



Predictive Model of the Impact of Embodied Energy on Cultural Changes in the Operation of Green schools: Examining the Moderating Role of the Exterior Wall

Somayeh Dowlat¹, Fahimeh Motazadian², Heider Jahanbakhsh³, Ghazal Safdarian⁴

(Receipt: 2024.07.11- Acceptance: 2024.07.13)

Abstract

The use of fossil fuels and greenhouse gas emissions are the main drivers of climate change, which is a critical global challenge. Buildings have a significant impact on climate change due to their resource and energy consumption. Building energy can be divided into two key components: embodied energy and operational energy. Researchers are actively investigating strategies to reduce energy use in buildings, including through simulation modeling. However, there are gaps in the literature, including a lack of insufficient attention paid to the impact of embodied energy on operational energy, especially in educational buildings. The main goal of the current research is to develop and test a predictive model of the influence of embodied energy of materials on the operational energy of green school buildings. To investigate how the characteristics of the core of the exterior building wall may moderate or influence the causal relationships in this model. The researcher employed advanced variance-based structural equation modeling techniques to test the research hypotheses. The results are quite compelling, with R² values of 0.704 and 0.755 in the two structural equations. This indicates the model can explain 70-75% of the variance in cooling load and heating load (i.e. operational energy) based on the embodied energy behavior. This suggests the model has strong predictive power in capturing the influence of embodied energy on operational energy in green school buildings.

KeyWords: Embodied Energy, Operational Energy, Green Schools, Exterior wall core, Predictive Model, Structural equation modeling

1.PhD student in architecture, Islamic Azad University, Pardis branch, Pardis, Iran: sdowlat@gmail.com

2*.Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Pardis Branch, Pardis, Iran. (corresponding author): motazedian@pardisiau.ac.ir

3.Associate Professor, Department of Architecture, Payam Noor University, Tehran Branch, Tehran, Iran H_ Jahanbakhsh@pnu.ac.ir

4.Assistant Professor, Department of Architecture, Islamic Azad University, Pardis Branch, Pardis, Iran safdariana@pardisiau.ac.ir



مدل پیشبینی تاثیر انرژی نهفته بر تغییرات فرهنگی در بهره‌برداری اجتماع مدارس سبز با تاکید بر نقش تعدیل گر دیوار خارجی

سمیه دولت^۱، فهیمه معتضدیان^۲، حیدر جهانبخش^۳، غزال صفدریان^۴

(دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۲۱ - پذیرش نهایی: ۱۴۰۳/۰۴/۲۳)

چکیده

ساختمان‌ها به دلیل مصرف منابع انرژی، تاثیر قابل توجهی بر تغییرات اقلیمی دارند، که از چالش‌های اصلی بشر در عصر کنونی می‌باشد. انرژی در ساختمان دارای دو مولفه انرژی نهفته و انرژی بهره‌برداری می‌باشد. در حال حاضر دانشمندان در سرتاسر جهان بر روی استراتژی‌های کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها در حال مطالعه و بررسی هستند، که بیشتر مطالعات در پی کاهش مصرف انرژی بهره‌برداری و یا انرژی نهفته به صورت مجزا صورت گرفته است. لذا شکافی از منظر عدم توجه مطالعات به تاثیر انرژی نهفته مصالح بر روی انرژی بهره‌برداری ساختمان‌ها دیده می‌شود. همچنین مطالعات انرژی کمتر بر روی ساختمان‌های آموزشی صورت گرفته‌اند. شکاف‌های موجود هدف اصلی پژوهش حاضر را تدوین و آزمون مدلی پیش بین از تاثیرگذاری انرژی نهفته مصالح بر روی انرژی بهره‌برداری ساختمان‌های مدارس سبز قرار می‌دهد و به دنبال نقش تعدیل کننده انرژی نهفته هسته دیوار خارجی در روابط علی مدل مفهومی است. محقق با رویکردی کمی و بهره‌گیری از یک روش‌شناسی سیستماتیک از تکنیک‌های پیشرفته مدل‌سازی معادلات ساختاری واریانس محور جهت آزمون فرضیات پژوهش بهره برده است. تعداد ۷۰۲ نمونه پس از جمع‌آوری و غربال‌گری، با آزمون روایی، پایایی و برازش مدل بیرونی مورد آزمون قرار گرفته و فرضیات در قالب مدل ساختاری آزمون گردیدند. نتایج $R^2 = 0.704, 0.755$ در دو معادله ساختاری خبر از یک تبیین بسیار قدرتمند از واریانس یا رفتار متغیر بارسمایشی و بار گرمایشی که همان انرژی بهره‌برداری می‌باشند، می‌دهد. به عبارتی مدل در مجموع بین ۷۰ تا ۷۵ درصد از تاثیر رفتار انرژی نهفته بر انرژی بهره‌برداری را پیش‌بینی می‌کند.

واژه‌های کلیدی: انرژی نهفته، انرژی بهره‌برداری، مدارس سبز، هسته دیوار خارجی، مدل پیش بین،

مدلسازی معادلات ساختاری.

۱. دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه آزاداسلامی واحد پردیس، پردیس، ایران. sdowlat@gmail.com

۲. استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاداسلامی واحد پردیس، پردیس، ایران (نویسنده مسئول): motazedian@pardisiau.ac.ir

۳. دانشیار گروه معماری، دانشگاه پیام‌نور واحد تهران، تهران، ایران. H_jahanbakhsh@pnu.ac.ir

۴. استادیار گروه معماری، دانشگاه آزاداسلامی واحد پردیس، پردیس، ایران. safdariana@pardisiau.ac.ir

۱. مقدمه

بناها از ماندگارترین و فراوان‌ترین محصولات هر جامعه به شمار می‌آیند که به طور چشمگیری بر منابع جهانی تأثیر می‌گذارند. ساختمان‌های مرسوم بیش از حد نیاز از منابع، مخصوصاً منابع تجدیدناپذیر استفاده می‌کنند، تأثیرات منفی بر محیط زیست دارند و ضایعات بسیار زیادی تولید می‌کنند (Alwan et al., 2021). ساختمان‌ها به‌تنهایی نیمی از انرژی جهانی را در طول سال در ساخت و بهره‌برداری خود مصرف می‌کنند که افزایش اثرات دی اکسید کربن در جو را در پی دارد (Baum & Council, 2007). میزان غلظت کربن در جو به سطح بی سابقه‌ای رسیده، که نشان از گرم شدن جهانی هوای کره زمین دارد که اثرات مخربی را در پی خواهد داشت (Dixit, 2017; Dixit et al., 2015). ساختمان‌ها از طیف گسترده‌ای از مصالح ساختمانی استفاده می‌کنند و استفاده از هر یک از مصالح مصرفی، مصرف انرژی و انتشار دی اکسید کربن را در پی دارد.

