

توسعه مدل پشتیبان تصمیم به منظور تسهیل تصمیم‌سازی در انتخاب سیستم‌های سرمایه‌ی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی

فرید مرتضوی^{۱*} - محمدحسین محمودی ساری^۲ - بهنود برمایه‌پور^۳

۱. دانشجوی دکتری مدیریت پروژه و ساخت، گروه مدیریت پروژه و ساخت، دانشکده معماری، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
۲. دانشیار گروه فناوری معماری (مدیریت پروژه و ساخت)، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران.
۳. استادیار گروه فناوری معماری (مدیریت پروژه و ساخت)، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۲۱ تاریخ اصلاحات: ۱۳۹۹/۰۹/۲۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۹/۱۰/۰۲ تاریخ انتشار: ۱۴۰۰/۰۹/۳۰

چکیده

برای مصرف بهینه انرژی به ویژه در ساختمان‌های غیرصنعتی، لازم است تا سیستم‌های سرمایه‌ی و گرمایشی به دقت و با هوشمندی انتخاب شوند. به این منظور، نیاز به سیستمی برای کمک به تصمیم‌گیری درست و در کوتاه‌ترین زمان برای مدیران پروژه‌ها که اغلب دارای نگرشی مدیریتی هستند و ممکن است در زمینه‌های خاص مهندسی از دانش و تخصص کمتری بهره‌مند باشند، کاملاً محسوس است. از این جهت، پژوهش پیش‌رو در نظر دارد تا زمینه مناسبی برای این امر ایجاد نموده و مدلی پشتیبان برای تسهیل تصمیم‌سازی در خصوص انتخاب سیستم‌های سرمایه‌ی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی ارائه نماید. در این پژوهش کاربردی، پس از مطالعات کتابخانه‌ای در خصوص ادبیات موضوع تحقیق، سیستم‌های متداول و معیارهای انتخاب از طریق بررسی اسناد و گزارش‌ها و نیز انجام مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته با گروهی از خبرگان تعیین و وزن‌دهی شدند. سپس، با استفاده از نرم افزار اکسل، مدل پایه ارائه و در ادامه محتویات مدل با بهره‌گیری از ظرفیت‌های روش دلفی تدقیق و درنهایت مدل طی مراحل و گام‌های مشخصی توسعه یافت. این مدل، با در نظر گرفتن معیارها و ریزمعیارها (اقتصادی: هزینه اولیه، هزینه بهره‌برداری و هزینه تعمیر و نگهداری؛ فنی: نیاز به تخصص نصب، کیفیت بازدهی و راندمان و متوسط عمر مفید نیاز به تخصص تعمیرات؛ معماری: فضای نصب، استقلال سیستم و فضای لازم برای تعمیر و پایداری: آلودگی زیست محیطی، متوسط مصرف آب و انرژی و دوام)، دوره‌ها (ساخت، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری) و شرایط پروژه در قالب ویژگی‌های اصلی نظیر اقلیم (توان سرمایه‌ی و گرمایش)، کلاس کیفیت (سطح هزینه) و مترژ (خصوصی و عمومی بودن پروژه) و نیز با امتیازدهی به سیستم‌های معرفی شده عمل می‌کند. در واقع، این سیستم پشتیبان تصمیم می‌تواند در شرایط گوناگون پروژه‌های متفاوت مورد استفاده قرار گیرد و گزینه مناسب و بهینه را در پایان فرآیند ارائه نماید.

واژگان کلیدی: مدل پشتیبان تصمیم، سیستم‌های سرمایه‌ی و گرمایشی، انرژی، ساختمان‌های غیرصنعتی و تأسیسات مکانیکی.

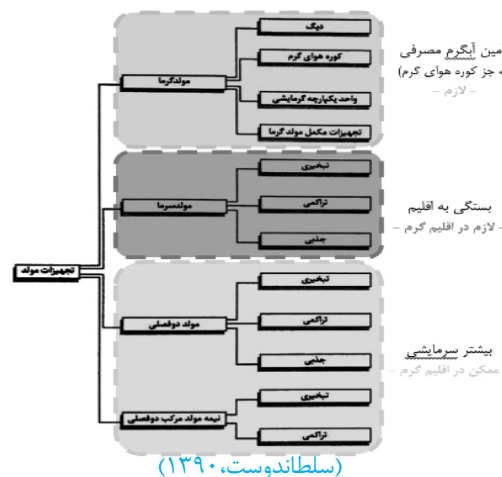
۱. مقدمه و بیان مسأله

در دهه‌های اخیر موضوع انرژی به یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های بشر تبدیل شده است. در کنار بحران‌های مختلف حوزه انرژی، افزایش رشد جمعیت نیز بر نگرانی‌ها در خصوص تأمین منابع انرژی افزوده است. در مقیاس جهانی، سهم صنعت ساخت و ساختمان‌ها از مصارف انرژی (IEA, 2018)، حدود ۴۰ درصد از کلیه مصارف بوده است (Cao, Xilei & Liu, 2016). انرژی بهره‌برداری ۸۰ الی ۹۰ درصد و انرژی نهان ۱۰ الی ۲۰ درصد مجموع انرژی‌های مصرف شده در ساختمان را شامل می‌شود (Ramesh, Prakash, & Shukla, 2010). بخش اعظم انرژی بهره‌برداری یعنی حدود ۶۰ الی ۷۰ درصد آن، صرف مصارف سرمایش و گرمایش می‌شود که این نسبت، درصد قابل توجهی است (Allouhi, 2015). بنابراین، چاره‌اندیشی در حوزه انرژی ساختمان علی‌الخصوص امکانات و تجهیزات سرمایشی و گرمایشی، می‌تواند منجر به صرفه‌جویی در بخش عظیمی از مصارف شود. به عبارت دیگر، امروزه، در راستای دستیابی به اهداف توسعه پایدار، انتخاب اصولی و بهینه‌ی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌ها به ویژه در بافت غیرصنعتی، امری ضروری و بسیار مهم است. تاکنون، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی به ویژه در ساختمان‌های غیرصنعتی، به طور غالب از منظر مهندسی تاسیسات مکانیکی و با استراتژی مورد پژوهی، مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Asif et al., 2017; Asif & Muneer, 2007)؛ این در حالی است که به نظر می‌رسد که تحقیقی جامع با رویکرد مدیریت پروژه (با تمرکز بر تصمیم‌سازی)، به طور تقریبی روی این سیستم‌ها صورت نگرفته است. در واقع، نیاز به سیستمی جهت پشتیبانی تصمیم (DSS) به ویژه برای مدیران پروژه که ممکن است از دانش فنی کمتری برخوردار باشند، برای انتخاب سریع، صحیح و اقتصادی سیستم تأسیساتی در پروژه‌های متفاوت وجود دارد. از این‌رو، هدف اصلی این پژوهش توسعه مدلی پشتیبان برای تسهیل تصمیم‌سازی در خصوص انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی می‌باشد.

۲. ادبیات موضوع

در ادامه به بررسی ادبیات مرتبط با موضوع پرداخته شده است.

