌شود. همچنین اهمیت نسبی (وزن) محورها و معیارهای فوق‌الذکر مبتنی‌بر یک روش ریاضی(SMART[۱۳]) مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.[۲۳] بدین‌منظور نظرات خبرگان آشنا به عملکرد سازمانی که در این ساختمان مستقر هستند، در چارچوب سؤالات یک پرسش‌نامه بررسی می‌شود. هرچه تعداد افراد خبره بیشتر باشد، دقت اطلاعات حاصله بیشتر خواهد بود. برای بررسی اعتبار پرسش‌نامه نیز می‌توان از تست آلفای کرون‌باخ[۱۴] استفاده کرد. جزئیات اجرای مدل در ادامه آمده است.

اگر i و j به‌ترتیب به‌عنوان شاخص معرف هر محور و معیار فرض شوند، و k نیز شاخص معرف هریک از خبرگان باشد، مراحل اجرای مدل با توجه به سؤالات ارائه‌شده در پرسش‌نامه ذکر می‌شود:

الف) اگر اهمیت نسبی محور iام از دید شخص kام در مقایسه با محور اول که عدد ۱۰ برای آن منظور شده است برابر p_{ik} باشد، آنگاه:

$$B_k = \sum_i p_{ik} \quad \text{و} \quad p_{1k} = 10 \qquad (1)$$

حال مقادیر p_{ik} را در عدد $\frac{100}{B_k}$ ضرب می‌کنیم تا مجموع اعداد به مقدار ۱۰۰ نرمالیزه شود. مقادیر جدید را به‌عنوان وزن (اهمیت نسبی) هریک از محورهای هشت‌گانه درنظرگرفته، و میانگین نظرات دریافتی کارشناسان را محاسبه می‌کنیم. برای محور iام این مقدار را W_i می‌نامیم.

ب) وزن اهمیت معیار jام از محور iام را به‌شیوه‌ی بند الف نرمالیزه کرده و میانگین نظرات دریافتی را محاسبه و آن را w_{ij} می‌نامیم.

ج) میانگین مطلوبیت معیار jام از محور iام را محاسبه می‌کنیم. برای این‌منظور معادل عددی هریک از ستون‌های پنج‌گانه (مقیاس لیکرت)، به‌ترتیب از خیلی کم تا بسیار زیاد برابر ۱ تا ۵ منظور می‌شود. این مقدار را u_{ij} می‌نامیم.

د) مطلوبیت محور iام U_i با استفاده از میانگین موزون مطلوبیت معیارهای مرتبط با آن محور مطابق رابطه‌ی ۲ تعیین می‌شود. واضح است که این مقدار عددی بین ۱ تا ۵ خواهد بود.

$$U_i = \frac{\sum_j w_{ij} u_{ij}}{\sum_j w_{ij} = 100} \qquad (2)$$

هـ) مطلوبیت کل U با توجه به مطلوبیت تک‌تک محورها، و وزن آنها نیز مطابق رابطه‌ی ۳ تعیین می‌شود.

$$U = \frac{\sum_i U_i W_i}{\sum_i W_i = 100} \qquad (3)$$

مقدار U نیز عددی بین ۱ تا ۵ خواهد بود که نشان‌گر میزان مطلوبیت هوشمندی ساختمان مورد نظر خواهد بود. به‌بیان بهتر، سطح هوشمندی مورد نیاز در ساختمان

جدول ۲. سطوح مختلف هوشمندی ساختمان.

درجه	مصداق
ضعیف	$L < 40$
متوسط	$40 <= L < 70$
خوب	$70 <= L < 90$
عالی	$L >= 90$

براساس این مدل تعیین خواهد شد. اگر این سطح را با پارامتر L نشان دهیم برای محاسبه‌ی درصد آن از رابطه‌ی ۴ استفاده می‌کنیم:

$$L = \frac{U}{5} \times 100 \qquad (4)$$

بدین ترتیب اگر مطلوبیت بیش از عدد ۴٫۵ را معادل هوشمندی عالی، بین ۳٫۵ و ۴٫۵ را معادل هوشمندی خوب، بین ۳٫۵ و ۲ را معادل هوشمندی متوسط، وکم‌تر از ۲ را معادل هوشمندی ضعیف تلقی کنیم چهار سطح هوشمندی مطابق جدول ۲ به دست می‌آید.