بخش AEC که معماری، مهندسی و ساخت و ساز را شامل می‌شود، به‌عنوان مصرف‌کننده اصلی انرژی‌های تجدیدناپذیر و منبع انتشار کربن شناخته شده است (Hirst, 2013). به استناد گزارش برنامه زیست محیطی سازمان ملل در نایروبی ۲۰۲۰، ۳۵٪ از مصرف انرژی جهانی و ۳۸٪ از انتشار کربن جهانی را عهده دار می‌باشد. (2022 Global Status Report for Buildings and Construction | UNEP - UN Environment Programme, n.d.)

توافقنامه پاریس ۲۰۱۵ و نیز اهداف توسعه پایدار سازمان ملل، توجه برابر به اثر هر دو انرژی‌های مرتبط به ساختمان یعنی انرژی نهفته و انرژی بهره‌برداری موردنیاز است (Alwan et al., 2021). واژه انرژی نهفته برای اولین بار در سال ۱۹۷۰ میلادی در مقالات استفاده شد (Slessor, 1978). به عقیده دیگران تعبیر کنونی از واژه انرژی نهفته بسیار وسیع و همچنین متفاوت است (Dixit et al., 2012). انرژی نهفته، انرژی مصرفی در تولید مصالح، حمل و نقل و جایگذاری در محل ساختمان و سپس مراحل تخریب و بازیافت نهایی می‌باشد (دولت، ۱۴۰۳). انرژی نهفته بصورت سه گونه انرژی نهفته اولیه^۲ IEE و انرژی نهفته تکرار شونده^۳ REE و انرژی نهفته تخریب^۴ DE می‌باشد. (Dixit & Singh, 2018; Stephan & Stephan, 2016) سهم هر یک از مقادیر IEE, REE, DE در مجموع انرژی نهفته چرخه حیات متفاوت می‌باشند. (Dixit, 2017; Woubishet & Abegaz, 2019)

-
1. Architecture, Engineering and Construction
 2. Initial Embodied Energy
 3. Recurrent Embodied Energy
 4. Demolition Energy

منظور از انرژی نهفته در این پژوهش انرژی نهفته اولیه^۱ می‌باشد. انرژی نهفته اولیه انرژی تجدیدناپذیر مصرف شده در خرید مواد خام، فرآوری و تولید مصالح می‌باشد. انرژی نهفته شامل دو مولفه انرژی مستقیم و انرژی غیر مستقیم است که انرژی مستقیم، انرژی مصرفی در داخل و خارج از سایت اجرای ساختمان می‌باشد، مانند انرژی مصرفی برای اجرای ساختمان، پیش ساختگی، مونتاژ، حمل و نقل، مدیریت. انرژی غیرمستقیم، انرژی مصرفی در تولید مصالح ساختمانی، بازسازی، نوسازی، پروسه تخریب ساختمان و بازیافت آن می‌باشد. (Dixit et al., 2012)

در آیین‌نامه‌های مربوط به ساختمان‌ها در ایران که به اختصار می‌توان به مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، دستورالعمل برچسب انرژی ساختمان‌های غیرمسکونی به شماره ملی ۱۴۲۵۴ و استانداردهای سازمان ملی استاندارد اشاره کرد، هیچ توجه و اشاره‌ای به مبحث انرژی نهفته صورت نگرفته است. لذا لزوم پرداختن به این حوزه به جهت کاهش اثرات مخرب زیست محیطی و کاهش مصرف انرژی در کشور عزیزمان ایران بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

با مرور ادبیات پژوهش، شکافی از منظر عدم توجه به تاثیر انرژی نهفته مصالح بر روی انرژی بهره‌برداری استخراج گردید. (دولت، ۱۴۰۳ a) در برخی پژوهش‌ها رابطه میزان انرژی نهفته با میزان انرژی بهره‌برداری مورد بررسی قرار گرفته است، برای مثال در ساختمان‌های صفر انرژی و همینطور در خانه‌های پسیو مقادیر انرژی نهفته ساختمان افزایش قابل توجهی می‌یابد، که علت این امر استفاده از عایق‌های ویژه حرارتی در این نوع ساختمان‌ها می‌باشد. (Su et al., 2020) لذا جهت از بین بردن شکافی که در این زمینه وجود دارد توجه به انرژی بهره‌برداری و انرژی نهفته با هم در طراحی ساختمان‌ها و همینطور انتخاب مصالح ضروری می‌نماید. (دولت، ۱۴۰۳b، ۱۴۰۲b)

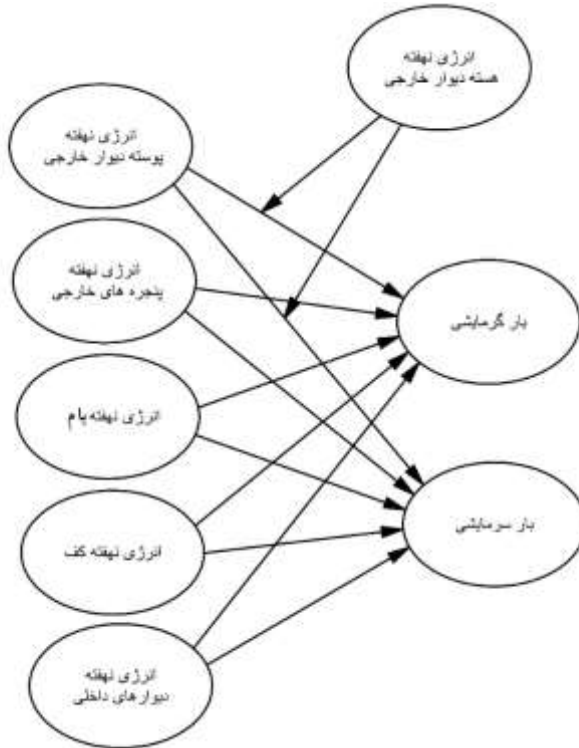
انرژی بهره‌برداری ساختمان به انرژی مورد استفاده در مرحله بهره‌برداری ساختمان اشاره دارد که می‌تواند بخش قابل توجهی از کل مصرف انرژی آن را تشکیل دهد. (Ahamed et al., 2020; Akande et al., 2016) این انرژی تحت تأثیر عواملی مانند طراحی، مصالح ساختمانی، لوازم و تجهیزات برقی ساختمان می‌باشد. (Krishna A. Joshi, 2013) ارزیابی و بهینه‌سازی انرژی بهره‌برداری برای بهبود عملکرد انرژی و پایداری ساختمان بسیار مهم است. (Akande et al., 2016; Diwedi, 2017) این مهم از طریق اجرای برنامه‌های بهینه‌سازی مصرف سوخت، استفاده از ابزارهای ارزیابی انرژی و در نظر گرفتن عملکرد انرژی در پروژه‌های نوسازی با شبیه‌سازی انرژی در ساختمان به دست می‌آید. دانشمندان در سرتاسر جهان بر روی استراتژی‌های کاهش مصرف انرژی در ساختمان از طریق توسعه مدل‌های شبیه‌سازی انرژی در ساختمان متمرکز شده‌اند. به طور خلاصه