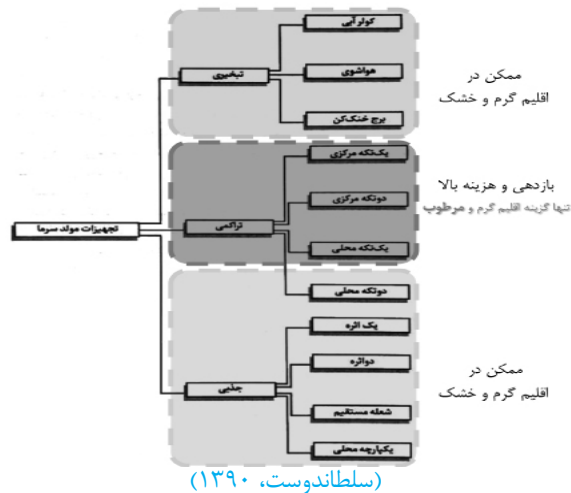
شکل ۱: دسته‌بندی تجهیزات مولد



۲-۱- سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی

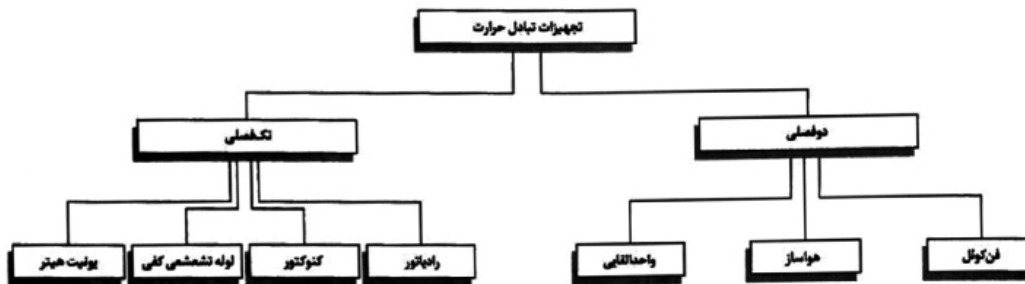
به طور کلی تقسیم‌بندی‌های مختلف و طبقه‌بندی‌های متنوعی برای سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی ساختمان‌ها با کاربری‌های گوناگون ارائه شده است. در این خصوص، انجمن مهندسی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا (ASHRAE) که از مراجع مهم و معتبر طراحی تأسیسات مکانیکی در جهان به شمار می‌آید در دفترچه‌های راهنمای طراحی خود به ویژه در بخش سیستم‌ها و تجهیزات که به منظور راهنمایی طراحان برای انتخاب و استفاده تجهیزات منتشر شده است، موارد را به تفکیک سیستم‌های تهویه مطبوع و گرمایشی، تجهیزات و عناصر کنترل هوا، تجهیزات و عناصر گرمایشی، تجهیزات پکیجی، و عناصر سرمایشی، عناصر عمومی، تجهیزات پکیجی، یکپارچه و سیستم اسپلیت و در نهایت موارد عمومی شامل ذخیره گرمایش و کدها و استانداردها فهرست‌بندی نموده است (ASHRAE, 2016). این تقسیم‌بندی مبتنی بر تجهیزات تبادل حرارت (غیر مرکزی، مرکزی، سیستم‌های ترمینال درون فضا، سرمایش و گرمایش پنی، سیستم‌های توأمان گرما و انرژی و غیره)، تجهیزات هدایت و کنترل هوا (کانال‌ها، تجهیزات پخش هوا، فن‌ها، رطوبت‌زننده‌ها، کویل‌های خنک‌کننده و رطوبت‌گیر هوا و غیره)، تجهیزات مولد گرمایش (سیستم‌های اتوماتیک سوزاننده سوخت، مشعل‌ها، کوره‌ها، تجهیزات گرمایشی داخل فضای مسکونی، سیستم‌های دودکش، ونت و شومینه، واحدهای هیدرولیکی پخش گرما رادیاتورها و تجهیزات انرژی خورشیدی) و سرمایش (کمپرسورها، کندانسورها، برج‌های خنک‌کننده، تجهیزات هوا خنک‌کننده، خنک‌کننده‌های مایع، سیستم‌های مایع خنک) و تجهیزات عمومی (پمپ‌ها، موتورها، شیرها و غیره) است (ASHRAE, 2016). بر همین اساس، به طور کلی تأسیسات گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع را می‌توان در چهار دسته تجهیزات مولد، تجهیزات تبادل حرارت، تجهیزات انتقال و توزیع و تجهیزات رطوبت‌زنی، رطوبت‌گیری و پاکسازی طبقه‌بندی کرد (شکل‌های ۱ تا ۳) (سلطان‌دوست، ۱۳۹۰).

شکل ۲: دسته‌بندی تجهیزات مولد سرما



(سلطان‌دوست، ۱۳۹۰)

شکل ۳: دسته‌بندی تجهیزات تبادل حرارت



(سلطان‌دوست، ۱۳۹۰)

۲-۲- معیارهای انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی

معیارهای متعددی برای حوزه‌های سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌ها ارائه شده است. در این ارتباط، از منظر انجمن مهندسين گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا، «همکاری مهندس طراح و مالک برای شناسایی و اولویت‌بندی معیارها در ارتباط با هدف طراحی امری ضروری است. معیار آسایش ساکنین، تولید گرمایش، سرمایش و تهویه فضا باید شامل موارد زیر باشد: دما، رطوبت، جریان هوا، خلوص یا کیفیت هوا، تعویض هوا در ساعت، نیازمندی‌های سرعت هوا و یا آب، اقلیم محلی، نیازمندی‌های فشار فضا، نیازمندی‌های ظرفیت ماحصل تحلیل محاسبات بار، اضافات، نیازمندی‌های فضایی، دغدغه‌های امنیتی، هزینه اولیه، هزینه‌های انرژی، هزینه‌های نیروی عملیاتی، هزینه‌های تعمیر و نگهداری، اطمینان‌پذیری، انعطاف‌پذیری، کنترل‌پذیری، تحلیل چرخه عمر، پایداری در طراحی، صدا و لرزش، جلوگیری از قارچ و کپک‌زدگی» (ASHRAE, 2016). این موارد تنها بخشی از معیارهای گفته شده است. نیازهایی که از سوی مالک تعیین می‌شود (شامل مواردی از جمله تاریخ ورود ساکنین، آموزش استفاده، ارتقاء محیط خالی از باکتری و غیره)،

محدودیت‌های سیستم (شامل محدودیت‌های عملکردی برای مثال دما، رطوبت و فشار فضا، نیازمندی‌های مقرراتی، ظرفیت موجود، فضای موجود، منبع کاربری موجود، زیرساخت موجود، معماری ساختمان، کارایی سیستم در برابر بودجه انرژی، ظرفیت‌ها و دانش بهره‌بردار و ساکنان حاضر ساختمان)، محدودیت‌های ساخت (شامل وضع موجود مانند بار طبقه و مسیرهای ارتباطی و ورود به ساختمان، تخریب، دستکاری در ساختمان، نگهداری از ساکنان و بهره‌برداری موجود ساختمان، هزینه ساخت، برنامه ساخت، توان نصب سیستم‌های سرمایشی، گرمایشی و تهویه مطبوع، حاضر بودن تجهیزات، ورود تجهیزات به محیط طرح و تعمیر و نگهداری از تجهیزات) و مواردی دیگر شامل کنترل سرمایش و رطوبت، تأمین کارایی گرما، محدودیت‌های بودجه ساخت، مصرف پایدار انرژی و قابلیت بهره‌برداری، جهت تحلیل و انتخاب سیستم، پیشنهاد شده است (جدول ۱) (ASHRAE, 2016).

جدول ۱: ماتریس نمونه برای تحلیل سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع

ملاحظات	سیستم شماره ۳	سیستم شماره ۲	سیستم شماره ۱	دسته‌بندی‌ها
				معیارهای انتخاب: بیشتر شامل موارد فنی و هزینه‌ای فاکتورهای مهم: شامل کلاس ساختمان و نیازمندی‌های آن
				سایر اهداف: شامل کنترل‌های دیگر، استانداردها و ضوابط و سطوح اتوماسیون
				محدودیت‌های سیستم: شامل مواردی که تأمین آن‌ها در شرایط موجود امکان‌پذیر نیست.
				مصرف انرژی به گونه‌ای که میزان آن توسط مدل‌سازی کامپیوتری پیش بینی شده و مورد قبول صنعت باشد.
				سایر محدودیت‌ها
				جمع امتیازها

(ASHRAE, 2016)

مکانیکی پروژه‌ها و نیز فرآیند طراحی و توسعه این مدل می‌باشد.

۳. روش تحقیق

در این پژوهش کاربردی، ضمن بهره‌گیری از ظرفیت‌های استدلال یا گواه‌آوری استقرایی یا جزء به کل و نیز بنیان فلسفی پراگماتیسم یا عمل‌گرایی، با توجه به ماهیت و جوهره موضوعی پژوهش و در راستای تبدیل تجربه عملی به نظری، پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای در خصوص ادبیات موضوع سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع (HVAC) و معیارهای تصمیم‌سازی در خصوص انتخاب این سیستم‌ها در حیطه ساختمان‌های غیرصنعتی، چارچوب نظری پژوهش شکل گرفت. سپس، با توجه به مسأله تحقیق، سیستم‌های متداول و معیارهای انتخاب، با رویکردی ترکیبی (کیفی-کمی) و از طریق واکاوی اسناد و گزارش‌ها و نیز تحلیل مصاحبه‌های نیمه ساختاریافته انجام شده با گروهی از خبرگان (به عنوان مثال، طراحان تأسیسات مکانیکی فعال در زمینه ساختمان‌های غیرصنعتی و همچنین با مدیران پروژه چند شرکت مطرح در زمینه طراحی معماری و مهندسی کشور) تعیین و وزن‌دهی شدند. پس از آن، به کمک نرم‌افزار اکسل (Microsoft Excel) و بر مبنای سیستم پشتیبان تصمیم و با رویکرد پویایی سیستم، مدلی حاوی شرایط پایه (شرایط عمومی یا Base) شامل معیارها، دوره‌ها و زیرمعیارهای وزن‌دهی شده و نیز شرایط خاص یا ویژگی‌های پروژه (شرایط Case مدنظر) شامل ویژگی‌های وزن‌دهی شده به لحاظ اهمیت (کلاس کیفی، مترآز و توان سرمایشی و گرمایشی) ساخته شد و در ادامه محتویات

به بیان دیگر معیارها در قالب عملکردهای مختلفی همچون فنی، زیست محیطی، اقتصادی و غیره قابل تبیین هستند (Jia, 2010):

- عملکرد فنی: شامل زیرمعیارهای اثربخشی، اطمینان‌پذیری، قابلیت نگهداری و نیازمندی‌های فضایی.
- عملکرد زیست محیطی (تحلیل به کمک تحلیل چرخه عمر LCA) شامل گرمایش جهانی؛ توان بالقوه برای تضعیف اوزون، اسیدی‌سازی و کاهش منابع معدنی آب و خاک؛ کاهش سوخت‌های فسیلی؛ آلودگی هوا؛ سلامت انسان و غیره.
- عملکرد اقتصادی: شامل هزینه‌های اولیه، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری؛ سایر هزینه‌های دوره‌ای مانند بیمه، مالیات‌های بر دارایی و درآمد؛ بازسازی یا اسقاط و همچنین نرخ‌های بهره و تنزیل.
- عملکرد استاندارد LEED (امتیازدهی سیستم ساختمان سبز) که بر اساس استانداردهای مربوطه و شاخص‌هایی همچون بهبود عملکرد انرژی، مدیریت پیشرفته مبرد و غیره سنجیده می‌شود. استانداردهای دیگری مانند EDGE که تحت نظارت واحد فاینانس بین‌المللی گروه بانک جهانی است، در کشورهای درحال توسعه مورد توجه قرار گرفته است (World Bank Group, 2019). با توجه به مباحث مطرح شده و تبیین شکاف تحقیقاتی در حوزه تأسیسات مکانیکی ساختمان از منظر مدیریت پروژه، هدف اصلی این پژوهش عبارتند از: توسعه مدلی پشتیبان برای تسهیل تصمیم‌سازی در خصوص انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی. در همین راستا، نوآوری این پژوهش ارائه مفهوم مدل پشتیبان تصمیم در زمینه مدیریت تأسیسات