و) با توجه به روند فوق، علاوه بر تعیین سطح هوشمندی مورد نیاز برای ساختمان می‌توان با در نظرگرفتن مطلوبیت هریک از محورها اولویت توجه به هریک را تعیین کرد. همچنین اولویت هریک از معیارهای مرتبط با هر محور نیز با توجه به مطلوبیت آن معیار تعیین می‌شود و براین اساس می‌توان سیستم‌ها و تجهیزات هوشمند مورد نیاز را شناسایی کرد.

۲.۳. نتایج اجرای مدل در مجتمع ساختمانی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات

با توجه به این که وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات درصدد احداث مجتمعی بزرگ به‌منظور استقرار برخی از سازمان‌های مرتبط است، در این قسمت نتایج اجرای مدل فوق برای ارزیابی درجه‌ی هوشمندی مورد نیاز این مجتمع ارائه می‌شود. لازم به ذکر است که این وزارتخانه عهده‌دار توسعه‌ی فناوری اطلاعات در کشور است و به‌همین لحاظ این مطالعه از اهمیت ویژه‌یی برخوردار است. بدین‌منظور پرسش‌نامه‌ی تحقیق به تمامی سازمان‌های ذی‌ربط ارسال شد و نظرات کارشناسی دریافت شد. پاسخ‌گویان به پرسش‌نامه شامل مدیران و برخی از کارشناسان آشنا به شرح وظایف و عملکرد سازمان‌های ذی‌ربط بودند که بیش از ۵ سال سابقه کار

جدول ۳. اهمیت نسبی محورها.

محور	اهمیت نسبی (از مجموع ۱۰۰)
ویژگی مکانی ساختمان	۳
ایمنی و سلامت ساختمان	۱۶
هویت ساختمان	۶
راحتی در ساختمان	۱۳
امنیت ساختمان	۲۰
سیستم‌های ارتباطی ساختمان	۱۶
مدیریت سیستم‌ها	۱۰
خدمات و پشتیبانی سیستم‌ها در ساختمان	۱۶

جدول ۴. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور ویژگی مکانی ساختمان.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
ویژگی مکانی ساختمان	سهولت دسترسی کارکنان، مراجعه‌کنندگان و تأمین‌کنندگان به مکان ساختمان	۶	۴
	سهولت دسترسی به جاده‌ها و حمل و نقل عمومی	۶	۳
	میزان نزدیکی به پارکینگ‌های عمومی	۳	۳
	میزان ظرفیت پارکینگ ساختمان	۳	۴
	سهولت دسترسی به شبکه‌ی آب‌رسانی	۱۷	۵
	سهولت دسترسی به شبکه‌ی مخابراتی و داده	۲۴	۴
	سهولت دسترسی به شبکه‌ی برق	۱۷	۴
	سهولت دسترسی به منابع انرژی سوختی	۱۲	۳
	سهولت دسترسی به منابع تأمین نیروی کار	۱۲	۳

جدول ۵. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور هویت ساختمان.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
هویت ساختمان	تناسب ساختمان با اهداف سازمانی	۲۰	۴
	سهولت تشخیص ساختمان	۲۷	۴
	زیبایی محیط داخلی	۱۴	۴
	زیبایی محوطه‌ها	۱۰	۳
	تصویر و نمای خارجی	۱۷	۴
	استفاده از شیشه‌ی هوشمند	۱۲	۴

جدول ۶. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور ایمنی و سلامت ساختمان.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
ایمنی و سلامت ساختمان	عدم استفاده از مواد خطرناک در ساختمان (شبیه مواد پلاستیکی خاص . . .)	۹	۵
	وجود سیستم هشدار، اعلام و مقابله با حریق	۱۸	۵
	وجود سیستم آشکارسازی و مقابله با زلزله	۲۷	۵
	وجود سیستم آشکارسازی و مقابله با سیل	۵	۳
	وجود سیستم آشکارسازی و مقابله با شرایط بد آب و هوایی محیط بیرونی	۹	۳
	وجود خدمات بهداشتی و تسهیلات درمانی	۱۴	۴
	وجود تسهیلات مرتبط با شرایط اضطراری شبیه پله فرار	۱۸	۴