مدل‌های شبیه‌سازی انرژی در ساختمان از نوع مدل‌های پیش‌آگهی و قانون محور هستند. به عبارت دیگر مدل‌های شبیه‌سازی انرژی در ساختمان با اعمال یکسری قوانین حاکم بر سیستم به دنبال پیش‌بینی رفتار آن سیستم می‌باشند. (Coakley et al., 2014) از متداولترین استانداردهای شبیه‌سازی انرژی در ساختمان نیز می‌توان به IBPSA و ASHREA^۲ و IEA^۳ اشاره کرد. فرهنگ رفتار ساکنین از موضوعات پراهمیت و چالش برانگیز در شبیه‌سازی انرژی در ساختمان می‌باشد، اختلاف بین عملکرد پیش‌بینی شده و واقعی ساکنان در مدل‌های شبیه‌سازی انرژی به‌وضوح قابل مشاهده است. (Azar & Menassa, 2012; Cali et al., 2016; Diao et al., 2017; Duarte et al., 2013; Gaetani et al., 2016; Jia et al., 2017) گرمايش بیشتر منجر شود. (Dalla Rosa & Christensen, 2011)

این پژوهش به بررسی تاثیر انرژی نهفته اجزای مختلف ساختمان با مصالح و جزئیات متفاوت بر روی انرژی بهره‌برداری ساختمان‌های مدارس سبز (دولت ، a ۱۴۰۲) می‌پردازد. متغیرهای انرژی نهفته استخراج شده از ادبیات نظری که متغیرهای برونزای مدل هستند، شامل: انرژی نهفته پوسته دیوار خارجی، هسته دیوارهای خارجی، پنجره‌های خارجی، بام، کف و دیوارهای داخلی می‌باشند. همچنین متغیرهای انرژی بهره‌برداری در این پژوهش که متغیرهای درونزای مدل می‌باشند، بار سرمایشی و گرمایشی می‌باشند. از سویی دیگر محقق در پی یافتن تعدیل‌گر رابطه انرژی نهفته و انرژی بهره‌برداری، پژوهش‌هایی را یافته است که نقش مصالح دیوار و عایق حرارتی را به عنوان تعدیل‌کننده میزان انرژی نهفته و بهره‌برداری به اثبات رسانیده‌اند. (Zilberberg et al., 2021) این پژوهش‌ها همگی از اهمیت نقش عایق و مصالح دیوار بر میزان انرژی چرخه حیات تاکید دارند. (Guo & Yao, 2012; Li et al., 2016; Song, 2017)

لذا محقق هسته دیوار خارجی را که دارای جزئیات متفاوت از جهت نوع عایق و مصالح و محل قرارگیری عایق و غیره می‌باشد را به‌عنوان متغیر تعدیل‌کننده انتخاب نمود. محقق با توجه به ادبیات ذکر شده و چارچوب نظری مدل مفهومی زیر را جهت بررسی و آزمون فرضیات در نظر گرفته است. (شکل ۱)

-
1. International Building Performance Simulation Association
 2. American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers
 3. International Energy Agency



شکل ۱. مدل مفهومی پژوهش (تاثیرسنجی انرژی نهمفته مصالح بر انرژی بهره برداری ساختمان)
(مأخذ، نگارنده)

۲. روش شناسی

در پژوهش حاضر رویکرد سیستماتیک و فرایندی آن در پیشبرد مسئله پژوهش و فرار از محدودیت های دانش در قالب رویکردی کمی تدوین گشته است (Susanti, 2019) و در قالب یک روش شناسی کاربردی برای طیف مخاطبان (Neuman, 2014, p. 26) است. رویکرد استدلالی قیاس گونه برآمده از پارادایم فرائیبات گرا، محقق را به سمت انتخاب یک روش شناسی کمی سیستماتیک با قرار دادهای مشخص رهنمون می سازد (Vega, 2022) که در شکل ۲ مشاهده می شود. فرضیات پژوهش از نوع علی یا تاثیرسنج می باشند. به اعتقاد رینگل فرضیات علی ارزشمندترین نوع فرضیات کمی هستند. (Hair et al., 2019) فرضیات علی در طی ۱۲۰ سال تاریخچه ای را مشتمل بر رگرسیون، تحلیل مسیر و مدلسازی معادلات سهختاری را پشت سر گذاشته اند. & Moradi.M

(Miralmasi.M, 2020b). دو روش رگرسیون و تحلیل مسیر دارای معایبی می‌باشند که در مقابل روش مدلسازی معادلات ساختاری این معایب را رفع کرده است. روش مدلسازی معادلات ساختاری دارای دو نسل کوواریانس محور و واریانس محور می‌باشد. در جدول ۱ شرایط استفاده از نسل‌های واریانس محور و کوواریانس محور مدلسازی معادلات ساختاری به اختصار مشخص شده است.