دارند را شناسایی و در مدل دخیل نمود. با توجه به موارد زمینه‌ای تعریف شده (شامل کلاس کیفی ساختمان، مترآژ و توان سرمایشی و گرمایشی یا راندمان سیستم مبتنی بر اقلیم) که دربردارنده مهم‌ترین محدودیت‌های طراحی خواهند شد، شرایط مخصوص پروژه تعریف شده و امتیاز معیارهای انتخاب سیستم با توجه به این موارد، تعدیل خواهد شد. سپس با توجه به امتیازهای تعریف شده برای هر سیستم و ضرب هر یک از این امتیازها در وزن تعریف شده برای معیار، امتیاز وزن‌دهی شده هر سیستم با عنایت به حساسیت‌های پروژه محاسبه شده و مورد مقایسه قرار می‌گیرد. از نتیجه این مقایسه، سیستمی که بیش‌ترین امتیاز را کسب کرده باشد به کاربر معرفی می‌شود. به منظور لحاظ نمودن نظرات کارفرمایی (که می‌تواند شامل سهولت استفاده ایشان یا دسترسی ساده‌تر به یکی از سیستم‌های معرفی شده یا هر ملاحظه دیگری باشد)، امتیازی غیرفنی نیز از وی برای هر یک از سیستم‌ها دریافت می‌گردد که در نهایت با تعیین وزن فنی (تعریف شده توسط خبرگان) و غیرفنی (امتیازهای کارفرمایی)، سیستم مطلوب توسط مدل پشتیبان تصمیم، انتخاب و معرفی می‌شود.

۴-۲- گام‌های توسعه مدل

در این بخش گام‌هایی که برای توسعه مدل طی شده است مورد بحث قرار می‌گیرد. به صورت کلی این گام‌ها شامل موارد زیر هستند:

۱. شناسایی معیارها و سیستم‌ها،
۲. حذف و انتخاب معیارها و سیستم‌های نهایی،
۳. وزن‌دهی در شرایط پایه (Basic) معیارها و دوره‌ها،
۴. شناسایی و انتخاب ویژگی‌های مؤثر پروژه بر انتخاب سیستم،
۵. وزن‌دهی ویژگی‌های پروژه (Case) کلاس کیفیت، مترآژ و اقلیم،
۶. تعدیل وزن‌های شرایط پایه با توجه به ویژگی‌های پروژه،
۷. امتیازدهی به گزینه‌های سیستمی توسط خبرگان،
۸. اعمال وزن معیارها در امتیاز سیستم‌ها و انتخاب گزینه برتر،
۹. امتیازدهی کارفرما تعیین وزن فنی به غیر فنی،
۱۰. پیشنهاد سیستم مطلوب.

۴-۲-۱- گام نخست: شناسایی معیارها و سیستم‌ها

همانطور که در دو بخش ذیل عنوان ادبیات موضوع آمد، منابع مربوطه و مرجع در خصوص سیستم‌ها و معیارها مورد بررسی قرار گرفتند. مهم‌ترین این موارد در خصوص سیستم‌ها با تقسیم‌بندی ذکر شده، شامل موارد تولید گرمایش و سرمایش هستند. برای آب گرم بهداشتی نیاز به تأسیسات تولید آب گرم وجود دارد. بنابراین فرض

مدل با بهره‌گیری از ظرفیت‌های روش دلفی تدقیق و نهایتاً مدل طی مراحل و گام‌های مشخصی توسعه یافت. به بیان دیگر، مدل از طریق امتیازدهی به ویژگی‌ها در چهارچوب پروژه مدنظر، تراز شدن اوزان شرایط پایه با توجه به شرایط خاص پروژه، شرایط اقلیمی و تعیین دسته مورد نیاز و در نهایت معرفی گزینه‌ها، توسعه یافته و از این رهگذر مدل پژوهشی ارائه شد. سرانجام، به طور مجدد، مدل توسعه یافته پیشنهادی برای صحت‌سنجی تکمیلی و افزایش اعتبار (روایی و پایایی) پژوهش جهت نهایی شدن در اختیار متخصصین این حوزه قرار گرفت. گفتنی است که به دلیل پویا بودن مدل نهایی، امکان تغییر این وزن‌ها توسط کاربران مختلف در شرایط گوناگون پروژه‌ای وجود خواهد داشت.

۴. توسعه مدل

این عنوان شامل تبیین اقداماتی است که به منظور پاسخگویی به هدف تحقیق، جهت توسعه و ارائه مدل پشتیبان تصمیم برای تسهیل تصمیم‌سازی در خصوص انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی در ساختمان‌های غیرصنعتی صورت پذیرفته است. عنوان مذکور در بخش‌های زیر شکسته شده و به تفصیل مورد شرح و بررسی قرار گرفته است:

۱. چارچوب اصلی مدل،
۲. گام‌های توسعه مدل،
۳. ورودی‌ها، پردازش و خروجی‌ها،
۴. معرفی مدل توسعه یافته.

۴-۱- چارچوب اصلی مدل

به صورت کلی، مدل مذکور دارای چند جنبه است. جنبه نخست، معیارهای انتخاب سیستم است. از این رو لازم است تا دانسته شود که برای انتخاب یک سیستم چه معیارهایی باید مدنظر قرار گیرد. جنبه دوم، سیستم‌های موجود اصلی است که باید شناسایی و محدود شود. جنبه سوم، وزن‌دهی به معیارها و امتیازدهی به سیستم‌ها در قالب معیارهای تعریف شده است. لازم به ذکر است که این امتیازدهی‌ها با توجه به شرایط عمومی و در حالت کلی و نه با توجه به شرایط زمینه‌ای یا پروژه‌ای خاص صورت می‌پذیرد. از آن رو که مطابق موارد گفته شده و از جمله توصیه‌های مذکور در کتابچه‌های راهنمای ASHRAE، هر پروژه شرایط خاص خود را داشته که این شرایط محدودیت‌های ویژه خود را ایجاد می‌نماید. بدیهی است که لحاظ نمودن کلیه این محدودیت‌ها تنها با بررسی مورد به مورد هر یک از پروژه‌ها توسط تیم طراحی تأسیسات، مدیر پروژه و نظرات نمایندگان کارفرما و مالکین صورت خواهد پذیرفت. لیکن به منظور قابلیت استفاده از مدل در شرایطی شمول‌تر، می‌توان تعدادی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در انتخاب سیستم که جنبه‌ای زمینه‌ای (مبتنی بر پروژه)

بر استفاده از سیستم‌های آب گرم است. در خصوص سیستم‌های سرمایشی نیز مسأله در وهله نخست مربوط به نحوه تولید سرمایش (تبخیری، تراکمی و جذبی) است که در وهله بعدی، هر یک از این روش‌های تولید سرمایش به شیوه‌ای از انتقال مرتبط می‌شود. در خصوص معیارها، بارزترین دسته‌بندی به بخش‌های فنی، زیست‌محیطی و اقتصادی و البته محدودیت‌های سیستم باز می‌شود که در این خصوص توضیحات مربوطه ارائه شد.

۴-۲-۲- گام دوم: حذف و انتخاب معیارها و سیستم‌های نهایی

با بررسی گزارش‌های تأسیسات مکانیکی در خصوص چند ساختمان طراحی شده و در حال ساخت که شامل پروژه‌های ویلایی، ساختمان‌های متوسط (۵ طبقه) تا ساختمان‌های بلندتر (۱۲ طبقه) بودند و همچنین مصاحبه با دو گروه طراحان و مدیران پروژه شرکت طراحی معماری و هماهنگی مهندسی که این مدیران پروژه در حقیقت مدیریت پروژه طراحی و مذاکره با

تیم‌های کارفرمایی را به عهده داشتند مهم‌ترین و متداول‌ترین سیستم‌ها در مقیاس‌های متنوعی از پروژه‌ها استخراج گردید و سیستم‌های نهایی برای بررسی انتخاب شدند. همانطور که گفته شد در خصوص سیستم‌های مولد گرمایش، با فرض آن که ساختمان نیازمند آب گرم مصرفی و بهداشتی است، سیستم‌های آب گرم مدنظر قرار گرفته‌اند تا کاربردی دو منظوره داشته باشند. بدیهی است که در اماکن وسیع و خاصی همانند کتابخانه‌ها (که به دلایل ایمنی و حفظ کتاب‌ها بهتر است از سیستم‌های هوای گرم در آن‌ها استفاده شود) یا مساجد که به دلیل نیاز محدود به آب گرم بهداشتی و وسعت نیازمند کوره‌های هوای گرم هستند (سلطان‌دوست، ۱۳۹۰)، در باقی موارد سیستم‌های مولد گرمای مبتنی بر آب گرم (مانند رادیاتور و لوله‌های تشعشعی کفی) یا سیستم‌های سنتی گرمایش (بخاری و شومینه) که متداول‌تر هستند، مدنظر قرار گرفته است. در خصوص سیستم‌های سرمایشی، جدول ۲ ملاک دسته‌بندی سیستم‌های گوناگون را در این پژوهش بر اساس منطق سرمایش آن‌ها نشان می‌دهد:

جدول ۲: دسته‌بندی سیستم‌های سرمایشی بر اساس منطق سرمایش

دسته‌بندی	نوع سیستم	اساس سرمایش
سنتی	کولر آبی / ابرواشر / زنت (دو فصلی)	تبخیری
متداول	فن کوئل / مینی چیلر / هواساز	جذبی (دو فصلی)
متداول	کولر گازی / مینی چیلر / فن کوئل / داکت اسپلیت / VRF / هواساز	تراکمی (دو فصلی)

اساس وضعیت کلی خود نه در قالب پروژه‌ای خاص با یکدیگر مقایسه و در نهایت وزن‌دهی می‌شوند. هر یک از معیارها، در دوره‌های گوناگون از عمر ساختمان دارای زیرمعیارهایی هستند. برای مثال معیار اقتصاد در دوره ساخت شامل هزینه اولیه و در دوره بهره‌برداری شامل هزینه انرژی یا هزینه بهره‌برداری است. از این رهگذر در ادامه باید گفت که مراد از دوره‌ها، ادواری است که معیارها در آن شرایط سنجیده می‌شوند. این دوره‌ها با عنایت به مفهوم متدولوژی تحلیل چرخه عمر (Life-Cycle Assessment) که روشی ناظر به بازه «گهواره تا گور» پدیده‌ها بوده و چهارچوبی عمومی برای بررسی و تحلیل است انتخاب شده‌اند (Curran, 2013). در این خصوص، چرخه عمر ساختمان را می‌توان به چهار فاز کلی تقسیم نمود (Abd Rashid & Yusoff, 2015):

۱. فازپیشا استفاده: در این مرحله کارهایی از قبیل استخراج مواد خام، تولید کارخانه‌ای محصولات به کار رفته در ساختمان و انتقال آن‌ها به سایت ساخت صورت می‌گیرد. این فاز بیش‌تر به مراحل تولید مواد خام و انتقالات می‌پردازد. بنابراین در خصوص سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، فاقد موضوعیت جدی برای مطرح

در خصوص معیارها، با توجه به آرای خبرگان، شاخص‌های اقتصادی، فنی و زیست‌محیطی (یا پایداری) مورد قبول قرار گرفت و در خصوص معیارهای مربوط به محدودیت‌های سیستم یا محدودیت شرایط نیز بخشی از این عوامل که به صورت مستقیم در انتخاب سیستم محدودیت ایجاد می‌کنند؛ مانند اقلیم و سطح هزینه (منتج به استفاده از سیستم‌های سنتی‌تر یا امروزی‌تر با بازده و البته هزینه بالاتر) از این شرایط جدا شده و در ویژگی‌های مربوط به پروژه قرار گرفتند. اما عاملی دیگر با عنوان عامل معماری که محدود کننده شرایط انتخاب و استفاده از سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی است، به عنوان معیار اصلی مورد توافق خبرگان قرار گرفت.

۴-۲-۳- گام سوم: وزن‌دهی در شرایط پایه (Basic) معیارها و دوره‌ها

مراد از شرایط پایه، شرایطی است که پروژه‌ای خاص با زمینه منحصر بفرد وجود نداشته و ملاک وزن‌دهی تنها خودمعیار یا دوره در حالت ناب بدون زمینه است. به این اعتبار، معیارها و دوره‌ها در این شرایط تنها بر

تحلیل‌ها از ارزش و وزن بالایی برخوردار است. ۴. فاز خاتمه: این فاز شامل مراحل تخریب، بازیافت و باز استفاده است که در این پژوهش به دلیل ناکافی بودن منابع و عدم پرداخت جدی به این مقوله در حیطه سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و تهویه مطبوع، از پرداختن به آن صرف‌نظر شده است. از تقاطع معیارها و دوره‌ها، جدول ۳ پدید آمده است. این جدول شامل ریزمعیارهایی از معیارهای اصلی است که در چهارچوب فازها یا دوره‌هایی از چرخه عمر ساختمان مطرح می‌گردند و بنابراین وزن هر یک از آن‌ها حاصل ضرب وزن معیار در وزن دوره خواهد بود. گفتنی است که این ریزمعیارها قطعی نبوده و کلیه مواردی که به این اعتبار در خانه خاصی قرار می‌گیرند، احتمالاً دارای وزن مشابهی هستند و می‌توانند به این جدول اضافه شوند.

شدن است. ۲. فاز ساخت: در این فاز، مواد و مصالح حمل شده به سایت، برای ساخت پروژه مورد استفاده قرار می‌گیرند. انرژی‌های مصرف شده و آلودگی‌های تولید شده ناشی از کار ماشین‌آلات ساختمانی و حمل و نقل در این دسته قرار می‌گیرند. به دلیل آن که تصمیمات برای انتخاب سیستم در این مرحله اتخاذ می‌گردد، لازم است تا به خوبی به این مرحله پرداخته شود. ۳. فاز بهره‌برداری: مهم‌ترین اقدامات این بخش، بهره‌برداری از ساختمان و پروسه تعمیر و نگهداری آن است. گفتنی است که بنابر مطالعات ذکر شده ذیل بخش بیان مسأله، قسمت اعظم انرژی مصرف شده در ساختمان (حدود ۸۰ الی ۹۰ درصد) در این فاز صرف می‌گردد (Ra-mesh, Prakas & Shukla, 2010). از این جهت این فاز در

جدول ۳: جدول معیارهای ارزیابی و دوره‌های چرخه عمر به همراه وزن پیشنهادی خبرگان

معیارها/ دوره‌ها	ساخت %۱۰	بهره‌برداری %۷۰	تعمیر و نگهداری %۲۰
اقتصادی %۷۰	هزینه اولیه %۷	هزینه بهره‌برداری (انرژی) %۴۹	هزینه تعمیر و نگهداری %۱۴
فنی %۱۵	نیاز به تخصص نصب %۱۰.۵	کیفیت/ بازدهی و راندمان %۱۰.۵	متوسط عمر مفید/ نیاز به تخصص تعمیرات %۳
معماری %۱۰	فضای نصب %۱	استقلال سیستم %۷	فضای لازم برای تعمیر %۲
پایداری %۵	آلودگی زیست محیطی %۰.۵	متوسط مصرف آب و انرژی %۳.۵	دوام %۱

۴-۲-۴ - گام چهارم: شناسایی و انتخاب ویژگی‌های مؤثر پروژه بر انتخاب سیستم

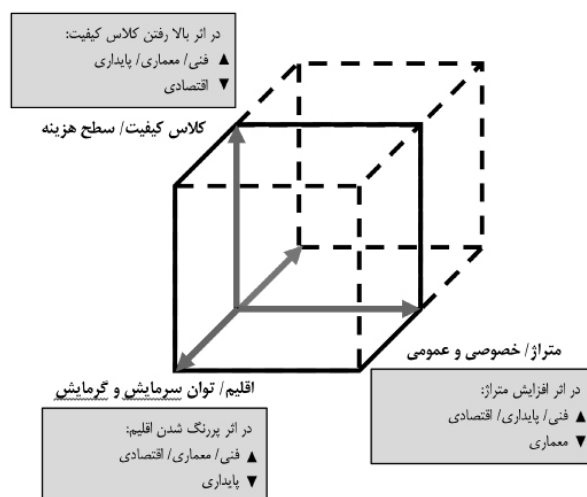
ویژگی‌های بسیاری از پروژه در خصوص انتخاب سیستم تأسیساتی نقش دارند. در این خصوص موارد مدنظر برای طراحی سیستم توسط مهندس طراح در بخش ادبیات موضوع مطرح شد که می‌توان گفت بخشی از این ملاحظات مربوط به سیستم بوده و برخی دیگر به عوامل محیطی یا شرایط پروژه مرتبط خواهد بود. از این رو در خصوص سیستم‌ها می‌توان عمل وزن‌دهی و امتیازدهی را انجام داد لیکن در خصوص تحلیل شرایط پروژه و محیط آن، وضعیت پیچیده‌تر است و از همین رهگذر است که کار طراحی مهندسی ارزشمند می‌شود. این موضوع به گونه‌ای است که برای هر نمونه باید به صورت جداگانه و منحصر به فرد تحلیل شود. اما در اینجا هدف آن است که چند ویژگی اصلی از معیارهای گفته شده برای پروژه استخراج شود و تأثیر آن‌ها بر معیارهای اصلی نیز دیده شود. به این اعتبار بدیهی است که اقلیم محلی در تعیین نوع سیستم نقش پررنگی خواهد داشت. عامل اقلیم در