جدول ۷. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور سیستم‌های ارتباطی.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
سیستم‌های ارتباطی ساختمان	وجود شبکه‌های رایانه‌یی در ساختمان (اینترانت)	۱۶	۵
	امکان ارتباط به اینترنت	۱۶	۵
	وجود سیستم‌های ویدئوکنفرانس	۱۲	۴
	وجود خطوط تلفن	۳۱	۵
	وجود سیستم‌های اطلاعاتی و اتوماسیون دفتری	۱۵	۴
	وجود تابلوهای اعلانات هوشمند در ساختمان	۱۰	۳

جدول ۸. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور راحتی در ساختمان.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
راحتی در ساختمان	وجود سیستم‌های کنترل روشنایی	۲	۴
	وجود سیستم‌های کنترل آسانسور	۱۰	۴
	وجود سیستم‌های کنترل درجه حرارت هوای محیط (VAV) و HVAC)	۱۵	۵
	وجود سیستم‌های ایجاد هوای تازه در محیط	۹	۴
	وجود سیستم‌های ایجاد بوی مطبوع در محیط	۱	۳
	وجود سیستم‌های کنترل فشار هوا	۷	۴
	وجود سیستم‌های آبیاری هوشمند	۲	۲
	تخصیص میزان فضای کافی به هر شخص در ساختمان	۱۱	۴
	قابلیت کنترل شخصی محیط توسط افراد	۵	۳
	سهولت جابه‌جایی در ساختمان	۶	۴
	سهولت جابه‌جایی و دسترسی ساده افراد ناتوان	۲	۳
	وجود سیستم‌های دریافت فرامین صوتی	۱	۲
	وجود سیستم‌های کنترل رطوبت	۱۴	۵
	وجود سیستم‌های برق اضطراری	۱۵	۵

جدول ۹. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور امنیت ساختمان.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
امنیت ساختمان	وجود سیستم‌های کنترل دسترسی و تردد هوشمند	۱۹	۵
	وجود سیستم‌های ردیابی هوشمند کارکنان و مراجعین	۷	۳
	وجود نظارت بصری درون و برون ساختمان (دوربین‌های مداربسته)	۱۶	۴
	وجود سیستم‌های هشدار مزاحمت	۱۰	۴
	وجود نگهبانی فیزیکی شبانه‌روزی	۱۶	۵
	وجود سیستم‌های امنیت اطلاعات و شبکه‌ی ارتباطی	۳۲	۵

جدول ۱۰. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور خدمات و پشتیبانی سیستم‌ها.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
خدمات و پشتیبانی سیستم‌ها	وجود خدمات مستمر و مناسب سیستم‌ها	۴۰	۵
	قابلیت و سهولت تعمیر و نگه‌داری سیستم‌ها	۴۰	۵
	صرفه جویی در هزینه‌های تعمیر و نگه‌داری و پشتیبانی سیستم‌ها	۲۰	۴

داشته‌اند. ۳۲ پرسش‌نامه از مجموع پرسش‌نامه‌های ارسالی دریافت شد. به‌منظور حفظ اعتبار و پایایی، پرسش‌نامه‌ی مورد نظر در ابتدا توسط ۳ نفر از خبرگان مطالعه، و اشکالات موجود شناسایی و برطرف شد. همچنین با استفاده از تست آلفای کرون‌باخ، مقدار آلفای کرون‌باخ برای پرسش‌نامه از طریق نرم‌افزار SPSS برابر ۰٫۸۸ محاسبه شد که گویای اعتبار پرسش‌نامه است.