شکل ۲: روش‌شناسی تکنیک آماری مدلسازی معادلات ساختاری (Moradi.M & Miralmasi.M, 2020a)

جدول ۱. شرایط استفاده از دو نسل مدلسازی معادلات ساختاری (Tarka, 2018)

نسل ۱: کوواریانس محور	نسل ۲: واریانس محور
حجم نمونه بالا	عدم حساسیت به حجم نمونه
نرمال بودن توزیع داده‌های متغیرها	عدم حساسیت به غیرنرمال بودن توزیع داده‌های متغیرها
دارا بودن ۳ شاخص یا گویه یا آیتم برای هر متغیر مکنون	توانایی استفاده از مدل اندازه‌گیری تنها با یک سوال
(Hanafiah, 2020) انعکاسی بودن شاخص‌های متغیرهای مکنون	ترکیبی بودن شاخص‌های متغیرهای مکنون
مدل‌ها از ساده تا متوسط	مدل‌ها متوسط تا پیچیده
دشواری محاسبه متغیرهای تعدیلگر	توانایی پشتیبانی از متغیرهای تعدیلگر

با توجه به جدول ۱ از آنجا که گویه‌های متغیرهای مکنون پژوهش از نوع سینگل آیتم و همینطور ترکیبی هستند و مدل دارای تعدیلگر می‌باشد، لذا بر مبنای شرایط ذکر شده مدلسازی معادلات ساختاری واریانس محور برای آزمون فرضیات مدل انتخاب گردید. (Avkiran & Ringle, 2018) [19], [20] روش‌شناسی مدلسازی معادلات ساختاری بر مبنای شکل ۲ از ۷ گام تشکیل شده است که به ترتیب شامل: تدوین مدل، استراتژی نمونه‌گیری، جمع‌آوری و پیش‌پردازش و توصیف داده‌ها، انتخاب نرم‌افزار مناسب واریانس یا کوواریانس محور، اجرای مدل اندازه‌گیری یا بیرونی، اجرای مدل ساختاری یا درونی و در نهایت اجرای تحلیل‌های پیشرفته مدل می‌باشد. در گام یک، مدل مفهومی پژوهش بر مبنای چارچوب نظری تدوین گردید. در ادامه به استراتژی نمونه‌گیری می‌پردازیم و از گام ۳ به بعد در بخش نتایج دنبال می‌گردد.

۲-۱. جامعه و نمونه

جامعه مورد بررسی پژوهش مدارس شهر تهران هستند. از این میان جامعه هدف پژوهش که محقق به دنبال تعمیم نتایج خود به آن‌ها است (Levy & Lemeshow, 2013) مدارس سبز شهر تهران هستند. مدرسه سبز مطهری تهران و مدرسه سبز مجید عباسی به عنوان جامعه در دسترس پژوهش انتخاب گردیده‌اند. در این میان با توجه به بررسی‌های زیاد میدانی و طی جلسات متعدد با سازمان نوسازی مدارس شهر تهران مدرسه شهید مطهری به دلیل یکسان بودن ساختار آموزش و پرورش، ویژگی نمونه بودن را دارا می‌باشد و از این نمونه مدارس دیگری در نقاط مختلف

- 1.Reflective
- 2.Formative
- 3.Sample

استان و شهر تهران در حال اجرا هستند و یا اجرا شده‌اند که از جمله آن می‌توان به هنرستان فسایی‌نژاد واقع در پاسداران تهران و هنرستان کار و دانش معلم پاکدشت اشاره کرد. با توجه به دلایل ذکر شده مدرسه سبز شهید مطهری به عنوان واحد تحلیل در نظر گرفته شد. مساحت مدرسه حدود ۲۲۱۳ متر مربع است که شامل زیرزمین، طبقه همکف، طبقه اول و طبقه دوم می‌باشد و در منطقه ۷ تهران واقع شده است. لذا محقق برای دستیابی به نمونه‌ای معرف جامعه و بر اساس روش‌های مبتنی بر معادله (Neuman, 2014) و از طریق نرم‌افزار سایت Danielsooper تعداد ۷۰۰ عدد را برای حجم نمونه تعیین کرده است. بر اساس این حجم اندازه اثر ۰/۰۵ و دقت ۹۹ درصد و توان تعمیم‌پذیری ۹۵ درصدی برای پژوهش مشخص شده است. همچنین در این پژوهش جهت جلوگیری از بروز خطای اندازه گیری، محقق اقدام به جمع آوری ۶٪ بیشتر حجم نمونه و در مجموع ۷۴۱ نمونه نموده است.

۲-۲. جمع آوری داده ها

با توجه به تقسیم‌بندی متغیرها بر اساس نقش در مدل که در بخش تدوین مدل به آن پرداخته شد، در پژوهش کنونی متغیرهای برونزا بر داده‌های بر آمده از انرژی نهفته متمرکز هستند و متغیرهای درونزا بر داده‌های بر آمده از انرژی بهره‌برداری که از طریق شبیه‌سازی بدست می‌آیند استوارند. در ادامه به بررسی روش محاسبه هرکدام می‌پردازیم.

۲-۱. جمع‌آوری داده‌های متغیرهای برونزا

روش‌های محاسبه انرژی نهفته شامل تحلیل آماری^۱، تحلیل فرآیندی^۲، تحلیل برمبنای ورودی و خروجی اقتصادی^۳ و تحلیل چنگانه^۴ می‌باشد. این روش‌ها از نقطه‌نظر جمع‌آوری اطلاعات اولیه متفاوت می‌باشند.

(Ding, 2004; Dixit et al., 2010; G. P. Hammond & Jones, 2010) پژوهش‌ها برای محاسبه انرژی نهفته در ساختمان‌ها از ارزیابی چرخه حیات بهره می‌برند. در حقیقت روش‌های محاسبه انرژی نهفته کنونی در مدل‌های تحلیل چرخه حیات وجود دارند. (Sharrard, 2007) هاموند و جونز با توجه به برنامه ساختمانی از منظر کربن در دانشگاه بٹ انگلستان، پایگاه اطلاعاتی وسیع و جامعی از انرژی و کربن مصالح ساختمانی را بنیان نهاده‌اند. (G. Hammond & Jones, 2006) در پژوهش پیش رو جهت محاسبه انرژی نهفته از این پایگاه اطلاعاتی بهره گرفته شده است.