حقیقت عامل محدود کننده برای انتخاب سیستم است، از این جهت که برای مثال در برخی از اقلیم‌ها به دلیل درصد بالای رطوبت هوا امکان استفاده از سیستم‌های سرمایشی تبخیری امکان‌پذیر نیست چرا که در این اقلیم‌ها اساساً تبخیر بسیار ناچیز است. همچنین شرایط سخت اقلیمی است که مشخص می‌سازد توان موردنیاز و عملکرد سیستم تا چه اندازه اهمیت دارد. برای مثال در مناطق کوهستانی، راندمان سیستم گرمایشی بسیار پراهمیت است تا جایی که لازم است هزینه‌ای بیش‌تر برای آن در نظر گرفته شود ولی سیستم از راندمان مناسبی برای مقابله با سرمای طاقت فرسای این مناطق باشد. از این رو اقلیم با توان موردنیاز برای سرمایش و گرمایش مرتبط است. به صورت کلی می‌توان گفت که عامل اقلیم محلی در برابر بخشی از محدودیت‌های سیستم شامل محدودیت‌های عملکردی شامل دما، رطوبت و فشار فضا، ظرفیت موجود و کارایی سیستم در برابر بودجه انرژی که در بخش ادبیات موضوع گفته شد پاسخگو است. در ارتباط با چهار معیار اقتصادی، فنی، معماری و پایداری اینگونه در نظر گرفته شده است

عامل بعدی کلاس ساختمان است که در جدول ۱ نیز توسط ASHRAE به آن اشاره شد. بدیهی است که کلاس کیفی ساختمان روشن‌گر میزان سطح هزینه پروژه بوده و از این جهت هر چقدر که این هزینه بیش‌تر باشد، امکان تهیه سیستم‌های جدیدتر و کاراتری وجود خواهد داشت. همچنین در ساختمان‌های کلاس بالا نیز با توجه به استانداردهای عملکرد و فروش نیاز به استفاده از نوع بهتری از سیستم‌ها وجود دارد و اگر نه بهره‌برداری و فروش این دست از ساختمان‌ها در آینده با مشکل مواجه خواهد شد. در ارتباط با معیارهای اصلی چهارگانه، در صورت بالا رفتن کلاس ساختمان، عامل اقتصادی کمرنگ و بر اهمیت سایر عوامل افزوده خواهد شد. چرا که در کلاس‌های بالای هزینه‌ای، انجام هزینه بیش‌تر برای دستیابی به کیفیت فنی، معماری و تحقق موارد ناظر به پایداری و حفظ محیط زیست اهمیت بیش‌تری خواهد یافت. در خصوص باقی موارد محدود کننده سیستم و ساخت از جمله دغدغه‌های امنیتی، جلوگیری از قارچ و کپک‌زدگی، نیازمندی‌های مقرراتی منبع و زیرساخت‌های وضع موجود، دانش بهره‌بردار و ساکنان، مسیرهای ساختمان، تخریب و دستکاری در معماری، برنامه ساخت، توان نصب، حاضر بودن و ورود تجهیزات به سایت، به دلیل نیاز به بررسی نمونه واقعی امکان اظهارنظر از پیش وجود نخواهد داشت و این از جمله محدودیت‌های مدل خواهد بود. بدیهی است که در این وضعیت، شرایط یکسانی به لحاظ محیطی برای کلیه موارد استفاده از مدل فرض خواهد شد به این اعتبار که برای مثال، فرض بر آن است که تمامی پروژه‌ها، به لحاظ حاضر بودن تجهیزات و امکان ورود آن‌ها به محوطه ساخت از وضعیت یکسانی برخوردارند. شکل ۴، حاوی جمع‌بندی موارد گفته شده در خصوص ویژگی‌های پروژه است.

که با افزایش نیاز به توان سرمایشی و گرمایشی سیستم در شرایط سخت اقلیمی، می‌توان از عامل پایداری تا حدودی چشم‌پوشی نمود. به این اعتبار برای پاسخگویی به نیاز جدی‌تر تأمین سرمایش و گرمایش، مصرف انرژی و تولید آلودگی‌های زیست محیطی تا حدودی کمرنگ خواهند شد. ولی سایر عوامل به لحاظ اهمیت پررنگ‌تر خواهند بود. بارهای سرمایشی و گرمایشی موردنیاز ساختمان عامل مهم دیگری است که در تعیین نوع سیستم نقش دارد. از این جهت لازم است تا محاسبات بار انجام گیرد لیکن روشن است که با افزایش مترآژ، نیاز به حجم هوای گرم یا سرد شده افزایش خواهد یافت و بنابراین سیستم انتخابی باید توانایی انجام این امر را داشته باشد. از این جهت می‌توان گفت که هرچقدر مترآژ زیربنای ساختمان بیش‌تر باشد، لازم است تا از سیستم‌های جدیدتر با بازدهی بالاتر و مصرف انرژی کمتر برای سرمایش یا گرمایش فضا استفاده شود. از این جهت مواردی همچون اطمینان‌پذیری، انعطاف‌پذیری، کنترل‌پذیری، صدا و لرزش، ظرفیت موجود، فضای موجود، کنترل سرمایش و رطوبت، تأمین کارای گرما و مصرف پایدار انرژی همگی مواردی هستند که با افزایش ظرفیت موردنیاز برای فضای موجود، اهمیتی بیش‌تر می‌یابند و لازم است تا برای پاسخگویی به آن‌ها از سیستم‌های نوین‌تر بهره گرفت. از این جهت مترآژ ساختمان عاملی است که در صورت بیش‌تر شدن، اهمیت معیارهای اقتصادی، فنی و پایداری را بیش‌تر خواهد نمود لیکن در خصوص محدودیت‌های معماری پروژه، به دلیل وجود فضای بیش‌تر، این عامل کمرنگ خواهد شد. از سویی می‌توان مترآژ پروژه را با خصوصی و عمومی بودن ساختمان مرتبط دانست به این صورت که پروژه‌های عمومی معمولاً نسبت به پروژه‌های خصوصی از مترآژ بالاتری برخوردار هستند.

شکل ۴: جمع‌بندی نحوه تأثیر ویژگی‌های پروژه بر معیارهای چهارگانه اصلی



حالت حداکثر به میزان نیمی از مقدار مکمل آن ضریب تأثیر داشته باشد. از این جهت هرچقدر امتیاز داده شده به معیار بیش‌تر و معیار مهم‌تر باشد، مقدار کمتری می‌توان آن را تحت تأثیر قرار داد. هرچند به دلیل بزرگتر بودن خود عدد، مقدار عددی درصد تعدیل بزرگتر خواهد بود. در خصوص معیارهای کم اهمیت‌تر به دلیل بیش‌تر بودن مقدار مکمل، امکان تأثیر بیش‌تری وجود دارد. لیکن به دلیل کم بودن وزن خود معیار، مقدار عددی درصد تغییر کم خواهد بود. از این جهت با توجه به بزرگی وزن معیار، همواره میان ضریب و بزرگی عدد درصد تغییر، تعادلی وجود خواهد داشت. پس از انجام این مرحله در هر ردیف و برای هر یک از معیارهای هدف با توجه به ویژگی‌های سه‌گانه، برای هر معیار سه وزن جدید تولید خواهد شد. همانطور که میزان اهمیت هر یک از این ویژگی‌ها پیش از این توسط خبرگان پروژه برای هر یک از ویژگی‌ها تعریف شده است، در انتها برای محاسبه وزن جدید، میانگین وزنی برای درصدها محاسبه شده و عدد به دست آمده، وزن نهایی تعدیل شده برای معیار موردنظر خواهد بود.

۴-۲-۷- گام هفتم: امتیازدهی به گزینه‌های سیستمی توسط خبرگان

در این مرحله کلیه سیستم‌های نهایی انتخاب شده در گام دوم با توجه به زیرمعیارهای حاصله از همین گام، توسط خبرگان امتیازدهی می‌شوند. هرچند که این امتیازها به دلیل پویایی و امکان تغییر، در روند توسعه مدل نقش پررنگی ندارد، لیکن پیشنهاد می‌گردد تا برای سادگی بیش‌تر (تعداد سیستم‌ها برابر با ۱۶ و ریزمعیارها برابر با ۱۲ بوده که حاصلضرب آن ۱۹۲ است که برای امتیازدهی به آیتم‌ها به نسبت زیاد است) از اعداد ۰ تا ۵ با عناوین کیفی خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی استفاده شود. بدیهی است که برای روایی نتیجه حاصله لازم است تا از نظرات چند متخصص استفاده گردد، در گام بعدی می‌توان اعداد با انحراف از معیار بالا را حذف نموده و از باقی‌مانده اعداد میانگین گرفت تا امتیاز سیستم در زیرمعیار تعریف شده مشخص گردد.

۴-۲-۸- گام هشتم: اعمال وزن معیارها در امتیاز سیستم‌ها و انتخاب گزینه برتر

در این گام، امتیاز هر سیستم برای هر زیرمعیار، در وزن زیرمعیار تراز شده (با توجه به اوزان اولیه مشروح در گام سوم و تعدیل به واسطه ویژگی‌های پروژه مشروح در گام ششم) ضرب شده و حاصل جمع آن برابر با امتیاز هر سیستم با توجه به معیارهای مدنظر است که در صورت پیشنهاد مطرح شده برای امتیازدهی در گام هفتم، این عدد بین ۰ تا ۵ خواهد بود. نکته باقی‌مانده عوامل محدود کننده از قبیل اقلیم و گروه سیستم‌ها هستند که در این مرحله لحاظ می‌گردد. با توجه به اقلیم پروژه که یکی از

۴-۲-۵- گام پنجم: وزن‌دهی و ویژگی‌های پروژه (Case) - کلاس کیفیت، متراژ و اقلیم

هریک از ویژگی‌های مطروح در خصوص پروژه، بسته به شرایط آن می‌تواند از اهمیتی متفاوت با سایر پروژه‌ها برخوردار باشد. برای مثال عامل کلاس کیفیت در پروژه‌های ساختمانی که در زمین‌ها و مناطق گران قیمت تهران ساخته می‌شوند، احتمالاً از ویژگی‌های مربوط به متراژ و اقلیم مهم‌تر است. همچنین در خصوص پروژه‌هایی که در مناطقی بسیار گرم یا بسیار سرد ساخته می‌شوند، وزن ویژگی اقلیم یا توان سرمایه‌گذاری و گرمایشی احتمالاً به مراتب از سایر ویژگی‌ها بیش‌تر است. به همین ترتیب در خصوص ویژگی متراژ نیز این امر موضوعیت خواهد داشت. از این رو لازم است تا با توجه به شرایط پروژه، مدیر پروژه به کمک استفاده از آرای خبرگان تیم خود، نسبت به وزن‌دهی این ویژگی‌ها اقدام نماید.