با توجه به روش‌شناختی اجرای مدل و مبتنی بر اطلاعات دریافتی اهمیت نسبی هریک از محورها بعد از نرمالیزاسیون (w_i) و همچنین اهمیت نسبی هریک از معیارها و مطلوبیت آنها در جداول ۳ تا ۱۱ آمده است:[۲۴]

با توجه به اطلاعات مندرج در جداول فوق مطلوبیت هر محور (U_i) در جدول ۱۲ آمده است:

مطلوبیت کل (U) با توجه به مطلوبیت تک‌تک محورها و وزن آنها برابر ۴٫۴۴ خواهد بود و بر این اساس سطح هوشمندی مورد نیاز (L) برابر ۸۸ درصد محاسبه می‌شود. بدین معنا که درجه هوشمندی در سطح خوب مورد نیاز است.

۳.۳. شناسایی نیازمندی‌های مجتمع ساختمانی مبتنی بر تحلیل نتایج مدل

با توجه به نتایج حاصل از اجرای مدل ارزیابی درجه‌ی هوشمندی مجتمع ساختمانی مورد نظر، می‌توان درخصوص نیازمندی‌های این مجتمع چنین بیان کرد:

۱. میزان هوشمندی مورد نیاز مجتمع ساختمانی با توجه به مدل ارائه شده در این تحقیق لازم است در سطح خوب (۸۸ درصد) قرارگیرد؛ لذا اعمال ملاحظات

جدول ۱۱. اهمیت نسبی و مطلوبیت معیارهای مرتبط با محور مدیریت سیستم‌ها.

محور	معیار	اهمیت نسبی (وزن) (از مجموع ۱۰۰)	مطلوبیت تحقق در مجتمع ساختمانی
مدیریت سیستم‌ها	میزان یک‌پارچه‌سازی سیستم‌های مدیریت ساختمان و مشارکت در تبادل اطلاعات	۱۱	۴
	انعطاف‌پذیری سیستم‌های مدیریت ساختمان	۱۶	۴
	تطابق سیستم‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری مدیریت ساختمان با استانداردهای معتبر جهانی	۲۱	۵
	امکان مستندسازی و ثبت به‌روز گزارشات سیستم‌ها	۲۱	۵
	وجود سیستم‌های مدیریت تأسیسات و تجهیزات (مدیریت فضا و جابه‌جایی و جایابی تجهیزات)	۱۱	۴
	مدیریت در صرفه‌جویی انرژی و استفاده از انرژی‌های جدید	۱۱	۳
	مدیریت خطرپذیری و ارزیابی خطرات در سیستم‌های امنیتی و ایمنی	۹	۳

جدول ۱۲. مطلوبیت تحقق هریک از محورهای مؤثر در هوشمندی مجتمع ساختمانی.

محور	مطلوبیت
ویژگی مکانی ساختمان	۳/۸۴
ایمنی و سلامت ساختمان	۴/۴
هویت ساختمان	۳/۹
راحتی در ساختمان	۴/۳
امنیت ساختمان	۴/۶
سیستم‌های ارتباطی ساختمان	۴/۵۳
مدیریت سیستم‌ها	۴/۲۲
خدمات و پشتیبانی سیستم‌ها در ساختمان	۴/۸

مرتبط با برخی از محورها و معیارها درخصوص مجتمع ساختمانی مورد نظر ضرورتی ندارد.

۲. با توجه به نتایج مطلوبیت هریک از محورهای هشت‌گانه‌ی مبتنی بر اجرای مدل، اولویت توجه به آنها در طراحی مجتمع ساختمانی مورد نظر مطابق جدول ۱۳ خواهد بود.

با توجه به جدول ۱۳ و نیز جداول مطلوبیت معیارهای هریک از محورها که در قسمت قبل آمده است می‌توان گفت:

جدول ۱۳. اولویت توجه به محورهای مؤثر در هوشمندی مجتمع ساختمانی.