1. Statistical analysis
2. Process-based analysis
3. Economic input/output based analysis
4. Hybrid analysis

جهت محاسبه انرژی نهفته مصالح ابتدا ساختمان مدرسه همراه با جزئیات اجرایی آن در نرم افزار رویت مدل‌سازی گردید. سپس جداول متره مربوط به هر یک از متغیرها استخراج گردید. جهت محاسبه انرژی نهفته هر یک از متغیرهای برونزای پژوهش، وزن مصالح مورد استفاده در هر دیتیل مورد نظر محاسبه گردیده و میزان انرژی نهفته مصالح مربوط به هر دیتیل منتخب متغیرهای برونزا از حاصل ضرب وزن مصالح در ضریب مصالح هاموند و جونز (G. Hammond & Jones, 2006) محاسبه شد. مقادیر نهایی در نرم‌افزار اکسل وارد گردید. در هر مرحله با تغییر دیتیل‌های متغیرهای برونزای پژوهش میزان انرژی نهفته مجدداً محاسبه می‌گردد، اینکار به تعداد تغییرات متغیرها که همان جزئیات مختلف دیوارهای خارجی، پنجره‌های خارجی، کف، بام و دیوارهای داخلی هستند، تکرار می‌گردد. در این پژوهش برای متغیر هسته دیوار خارجی ۶ تیپ، پوسته دیوار خارجی ۴ تیپ، پنجره‌های خارجی ۳ تیپ، بام ۴ تیپ، کف طبقات ۵ تیپ و دیوار داخلی ۴ تیپ مختلف جزئیات مورد بررسی قرار گرفته‌اند. فرمول‌های زیر جهت محاسبه انرژی نهفته متغیرهای برونزای پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است.

$EE^1 EX^2Wall Core = \sum Exterior Wall Core Materials Weight \times Hammond \& Jones Coefficient Materials/Area$

$EE EXWall Facade = \sum Exterior Wall Façade Materials Weight \times Hammond \& Jones Coefficient Materials/ Area$

$EE EXWIN = \sum Exterior Win Materials Weight \times Hammond \& Jones Coefficient Materials/ Area$

$EE Roof = \sum Roof Materials Weight \times Hammond \& Jones Coefficient Materials/ Area$

$EE Floor = \sum Floor Materials Weight \times Hammond \& Jones Coefficient aterials/Area$

$EE ENT^3Wall = \sum Interior Wall Materials Weight \times Hammond \& Jones Coefficient Materials/Area$

۲-۲-۲. جمع‌آوری داده‌های متغیرهای درونزا

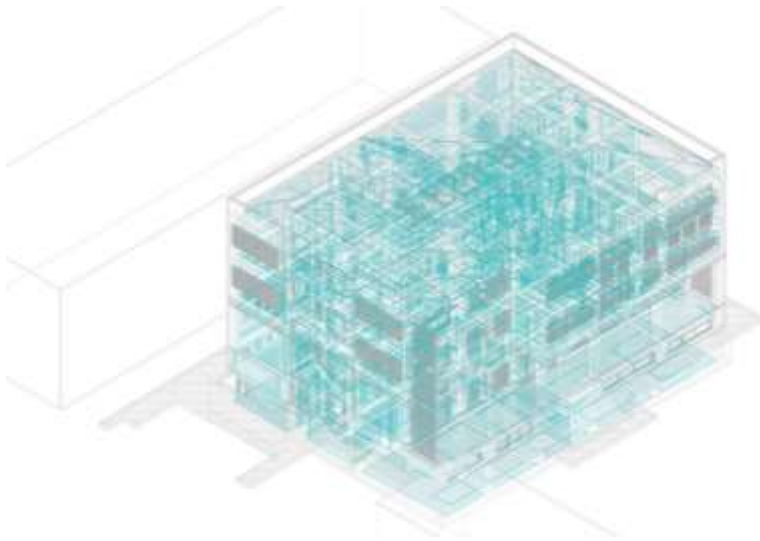
نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی نیازمند داده‌های هواشناسی هستند. (Black et al., 2018) در شبیه‌سازی ساختمان از داده‌های آب و هوا برای مطالعات ارزیابی آسایش حرارتی و انرژی استفاده می‌شود. (Rostami et al., 2024) محقق اطلاعات داده‌های هواشناسی شهر تهران و ایستگاه مهرآباد را در نرم‌افزار رویت تنظیم کرده است که نزدیکترین پایگاه هواشناسی به لوکیشن مدرسه شهید

1. Embodied Energy

2. Exterior

3. Interior

مطهری می‌باشد. جهت محاسبه پیک بار سرمایشی و گرمایشی که متغیرهای درونزای مدل پژوهش کنونی هستند، بعد از مدلسازی ساختمان مدرسه با جزییات، مدل انرژی ساختمان در نرم افزار رویت ساخته شد. شکل ۳، مدل انرژی ساخته شده مدرسه شهید مطهری را نشان می‌دهد.



شکل ۳. تصویر ایزومتریک از مدل انرژی مدرسه شهید مطهری (منبع، خروجی نرم‌افزار Revit)

جهت جمع‌آوری داده‌ها، در هر مرحله با دستور schematic types دیتیل متغیرهای برونزای دیوار خارجی، پنجره، بام، کف و دیوار داخلی در هر مرحله تنظیم گردید و سپس بار سرمایشی و گرمایشی که همان متغیرهای درونزای پژوهش هستند، توسط نرم‌افزار با استفاده از دستور زیر مورد محاسبه قرار گرفت.

Analyze>> Heating and Cooling loads

از خروجی نرم‌افزار مقادیر پیک بار سرمایشی و بار گرمایشی از قسمت building summary استخراج گردید. مقادیر خروجی بر اساس وات می‌باشند به این ترتیب با فرمول نویسی در نرم‌افزار اکسل به کیلوژول تبدیل شدند و سپس با تقسیم بر مساحت، مقادیر هر کیلوژول بر مترمربع پیک بار سرمایشی و گرمایشی در چک لیست داده‌ها قرار گرفت. این عملیات با توجه به حجم نمونه پژوهش و بر اساس نمونه‌گیری تصادفی ۷۴۱ مرتبه انجام گردید. در مرحله بعد محقق، کلیه مقادیر انرژی نهفته متغیرهای برونزا و مقادیر بار سرمایشی و گرمایشی را در نرم‌افزار SPSS جهت انجام

پیش‌پردازش‌ها و آزمون‌های مربوطه وارد نموده است. جدول ۲ شاخص‌های اندازه‌گیری متغیرهای مکنون پژوهش را نمایش می‌دهد.