۴-۲-۶- گام ششم: تعدیل وزن‌های شرایط پایه با توجه به ویژگی‌های پروژه

اکنون و پس از وزن و امتیازدهی به ویژگی‌های سه‌گانه پروژه، لازم است تا مدل وزن‌های شرایط پایه را با توجه به این ویژگی‌ها تعدیل نماید. در خصوص امتیازدهی به ویژگی‌ها ذکر این نکته حیاتی است که نمره ۵۰ برای حالت متعادل و بدون نیاز به تعدیل معیارها در نظر گرفته شده است. کم شدن امتیاز تا ۰ به معنی کم شدن ویژگی و نیاز برای تعدیل به نفع معیار مذکور و زیاد شدن آن تا ۱۰۰ به معنی نیاز برای تعدیل و افزایش سایر معیارها خواهد بود. برای مثال کم شدن متراژ، مسبب تعدیل به نفع معیار معماری و افزایش وزن آن خواهد شد. این در صورتی است که افزایش متراژ بیش از عدد ۵۰ سبب کاهش وزن معیار معماری و تعدیل به نفع سایر معیارهای اقتصادی، فنی و پایداری خواهد شد. تعدیل با این ساز و کار عمل می‌نماید که درصد مکمل معیار هدف را در نظر می‌گیرد (مطابق شکل ۴، برای متراژ، معیار معماری، برای اقلیم معیار پایداری و برای کلاس کیفیت معیار اقتصادی معیارهای هدف هستند) و با توجه به میزان اختلاف امتیاز داده شده به این معیار با عدد ۵۰، وزن معیار هدف را تعدیل می‌نماید. برای مثال در صورتی که امتیاز متراژ ۸۰ و وزن معیار هدف آن یعنی معماری برابر با ۱۰ درصد باشد، به میزان ۳۰ درصد (اختلاف ۸۰ با ۵۰) در امتیاز مکمل معیار هدف (یعنی ۹۰ درصد) تعدیل صورت می‌گیرد. بنابراین $۹۰ \text{ درصد} \times ۳۰ \text{ درصد} = ۲۷ \text{ درصد}$ از ضریب ۱ کاسته شده و $۲۷ \text{ درصد} - ۱۰ \text{ درصد} = ۱۷ \text{ درصد}$ ضریب تعادل خواهد بود. بنابراین وزن معیار هدف یعنی معماری در انتها برابر با $۱۷ \text{ درصد} \times ۱۰ \text{ درصد} = ۱.۷ \text{ درصد}$ خواهد بود. میزان کاهش این رقم (یعنی ۲.۷ درصد) با توجه به اوزان سایر معیارها، در میان آن‌ها توزیع می‌گردد. منطق این شیوه آن است که ویژگی‌های پروژه در بدترین

گزینه‌های مربوط به اقلیم‌های چهارگانه گرم و خشک، گرم و مرطوب، معتدل و مرطوب و سرد است، همچنین با توجه به گروه سیستم‌ها که از طریق میانگین وزنی امتیازهای مربوط به ویژگی‌ها تعیین می‌گردد (میانگین ۵۰ و بالاتر از آن گروه سیستم‌های متداول و کمتر از گروه سیستم‌های سنتی پیشنهاد می‌شود) سیستم‌های خارج از این محدوده از چرخه حذف می‌گردند و با توجه به امتیاز سیستم‌های باقی‌مانده، سیستم بهینه معرفی می‌شود.

۴-۲-۹- گام نهم: امتیازدهی کارفرما تعیین وزن فنی به غیر فنی

پس از تعیین سیستم بهینه که تا گام هشتم صورت می‌پذیرد، عملاً کار انجام شده است. لیکن به منظور امکان اضافه شدن نظرات کارفرمایی از جمله سهولت استفاده وی از سیستم‌ها یا مواردی شبیه به آن، بخشی نیز برای اعمال نظرات کارفرما دیده شده است که ممکن است این نظرات فنی یا غیرفنی باشند. در حالت کلی فرض شده است که نظرات فنی از طریق آرای خبرگان و امتیازهای داده شده به معیارها، دوره‌ها و سیستم‌ها گردآوری شده باشد و در این بخش نظرات کارفرمایی جنبه‌ای تجاری و غیرفنی داشته باشد. لیکن این امکان نیز در مدل پیش‌بینی شده است. همچنین وزن موارد فنی به غیرفنی کارفرما باید توسط فردی متخصص و حرفه‌ای برای مثال مدیر پروژه که مسئولیت تکمیل و رسانیدن مدل به نتیجه را بر عهده دارد باید مشخص شود.

۴-۲-۱۰- گام دهم: پیشنهاد سیستم مطلوب

در انتها، بر اساس ضریب تعریف شده در گام نهم، امتیازهای فنی و غیر فنی با نسبت معرفی شده با یکدیگر میانگین گرفته شده و سیستم مطلوب با نسبت معینی از معیارهای فنی خبرگان و معیارهای غیرفنی کارفرما توسط مدل به کاربر معرفی می‌گردد.

۴-۳- ورودی‌ها، پردازش و خروجی‌ها

در بخش پیشین به صورت اجمالی به ورودی‌ها، پردازش و خروجی‌های مدل پرداخته شد ولی در این قسمت نیز توضیحاتی در خصوص موارد فوق ارائه خواهد شد.

۴-۳-۱- ورودی‌ها

ورودی‌های مدل شامل موارد زیر است:

۱. وزن‌دهی معیارها: شامل چهار معیار اقتصادی، فنی، معماری و پایداری که از ۱۰۰ امتیازدهی می‌شوند و در نهایت این وزن به صورت اتوماتیک توسط مدل نرمال می‌شود.

۲. وزن‌دهی دوره‌ها: شامل سه دوره ساخت، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری که از ۱۰۰ بوده و در نهایت به صورت

اتوماتیک نرمال می‌شود.

۳. ویژگی‌های پروژه: در دو بخش وزن و امتیاز ویژگی است که هر دو از ۱۰۰ امتیازدهی می‌شود. وزن ویژگی به صورت اتوماتیک توسط مدل نرمال می‌شود. در خصوص امتیاز، نمره ۵۰ یعنی نیاز به اعمال تعدیل نیست ولی کمتر و بیش‌تر از آن، مدل را به سوی تعدیل معیارها می‌برد. امتیاز بالاتر به معنای کم کردن وزن معیار هدف و امتیاز کمتر از ۵۰ به معنای افزایش وزن معیار هدف است. همچنین در این بخش اقلیم پروژه نیز لازم است به مدل وارد شود.

۴. گزینه‌ها (سیستم‌ها): تک تک ریزمعیارها با توجه به سیستم موردنظر امتیازدهی می‌شوند. ترجیحاً از ۰ تا ۵ با توجه به مفاهیم خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و عالی. همچنین وزن نظر کارفرمایی به نظر فنی و در انتها امتیازات کارفرمایی امکان ورود به مدل را خواهند داشت. (موارد مربوط به کارفرما اختیاری هستند).

۴-۳-۲- پردازش‌ها

پردازش‌های انجام شده توسط مدل به شرح موارد زیر است:

۱. وزن‌دهی معیارها: نرمال نمودن وزن‌ها داده شده از طریق تقسیم امتیاز هر بخش به جمع کل انجام می‌شود.
۲. وزن‌دهی دوره‌ها: به شیوه بالا نرمال کردن وزن دوره‌ها انجام می‌شود.
۳. وزن ریزمعیارها (شرایط پایه): جدولی از ضرب کردن وزن معیارهای اصلی در وزن دوره‌ها به دست می‌آید.
۴. ویژگی‌های پروژه:

- وزن ویژگی‌ها: به شیوه گفته شده در شماره ۱ انجام می‌شود. (وزن هر ویژگی بخش بر جمع کل اوزان تمام ویژگی‌ها)

- میانگین وزنی عوامل: حاصل میانگین وزنی امتیاز در وزن نرمال شده ویژگی (جمع حاصلضرب تک تک امتیازها در اوزان نرمال شده) - اوزان تراز شده:

برای معیار هدف، نتیجه معادله:

$$(1 + (\text{امتیاز ویژگی به درصد} - 50\%)) \times (\text{وزن معیار} - 100\%) = \text{ضریب تأثیر بر معیار}$$

ضریب تأثیر بر معیار \times اوزان در شرایط پایه = وزن تعدیل شده معیار هدف با توجه به ویژگی مربوطه

برای سایر معیارها:

وزن جدید تعدیل شده معیار هدف - وزن معیار هدف در شرایط پایه = جمع کل تغییرات باقی معیارها

نسبت معیار به سایر معیارها = وزن معیار در شرایط پایه بخش بر جمع اوزان معیارهای دیگر غیر از معیار هدف

وزن جدید تعدیل شده معیار = (جمع کل تغییرات باقی معیارها \times نسبت معیار به سایر معیارها) + وزن معیار در شرایط پایه

توسعه مدل پشتیبان تصمیم به منظور تسهیل تصمیم سازی در انتخاب سیستم‌های سرمایه‌گذاری و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی

۳. گزینه‌ها: امتیازهای تراز شده، جمع کل نمرات فنی، نمره تراز شده و در نهایت سیستم‌های پیشنهادی فنی در بخش سرمایه‌گذاری و گرمایشی و همچنین سیستم مطلوب (با در نظر گرفتن امتیازهای کارفرمایی) برای دو بخش سرمایه‌گذاری و گرمایشی.