محور	مطلوبیت
خدمات و پشتیبانی سیستم‌ها در ساختمان	۴/۸
امنیت ساختمان	۴/۶
سیستم‌های ارتباطی ساختمان	۴/۵۳
ایمنی و سلامت ساختمان	۴/۴
مدیریت سیستم‌ها	۴/۲۲
راحتی در ساختمان	۴/۳
هویت ساختمان	۳/۹
ویژگی مکانی ساختمان	۳/۸۴

الف) ۴ سیستم مرتبط با محورهای دارای مطلوبیت زیاد و بسیار زیاد که در ادامه تشریح شده‌اند، در مجتمع ساختمانی مورد نظر از اهمیت خاصی برخوردارند:

۱. سیستم‌های امنیتی ساختمان به‌ویژه سیستم‌های کنترل دسترسی و تردد هوشمند، نظارت بصری درون و برون ساختمان در کنار نگهبانی فیزیکی ضمن توجه به امنیت اطلاعات و شبکه؛

۲. سیستم‌های ارتباطی به‌ویژه خطوط تلفن، شبکه‌های رایانه‌یی قابل ارتباط به اینترنت و سیستم‌های ویدئوکنفرانس؛

۳. سیستم‌های تأمین ایمنی و سلامت ساختمان به‌ویژه سیستم آشکارسازی و مقابله با زلزله، سیستم هشدار، اعلام و مقابله با حریق به‌همراه تسهیلات مرتبط با شرایط اضطراری (نظیر پله فرار) و وجود خدمات بهداشتی و تسهیلات درمانی؛

۴. سیستم‌های تأمین راحتی به‌ویژه سیستم‌های کنترل درجه حرارت هوای محیط، کنترل رطوبت، سیستم‌های برق اضطراری، کنترل آسانسور، ایجاد هوای تازه در محیط همراه با تخصیص فضای کافی به هر شخص در ساختمان.

ب) موضوع خدمات و پشتیبانی سیستم‌های مورد استفاده بدون توجه به نوع آنها در اولویت نخست قرار دارد؛ بنابر این توجه ویژه به استمرار خدمات مناسب و نیز به قابلیت و سهولت تعمیر و نگه‌داری سیستم‌های یادشده در مجتمع بسیار ضروری است.

به‌منظور بررسی اعتبار کلی اجرای مدل، نتایج یادشده در جلسه‌یی به‌صورت حضوری برای ۲۵ نفر از مدیران وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات ارائه شد که تقریباً همه اعضای جلسه صحت و درستی آنها را تصدیق کردند.

۴. نتیجه‌گیری

بی‌شک به‌کارگیری فناوری اطلاعات در ساختمان موجد تأثیراتی در چگونگی ساخت، ساختار و معماری خواهد بود که از آن جمله می‌توان به ایجاد ساختمان‌های مدرن و هوشمند اشاره کرد. چنین ساختمان‌هایی با بهره‌گیری مناسب از فناوری ارتباطات و اطلاعات سعی در ایجاد محیطی مطلوب برای تأمین کلیه‌ی نیازمندی‌های ساکنین

خواهند داشت. تعیین سطح هوشمندی مورد نیاز ساختمان به عوامل متعدد (نظیر نوع مأموریت‌ها و وظایف سازمانی) بستگی دارد که لازم است در مرحله‌ی طراحی مفهومی ساختمان‌های امروزی مورد ارزیابی قرارگیرد. مدل ارائه شده در این نوشتار در مقایسه با معدود کارهای گزارش شده در منابع خارجی در عین سادگی اجرا، روندی جامع را برای ارزیابی مفهوم هوشمندی ساختمان ارائه می‌کند. به‌عبارت دیگر چنان که در بخش ادبیات نوشتار مطرح شد، مفهوم هوشمندی ساختمان مبتنی بر ۸ محور است که همه‌ی زوایای مهم هوش در ساختمان را مد نظر دارد. علاوه بر آن، این مدل به‌صورت نمونه در مجتمع ساختمانی وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات پیاده شده که نتایج آن بیانگر لزوم وجود هوشمندی در سطح خوب (۸۸ درصدی) در این مجتمع است. براین اساس اهمیت وجودی برخی از سیستم‌ها در این مجتمع تأیید و مورد تأکید قرارگرفته است که جزئیات آن در بخش مربوطه به‌تفصیل آمده است.