جدول ۲. شاخص‌های اندازه‌گیری کننده متغیرهای مکنون مدل (مأخذ، نگارنده)

ماهیت شاخص	شاخص‌ها	متغیر مکنون	واحد
ترکیبی	محاسبه میزان انرژی نهفته بوسیله فرمول $\sum_{CoExWall} EE = \sum (Wall Area) \times (Weight per Square Meter of Material) \times (H\&J Coefficient of materials) / Area$	انرژی نهفته هسته دیوار خارجی Core Exterior Wall Embodied Energy	KJ/M ²
ترکیبی	محاسبه میزان انرژی نهفته بوسیله فرمول $\sum_{FaExWall} EE = \sum (Wall Area) \times (Weight per Square Meter of Material) \times (H\&J Coefficient of materials) / Area$	انرژی نهفته نمای دیوار خارجی Facade Exterior Wall Embodied Energy	KJ/M ²
ترکیبی	محاسبه میزان انرژی نهفته بوسیله فرمول $\sum_{ExWin} EE = \sum (Win Area) \times (Weight per Square Meter of Material) \times (H\&J Coefficient of materials) / Area$	انرژی نهفته پنجره خارجی Exterior Window Embodied Energy	KJ/M ²
ترکیبی	محاسبه میزان انرژی نهفته بوسیله فرمول $\sum_{ExWin} EE = \sum (Roof Area) \times (Weight per Square Meter of Material) \times (H\&J Coefficient of materials) / Area$	انرژی نهفته سقف Roof Embodied Energy	KJ/M ²
ترکیبی	محاسبه میزان انرژی نهفته بوسیله فرمول $\sum_{ExWin} EE = \sum (Floor Area) \times (Weight per Square Meter of Material) \times (H\&J Coefficient of materials) / Area$	انرژی نهفته کف Floor Embodied Energy	KJ/M ²
ترکیبی	محاسبه میزان انرژی نهفته بوسیله فرمول $\sum_{ExWin} EE = \sum (Interior wall Area) \times (Weight per Square Meter of Material) \times (H\&J Coefficient of materials) / Area$	انرژی نهفته دیوار داخلی Interior Wall Embodied Energy	KJ/M ²
ترکیبی	محاسبه بار سرمایشی به‌وسیله شبیه‌سازی ساختمان و تبدیل انرژی بر حسب وات به کیلو ژول بر مترمربع	بار سرمایشی Cooling Load Energy	KJ/M ²
ترکیبی	محاسبه بار گرمایشی به‌وسیله شبیه‌سازی ساختمان و تبدیل انرژی بر حسب وات به کیلو ژول بر مترمربع	بار گرمایشی Heating Load Energy	KJ/M ²

۳- نتایج

۳-۱- پیش پردازش ها

پس از عملیات مدل‌سازی برای رسیدن به حجم نمونه مورد نظر تعداد ۷۴۱ مرتبه عملیات شبیه‌سازی انجام شد و سپس داده‌های خام در نرم افزار SPSS 27 وارد شد. آزمون‌های غربالگری داده‌ها مانند مدیریت کیس‌های بی تفاوت، داده‌های پرت، داده‌های گم شده، داده‌های تکثیر شده انجام پذیرفت و تعداد ۷۰۲ کیس قابل تحلیل باقی ماند. با توجه به حجم نمونه پژوهش کنونی مقادیر شاپیرو و ویلک جهت آزمون

نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت. کلیه مقادیر sig متغیرهای مکنون پژوهش در جدول ۳ حاکی از آن است که به احتمال ۹۹٪ الگوی موجود در نمونه در جامعه هم معنادار است و بدین ترتیب توزیع داده‌های پژوهش نرمال می‌باشد و محقق می‌تواند از آزمون‌ها و یا نرم‌افزارهای آمار پارامتریک استفاده کند.

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
MJ/M2 انرژی نهفته پوسته دیوار خارجی	0.436	702	0.000	0.671	702	0.000
MJ/M2 انرژی نهفته هسته دیوار خارجی	0.360	702	0.000	0.743	702	0.000
MJ/M2 انرژی نهفته پنجره‌های خارجی	0.212	702	0.000	0.804	702	0.000
MJ/M2 انرژی نهفته بام	0.203	702	0.000	0.818	702	0.000
MJ/M2 انرژی نهفته کف	0.345	702	0.000	0.750	702	0.000
MJ/M2 انرژی نهفته دیوار داخلی	0.244	702	0.000	0.817	702	0.000
MJ/M2 بارگرمایشی	0.312	702	0.000	0.632	702	0.000
MJ/M2 بارسرمایشی	0.285	702	0.000	0.654	702	0.000

جدول ۳. آزمون شاپیرو ویلک و کولموگروف اسمیرنوف جهت بررسی نرمال بودن داده‌ها (مأخذ، خروجی نرم‌افزار SPSS)

جهت بررسی کفایت حجم نمونه و کرویت روابط آزمون KMO and Bartlett's اجرا گردید. مقدار $KMO = 0.623$ که بزرگتر از ۰.۵ است و تعداد مشاهدات محقق برای آزمون تحلیل عاملی کافی است (Sarstedt & Mooi, 2019, p. 519)، از طرفی کرویت روابط بین شاخص‌ها به عنوان شرط اصلی تحلیل عاملی توسط معناداری آزمون بارتلت تایید شده است (Henseler et al., 2016) ($sig = p$) ($value = 0.000 < 0.05$) و در سطح اطمینان ۹۹ درصد دارای تقارن یا کرویت است. (جدول ۴) با ترسیم نمودار سنگ ریزه (شکل ۴)، محقق اطمینان می‌یابد که تعداد متغیرهای دسته بندی شده

توسط نرم افزار با تعداد متغیرهای او در مدل پژوهش یکسان است. این نمودار مشخص می کند که شاخص های هر متغیر مکنون پس از دسته بندی توسط تحلیل عاملی در عامل های خود جای گرفته اند (Kline, 2016).