۴-۴-۴ معرفی مدل توسعه یافته

جداول مختلف موجود در مدل در این بخش معرفی می‌گردند. به صورت کلی این مدل شامل بخش‌های زیر است:

۱. وزن‌دهی معیارها
 ۲. وزن‌دهی دوره‌ها
 ۳. وزن ریزمعیارها- شرایط پایه
 ۴. ویژگی‌های پروژه
 ۵. وزن ریزمعیارها- شرایط پروژه
 ۶. گزینه‌ها
- در ادامه جداول مربوط به هر بخش ارائه خواهند شد.

۴-۴-۱-۱ وزن‌دهی معیارها

در این بخش معیارهای چهارگانه بنابر آنچه که در بخش ورودی‌ها، پردازش و خروجی‌ها آمد، وزن‌دهی می‌شوند. جدول مربوطه در زیر آمده است (جدول ۴):

جدول ۴: جدول وزن‌دهی معیارهای اصلی

وزن‌دهی معیارهای چهارگانه		
معیارها [عناوین]	وزن [از ۱۰۰]	وزن [نرمال شده]
اقتصادی	۷۰	۷۰%
فنی	۱۵	۱۵%
معماری	۱۰	۱۰%
پایداری	۵	۵%

۴-۴-۲-۲-۲ وزن‌دهی دوره‌ها

وزن‌دهی می‌شوند. جدول مربوط به این بخش ذیل آمده است (جدول ۵).

در این بخش دوره‌های سه‌گانه با فرمول‌های تبیین شده

جدول ۵: جدول وزن‌دهی به دوره‌های سه‌گانه

وزن‌دهی دوره‌های سه‌گانه		
دوره‌ها [عناوین]	وزن [از ۱۰۰]	وزن [نرمال شده]
ساخت	۱۰	۱۰%
بهره‌برداری	۷۰	۷۰%
تعمیر و نگهداری	۲۰	۲۰%

توسعه مدل پشتیبان تصمیم به منظور تسهیل تصمیم سازی در انتخاب سیستم‌های سرمایه‌ی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی

ریز معیارها (جدول ۶) تشکیل می‌شود.

۴-۳- وزن ریز معیارها - شرایط پایه

در این بخش با توجه به اوزان جداول ۴ و ۵، جدول

جدول ۶: جدول وزن ریز معیارها (هر ریز معیار حاصل ضرب وزن معیار اصلی در وزن دوره مربوطه است)

وزن ریز معیارها [در شرایط پایه]			
معیارها / دوره‌ها	ساخت	بهره‌برداری	تعمیر و نگهداری
اقتصادی	هزینه اولیه	هزینه بهره‌برداری	هزینه تعمیر و نگهداری
فنی	نیاز به تخصص نصب	کیفیت / بازدهی و راندمان	متوسط عمر مفید / نیاز به تخصص تعمیرات
معماری	فضای نصب	استقلال سیستم	فضای لازم برای تعمیر
پایداری	آلودگی زیست محیطی	متوسط مصرف آب و انرژی	دوام
	۱۰٪	۷۰٪	۲۰٪
	۷۰٪	۴۹٪	۱۴٪
	۱۵٪	۱۰٪	۳٪
	۱۰٪	۷٪	۲٪
	۵٪	۳٪	۱٪

مشخص می‌گردد. گزینه‌های مناسب از سیستم‌ها (سنتی یا متداول) تعیین شده و با توجه به امتیاز هر ویژگی، اوزان در شرایط پایه تراز می‌شوند. فرمول‌های این قسمت از بخش پردازش‌ها تبعیت می‌کنند. جدول ۷ نشان‌دهنده داده‌های ورودی و خروجی‌های این بخش است.

۴-۴- ویژگی‌های پروژه

ویژگی‌های پروژه (شامل مترژ، کلاس کیفیت و اقلیم) در این بخش وارد می‌شود. اوزان و امتیازهای مربوطه تخصیص داده شده و میانگین وزنی عوامل و وضعیت

جدول ۷: جدول تعیین شرایط پروژه

تعریف شرایط ویژه پروژه (ویژگی‌های پروژه)																													
ویژگی‌های ساختمان (نوع سند)	وزن ویژگی (۱۰۰٪)	وزن ویژگی (نرمال شده)	امتیاز (۱-۱۰۰)	میانگین وزنی عوامل (ساز، کلاس و توان)	وضعیت (نرمال شده)	گزینه مناسب (از سیستم‌ها)	تأثیر بر معیارها (مکانی بخش‌ها: پروژه، فرم‌های ارائه)				اوزان در شرایط پایه (استاندارد ۱۰۰٪)				اوزان تراز شده (در شرایط نوسان شده: حالت خاص پروژه)														
							اقتصادی	معماری	پایداری	اقتصادی	فنی	معماری	پایداری	اقتصادی	فنی	معماری	پایداری	اقتصادی	فنی	معماری	پایداری								
مترژ / خصوص و عمومی	۱۰۰	۵۸۸٪	۶۰		باز متوسط / پروژه نیمه خصوصی - نیمه عمومی	۱۰۰	۰.۹۹	۰.۹۱	۱.۰۱	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰								
کلاس کیفیت / سطح هزینه	۵۰	۳۹۴٪	۲۰	۵۰.۵۹٪	پروژه کم کیفیت / هزینه پایین	۱۰۰	۰.۲۹	۰.۲۷	۰.۲۹	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰								
کلاس توان سرمایه‌ی و گرمایش	۲۰	۱۱۹٪	۸۰		توان بالا مورد نیاز است	۱۰۰	۱.۰۲	۱.۰۲	۱.۰۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰								
اوزان نهایی تراز شده یا توجه به اهمیت وزن ویژگی مربوطه													۴.۶٪	۸.۹٪	۱۴.۳٪	۷۲.۴٪													
اقلیم پروژه													گرم و خشک																

تراز شده هریک از ریز معیارها مجدداً محاسبه می‌شود. جدول ۸ نشان‌دهنده جدول جدید با معیارهای تراز شده است.

۴-۴-۵- وزن ریز معیارها - شرایط پروژه

با توجه به خروجی‌های حاصله از جدول ۷ یعنی اوزان تراز شده هریک از معیارها، جدول ۶ بروزرسانی شده و وزن

توسعه مدل پشتیبان تصمیم به منظور تسهیل تصمیم سازی در انتخاب سیستم‌های سرمایه‌ی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی

جدول ۸: جدول وزن ریز معیارها با اوزان تراز شده با توجه به شرایط پروژه

وزن ریز معیارها [در شرایط ویژه پروژه]			
معیارها / دوره‌ها	ساخت	بهره‌برداری	تعمیر و نگهداری
اقتصادی	۷۲.۴٪	۱۰٪	۲۰٪
هزینه اولیه	هزینه بهره‌برداری	هزینه تعمیر و نگهداری	
	۷.۲۴٪	۵۰.۶۷٪	۱۴.۴۸٪
وزن ریز معیارها [در شرایط ویژه پروژه]			
فنی	نیاز به تخصص نصب	کیفیت/ بازدهی و راندمان	متوسط عمر مفید/ نیاز به تخصص تعمیرات
۱۴.۲٪	۱.۴۲٪	۹.۹۳٪	۲.۸۴٪
معماری	فضای نصب	استقلال سیستم	فضای لازم برای تعمیر
۸.۹٪	۰.۸۹٪	۶.۲۱٪	۱.۷۷٪
پایداری	آلودگی زیست محیطی	متوسط مصرف آب و انرژی	دوام
۴.۶٪	۰.۴۶٪	۳.۱۹٪	۰.۹۱٪

۴-۴-۶- گزینه‌ها

زیرمعیارها در امتیاز سیستم) سیستم بهینه به لحاظ فنی معرفی می‌گردد. سپس با نظرات کارفرمایی و تعیین وزن این نظرات به نسبت نظرهای فنی که توسط آرای خبرگان تدوین شده است، سیستم دیگری نیز به عنوان سیستم مطلوب معرفی می‌شود. همانطور که گفته شد، این عامل کارفرمایی اختیاری بوده و می‌توان برای آن وزن صفر در نظر گرفت. جدول ۹ نشان‌دهنده جدول نتیجه‌گیری گزینه‌ها است.