پانوشت

1. Information Technology
2. Netware
3. Storage
4. Manipulation
5. Transmission
6. Management
7. Movement
8. Exchange
9. Control
10. Switching
11. Automatic Acquisition
12. Heating Ventilating and Air Conditioning
13. Simple Multiattribute Rating Technique
14. Cronbach's Alpha

منابع

1. Freeman, P. and Aspray, W. "The supply of information technology workers in the united states", Washington D.C., Computing Research Association, (1999).
2. Research and Training Institute for Management and Development Planning, Management and Planning Organization, *Proceedings of the conference of the challenges and prospects of Iran development* (third report), provider: The office of research of technology development, Amirkabir University, (2002).
3. [online] available at: http://theses.univ-lyon2.fr /Theses2001/miribel_f/these_front.html, (July 2003).
4. Information Technology Institute of Tarbiat Modarres University, "Forecasting of the Iranian required experts in the field of information technology", Third report, (2003).
5. Fathian M. and Mahadavinoor H. "Rush to the information society", Dibagaran, (2004).
6. Doherty J.M. "A survey of computer use in the new zealand building and construction industry", *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, **2**: http://itcon.org, (June 1999).
7. Futcher K.G. and Rowlinson S. "Information technology used by Hong Kong contractors," *Proceedings of the CIB-W78 Conference*, "The Life-Cycle of Construction IT Innovation-Technology transfer from research to practice" (Bjork B.C. and Jagbeck A., Editors), Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, pp. 245-256 (1998).
8. Futcher, K.G. and Rowlinson, S.I.T. "Survey within the construction industry of Hong Kong," 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, **4**, Information Technology in Construction, CIB W78 Workshop, (Lacasse M.A. and Vanier, D.J., Editors), NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, pp. 2306-2315 (1999).
9. Howard, R.; Kviniemi, A.; and Samuelsson "Surveys of IT in the construction industry and experience of the IT barometer in Scandinavia," *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, **3** : http://itcon.org, 13 pages, accessed on January 13, (1999).
10. Howard, R. and Samuelsson, O. "IT barometer-international comparison of IT in building", *Proceedings of the CIB Working Commission W78 Conference* "The Life-Cycle of Construction IT Innovation-Technology transfer from research to practice" (Bjork B.C. and Jagbeck A., Editors), Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, p. 257 (1998).
11. Industry Canada, "Survey of technology diffusion in service industries," Published in May 1997, http://strategis.ic.gc.ca/SSG, accessed on August 5, 1998.
12. O'Brien, M.J. and Al-Biqami, N.M. "Survey of information technology and the structure of the saudi arabian construction industry," 8th International Conference on Durability of Building Materials and Components, **4**, Information Technology in Construction, CIB W78 Workshop, (Lacasse, M.A. and Vanier, D.J., Editors), NRC Research Press, National Research Council of Canada, Ottawa, Canada, pp. 2327-2337 (1999).
13. Rivard, H.A. "Survey on the impact of information technology on the Canadian architecture, engineering and construction industry, *Electronic Journal of Information Technology in Construction*, **5**, http://itcon.org, accessed on January 2004.
14. Harrison, A.; Loe, E.; Read, J. "Intelligent building in south east asia," E&FN SPON, London, (1998).
15. Korner, W.M. "An intelligent and responsive architecture," *Automation in Construction*, **6**, (1997).
16. Wigginton, M.; Harris, J. "Intelligent skin", Architectural Press, Oxford, UK, (2002).
17. Clements-Croome, T.D.J. "What do we mean by intelligent building?", *Automation in construction*, **6**, (1997).
18. [online] available at: www.csi.stevens-tech.edu, (2005).

19. Yang, J., Peng, H. "Decision support to the application of intelligent building technologies," *Renwable Energy*, **22**, (2001).

20. [online] available at: www.chennaibest.com, (2005).

21. So, A.T.P.; Wong, A.C.W.; Wong, K.C. "A new definition of intelligent buildings for Asia," The Intelligent Building Index Manual, 2nd edition, Asian Institute of Intelligent Buildings, Hong Kong, (2001).

22. Chow, L. "The intelligent building index 10: health and sanitation," 3rd edition, Asian Institute of Intelligent Buildings, Hong Kong, (2004).

23. Asgharpour, M.J., Mutlicriteria decision making, Tehran University, (1998).

24. Fathian, M., The effect of information technology on the building complex of the ministry of information and communication technology, (2004).