جدول ۴. آزمون کفایت حجم نمونه (مأخذ، خروجی نرم افزار SPSS)

Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.623
Approx. Chi-Square		3498.282
Bartlett's Test of Sphericity	df	21
	Sig.	0.000



شکل ۴. نمودار سنگ ریزه تعداد متغیرهای مکنون بر اساس مقدار ویژه (مأخذ، خروجی نرم افزار SPSS)

۲-۳- انتخاب نرم افزار

چهار مورد از پرکاربردترین نرم افزارهای مدلسازی PLS، AMOS، EQS، LISREL معادلات ساختاری هستند که سه نرم افزار LISREL، AMOS و EQS متعلق به نسل اول معادلات

ساختاری یعنی نسل کواریانس محورها و نرم افزارهای PLS که خود چند نوع هستند، جزو نسل دوم معادلات ساختاری یعنی نسل واریانس محورها می باشند. روش های واریانس محور که بعداً به روش حداقل مربعات جزئی^۱ تغییر نام دادند، توسط ولد (۱۹۷۴) ابداع شد. این روش از دو مرحله تشکیل شده است:

(۱) سنجش مدل های اندازه گیری با معیارهای مربوط به پایایی و روایی

(۲) سنجش بخش ساختاری با استفاده از ضرایب t

طی سال های اخیر استفاده از روش PLS و نرم افزارهای مربوط به آن نسبت به روش های نسل اول و نرم افزارهای آن مثل لیزرل، آموس و ای کیو اس، بیشتر شده و این به خاطر مزیت هایی است که روش PLS نسبت به روش نسل اول دارد. از آنجا که مدل پژوهش کنونی دارای شرایط مدل های واریانس محور می باشد، بدین ترتیب جدیدترین آپدیت نرم افزار Smart PLS دارای مشخصات version 4.0.9.6 جهت آزمون مدل انتخاب گردید. توضیح اینکه این نسخه از نرم افزار قابلیت آزمون هر دو نوع مدل کوواریانس و واریانس محور را دارا می باشد. لذا انقلابی در نرم افزارهای موجود در بازار ایجاد کرده است. (Moradi & Miralmasi, 2020).

۳-۳- آزمون مدل بیرونی

مدل مفهومی پژوهش در نرم افزار SMART PLS ورژن ۴ اجرا و مورد روایی، پایایی و کیفیت سنجی قرار گرفت (Hair et al., 2020) مدل اندازه گیری (بیرونی) اولیه پژوهش بر اساس شروط همگن بودن شاخص های مدل اندازه گیری ترکیبی ارزیابی گردید (Mellat et al., 2022). بر اساس دستورالعمل پرفسور رینگل در سایت نرم افزار PLS اگر متغیر پنهان سینگل آیتم در مدل داشته باشیم، وزن و بارگذاری برابر با ۱ است. بنابراین، متغیر پنهان برابر با نشانگر است. هیچ خطای اندازه گیری وجود نخواهد داشت. بارهای عاملی شاخص های ترکیبی اندازه گیری کننده پژوهش در فرایند تحلیل عاملی تاییدی دارای ضریب بار عاملی بزرگتر از نقطه برش ۰,۷ و برابر با ۱ هستند. (Rg Henseler et al., 2014).

جهت بررسی روایی واگرا برای متغیرهای مکنون ترکیبی آزمون عدم همخطی VIF مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. یک مدل اندازه‌گیری ترکیبی شبیه به یک رگرسیون چندگانه است که در آن متغیرهای آشکار در نقش متغیرهای مستقل و متغیر مکنون در نقش متغیر وابسته است. از طرفی می‌دانیم که یکی از شروط و پیش‌فرض‌های رگرسیون عدم هم خطی متغیرهای مستقل است. بنابراین برای بررسی این وضعیت از شاخص تورم یا تورش واریانس VIF بهره گرفته می‌شود که در آن شاخص تورم واریانس بالای ۱۰ نشان دهنده وضعیت هم خطی بحرانی و مقدار نزدیک به ۱ نشان دهنده وضعیت مطلوب است و حداقل قبول هم‌خطی را نشان می‌دهد. (Henseler et al., 2009) بیشتر محققان بر میزان کوچکتر بودن تورش واریانس نسبت به عدد ۵ توافق دارند. (Iqbal & Mia, 2020) کلیه ضرایب VIF پژوهش کنونی برابر با ۱ و کمتر از ۵ می‌باشد. لذا عدم هم خطی سوالات متغیرهای مکنون ترکیبی به اثبات می‌رسد.

علی‌رغم نقدهای جدی تعدادی از محققین و حتی خود کرونیخ بر مقاله خود و اینکه معتقد است کسانی که به ضریب او استناد می‌کنند حتی مقاله او را یکبار نخوانده‌اند، ضریب آلفای کرونیخ به‌عنوان رایج‌ترین و قدیمی‌ترین آزمون سنجش پایایی با روش سازگاری درونی و برگرفته از مقاله کرونیخ در بیش از ۷۰ سال پیش است. (Moradi et al., 2022) علاوه بر میزان آلفای کرونیخ، پایایی سازه را می‌توان براساس پایایی مرکب CR و میزان واریانس استخراج شده AVE محاسبه کرد. بدین ترتیب که CR بزرگتر از ۰,۷ و AVE بزرگتر از ۰,۵ باشد. در جدول ۵، مقادیر ضرایب آلفا، CR و AVE نمایش داده شده‌اند. به نظر پرفسور رینگل، اگر متغیر پنهان سینگل آیتم در مدل داشته باشیم، علاوه بر بار عاملی تمام معیارهای قابلیت اطمینان و پایایی (AVE، آلفای کرونیخ، قابلیت اطمینان ترکیبی) باید ۱ باشد.

که در مدل معادلات ساختاری پژوهش کلیه مقادیر بدین صورت گزارش شده است.

(Fixing Measurement Error to 0 for Single-Item-Latent - Forum.Smartpls.Com, n.d.)

جدول ۵. بررسی ضرایب α و CR و AVE (مأخذ، خروجی نرم افزار SMART PLS4)

متغیر مکنون	α	CR(rho_a)	CR(rho_c)	AVE
انرژی نهفته هسته دیوار خارجی Core Exterior Wall Embodied Energy	1	1	1	1
انرژی نهفته نمای دیوار خارجی Facade Exterior Wall Embodied Energy	1	1	1	1
انرژی نهفته پنجره خارجی Exterior Window Embodied Energy	1	1	1	1
انرژی نهفته بلم Roof Embodied Energy	1	1	1	1
انرژی نهفته کف Floor Embodied Energy	1	1	1	1
انرژی نهفته دیوار داخلی Interior Wall Embodied Energy	1	1	1	1
یا سرمایشی Cooling Load Energy	1	1	1	1
یا گرمایشی Heating Load Energy	1	1	1	1