در انتها، جدول گزینه‌ها (سیستم‌های سرمایه‌ی و گرمایشی) آمده است. این جدول حاوی تقسیم‌بندی سیستم‌ها، معیارها و زیرمعیارهای مربوطه و امتیازدهی به هریک از سیستم‌های معرفی شده در قالب زیرمعیارهای مذکور است. با حذف برخی از سیستم‌ها با توجه به سنتی یا متداول بودن و همچنین اقلیم و محاسبه جمع امتیازهای هر سیستم (حاصل جمع ضرب وزن تک تک

جدول ۹: جدول گزینه‌ها، پیشنهاد گزینه بهینه (فنی)، نظرات کارفرمایی و وزن آن و در نهایت گزینه مطلوب (فنی و غیرفنی)

معیارها و زیرمعیارها	وزن	گزینه‌ها	گزینه‌ها												
			گزینه ۱					گزینه ۲							
			گزینه ۱	گزینه ۲	گزینه ۳	گزینه ۴	گزینه ۵	گزینه ۶	گزینه ۷	گزینه ۸	گزینه ۹	گزینه ۱۰			
اقتصادی	۷۲.۴٪	۱۰٪	۲۰٪	۷۲.۴٪	۱۰٪	۲۰٪	۷۲.۴٪	۱۰٪	۲۰٪	۷۲.۴٪	۱۰٪	۲۰٪	۷۲.۴٪	۱۰٪	۲۰٪
فنی	۱۴.۲٪	۱.۴۲٪	۹.۹۳٪	۱۴.۲٪	۱.۴۲٪	۹.۹۳٪	۱۴.۲٪	۱.۴۲٪	۹.۹۳٪	۱۴.۲٪	۱.۴۲٪	۹.۹۳٪	۱۴.۲٪	۱.۴۲٪	۹.۹۳٪
معماری	۸.۹٪	۰.۸۹٪	۶.۲۱٪	۸.۹٪	۰.۸۹٪	۶.۲۱٪	۸.۹٪	۰.۸۹٪	۶.۲۱٪	۸.۹٪	۰.۸۹٪	۶.۲۱٪	۸.۹٪	۰.۸۹٪	۶.۲۱٪
پایداری	۴.۶٪	۰.۴۶٪	۳.۱۹٪	۴.۶٪	۰.۴۶٪	۳.۱۹٪	۴.۶٪	۰.۴۶٪	۳.۱۹٪	۴.۶٪	۰.۴۶٪	۳.۱۹٪	۴.۶٪	۰.۴۶٪	۳.۱۹٪

به بیان دیگر، این مدل پشتیبان از طریق تسهیل در تصمیم‌سازی، امکان تصمیم‌گیری مناسب‌تر را، در خصوص انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی و با توجه به خواسته‌های کارفرما و شرایط پروژه، به تصمیم‌گیرندگان می‌دهد. همچنین، با توجه به پویا بودن مدل، امکان اضافه نمودن سیستم‌ها و دستگاه‌های تأسیساتی جدید و امتیازدهی آن‌ها برای کاربران وجود دارد. در همین راستا، تصمیم‌گیرندگان می‌توانند در کنار این مدل پشتیبان تصمیم (تصمیم‌سازی)، با بهره‌گیری از سایر روش‌ها، اطلاعات و ارقام و داده‌های گوناگون، دقت انتخاب خود را افزایش داده و نهایتاً تصمیم بهتر و بهینه‌تری را اتخاذ نمایند. از اینرو، مدل ارائه شده برای سازمان‌های پروژه محور صنعت ساخت و ساز و خاصه ساختمان‌ها، پیمانکاران و مجریان ذی‌صلاح، شرکت‌های مهندسی مشاور، طراحان تأسیسات مکانیکی، کارفرمایان و مالکان و سایر فعالان حوزه ساختمان می‌تواند بسیار مفید باشد.

۵. نتیجه‌گیری

بررسی مباحث و موضوعات پژوهشی این تحقیق نشان می‌دهد که در حوزه سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی، ضوابط و معیارهای مختلف و متنوعی مطرح شده است اما تحقیقی جامع و کامل در زمینه استفاده از آن‌ها و ارائه در قالب مدلی پویا به صورت پشتیبان، در راستای تسهیل تصمیم‌سازی برای انتخاب بهینه و تصمیم‌گیری مناسب، به منظور مدیریت موثر پروژه‌های ساختمانی تقریباً وجود ندارد. در این پژوهش، مدلی پشتیبان برای تسهیل تصمیم‌سازی پیرامون انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی، طی مراحل (چهارچوب اصلی؛ گام‌های توسعه؛ ورودی‌ها، پردازش و خروجی‌ها؛ معرفی مدل) و گام‌های مشخصی (شناسایی معیارها و سیستم‌ها؛ حذف و انتخاب معیارها و سیستم‌های نهایی؛ وزن‌دهی در شرایط پایه معیارها و دوره‌ها؛ شناسایی و انتخاب ویژگی‌های مؤثر پروژه بر انتخاب سیستم؛ وزن‌دهی ویژگی‌های پروژه کلاس کیفیت، متراژ و اقلیم؛ تعدیل وزن‌های شرایط پایه با توجه به ویژگی‌های پروژه؛ امتیازدهی به گزینه‌های سیستمی توسط خبرگان؛ اعمال وزن معیارها در امتیاز سیستم‌ها و انتخاب گزینه برتر؛ امتیازدهی کارفرما تعیین وزن فنی به غیر فنی؛ پیشنهاد سیستم مطلوب) توسعه یافت. این مدل توسعه یافته، نیاز به سیستمی برای کمک به تصمیم‌گیری بهینه برای مدیران پروژه، که بیشتر رویکرد مدیریتی دارند و در زمینه‌های خاص مهندسی به ویژه تأسیسات مکانیکی ساختمان اشراف کمتری دارند، را برطرف می‌کند. در واقع، نوآوری این پژوهش کاربردی، ارائه مفهوم مدل پشتیبان تصمیم در زمینه مدیریت تأسیسات مکانیکی پروژه‌ها و نیز فرآیند طراحی و توسعه این مدل می‌باشد. این مدل به عنوان سیستم پشتیبان تصمیم با در نظر گرفتن معیارها (اقتصادی، فنی، معماری و پایداری) و ریزمعیارها (هزینه اولیه، هزینه بهره‌برداری و هزینه تعمیر و نگهداری؛ نیاز به تخصص نصب، کیفیت و متوسط عمر مفید؛ فضای نصب، استقلال سیستم و فضای لازم برای تعمیر؛ آلودگی زیست محیطی، متوسط مصرف آب و انرژی و دوام)، دوره‌ها (ساخت، بهره‌برداری و تعمیر و نگهداری)، شرایط ویژه پروژه (اقلیم؛ توان سرمایش و گرمایش؛ کلاس کیفیت؛ سطح هزینه و متراژ؛ خصوصی و عمومی بودن پروژه) و نیز اوزان و امتیازهای تخصیص داده شده عمل می‌کند و در نهایت گزینه مناسب و بهینه را در پایان فرآیند ارائه می‌نماید.

فهرست منابع

- سلطاندوست، م. (۱۳۹۰). تأسیسات مکانیکی برای دانشجویان معماری (نسخه ویرایش دوم). تهران: یزدا
- A. Allouhi, Y. E. (2015). Energy Consumption and Efficiency in Buildings: Current Status and Future Trends. *Journal of Cleaner Production*, 109, 118-130.
 - Abd Rashid, A., & Yusoff, S. (2015). A Review of Life Cycle Assessment Method For Building Industry. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 45, 244-248.
 - ASHRAE. (2016). *ASHRAE Handbook: Heating, Ventilating and Air-Conditioning Systems and Equipment: SI Edition*. Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning.
 - Asif, M., Dehwah, A. H. A., Ashraf, F., Khan, H. S., Shukat, M. M., & Hassan M. T. (2017). Life Cycle Assessment of a Three-Bedroom House in Saudi Arabia. *Environments*, 4, 52.
 - Asif, M., Muneer, T., & Kelley, R. (2007). Life Cycle Assessment: A case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, 42, 1391-1394
 - Cao, X., Xilei, D., & Liu, J. (2016). Building energy-consumption status worldwide and the state-of-the-art technologies for zero-energy buildings during the past decade. *Energy and Buildings*, 198-213.
 - Curran, M. (2013). Life Cycle Assessment: a Review of the Methodology and its Application to Sustainability. *Current Opinion in Chemical Engineering*, 273-277.
 - IEA. (2018). *World Energy Balances*. Paris: International Energy Agency.
 - Jia, X. (2010). *An Integrated Decision-Making Model for Selecting HVAC Systems Using Multiple Performance Criteria* (Ph.D Dissertation). Florida: University of Florida.
 - Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. (2010). Life Cycle Energy Analysis of Buildings: An Overview. *Energy and Buildings*, 42, 1592-1600.
 - World Bank Group. (2019, 01 18), Retrieved from Edge Buildings: <https://www.edgebuildings.com/>

نحوه ارجاع به این مقاله

مرتضوی، فرید، محمودی‌ساری، محمدحسین، برمایه‌ور، بهنود. توسعه مدل پشتیبان تصمیم به منظور تسهیل تصمیم‌سازی در انتخاب سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی برای ساختمان‌های غیرصنعتی، نشریه معماری و شهرسازی آرمان‌شهر، ۱۴(۳۶)، ۹۸-۱۱۲.

DOI: 10.22034/AAUD.2020.221034.2167

URL: http://www.armanshahrjournal.com/article_142359.html



COPYRIGHTS

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to the Armanshahr Architecture & Urban Development Journal. This is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution License.

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