مدل اندازه گیری (بیرونی) اکنون مورد کیفیت سنجی قرار می گیرد. معیارهای تناسب و برازش به شکل کواریانس محورهای در روش های حداقل مربعات جزئی وجود ندارد. یعنی، شاخص های برازش نمی تواند به طور قابل اعتماد مدل های معتبر را از نامعتبر تشخیص دهد (Ringle et al., 2022) لذا از شاخص Q square برای بررسی کیفیت پیشبینی متغیرهای آشکار از متغیر مکنون در مدل بیرونی استفاده می شود. مطابق با آنچه در ادبیات دهه اخیر بیان شده است مقدار این شاخص باید بزرگتر از صفر باشد. اگر چه برای تفسیر آن می توان از مقادیر ۰,۰۲، ۰,۱۵ و ۰,۳۵ به ترتیب از ضعیف تا قوی استفاده کرد. (Becker et al., 2013) مطابق با جدول ۶ مقادیر Q square بالاتر از مقدار ۰,۳۵ می باشند و بدین ترتیب کیفیت پیشبینی مدل بیرونی قوی ارزیابی شده است.

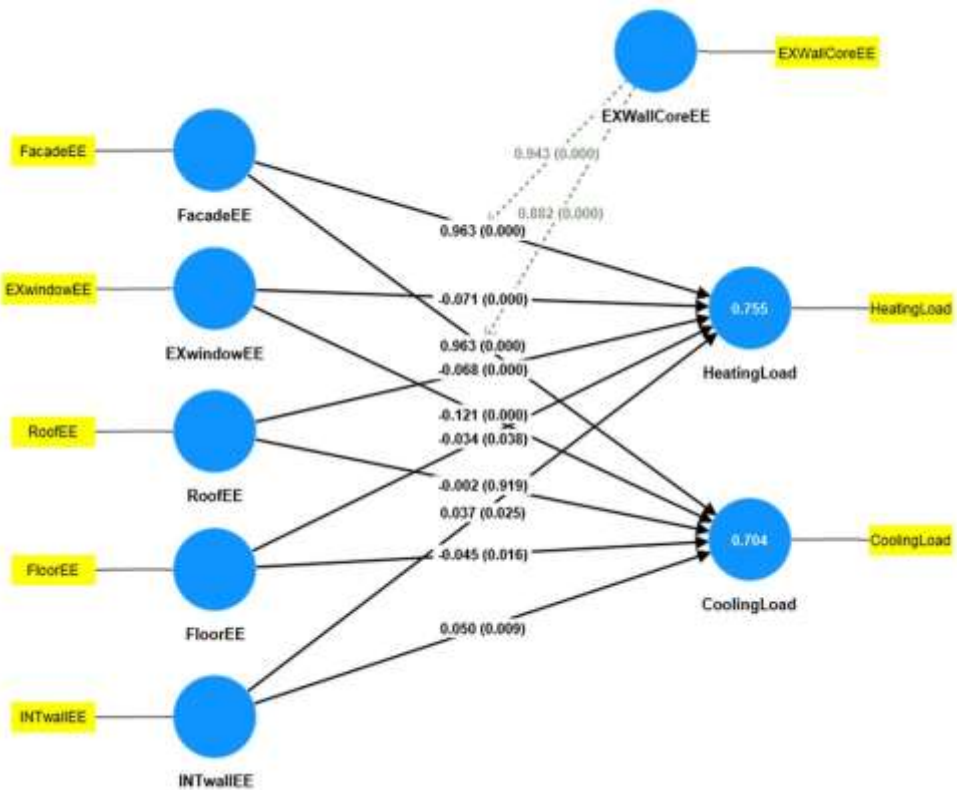
جدول ۶. بررسی شاخص های کیفیت مدل (مأخذ، خروجی نرم افزار SMART PLS4)

متغیر مکنون	Q ² predict	PLS-SEM_RMSE	PLS-SEM_MAE	LM_RMSE	LM_MAE
CoolingLoad	0.612	151030.13	102444.776	177407.102	128374.799
HeatingLoad	0.651	168671.827	114257.547	205489.718	150145.117

۴-۳- آزمون مدل درونی

اکنون که مدل بیرونی پژوهش روایی، پایایی و کیفیت مشاهدات جمع‌آوری شده از ابزار را در قالب مدل پژوهش به تایید رسانیده است، مدل درونی (ساختاری) پژوهش جهت آزمون فرضیات و دقت پیش‌بینی متغیرهای درونزا اجرا می‌گردد. (Iqbal & Mia, 2020; Tarka, 2018) بدین ترتیب به آزمون مدل درونی یا ساختاری پژوهش می‌پردازیم. شکل ۵، مدل ساختاری پژوهش را در حالت تخمین ضرایب و معناداری ضرایب نشان می‌دهد، همچنین جدول ۷، معناداری و ضرایب مسیر فرضیات مدل ساختاری پژوهش را نمایش می‌دهد.

شکل ۵. مدل بیرونی و درونی پژوهش در حالت تخمین ضرایب و معناداری ضرایب (مأخذ، خروجی نرم‌افزار SMART PLS4)



جدول ۷. جدول آزمون فرضیات مدل پژوهش (مأخذ، خروجی نرم افزار SMART PLS4)

فرضیات پژوهش	β	VIF	T values	P values	نتیجه
EXWallCoreEE -> CoolingLoad	0.666	1.568	20.165	0/000	معنادار
EXWallCoreEE -> HeatingLoad	0.646	1.568	19.564	0/000	معنادار
EXwindowEE -> CoolingLoad	-0.121	1.01	6.434	0/000	معنادار
EXwindowEE -> HeatingLoad	-0.071	1.01	4.505	0/000	معنادار
FacadeEE -> CoolingLoad	0.963	1.421	21.738	0/000	معنادار
FacadeEE -> HeatingLoad	0.963	1.421	22.149	0/000	معنادار
FloorEE -> CoolingLoad	-0.045	1.052	2.402	0.016	معنادار
FloorEE -> HeatingLoad	-0.034	1.052	2.071	0.038	معنادار
INTwallEE -> CoolingLoad	0.05	1.155	2.624	0.009	معنادار
INTwallEE -> HeatingLoad	0.037	1.155	2.238	0.025	معنادار
RoofEE -> CoolingLoad	-0.002	1.102	0.102	0.919	غیر معنادار
RoofEE -> HeatingLoad	-0.068	1.102	3.651	0/000	معنادار
EXWallCoreEE x FacadeEE -> CoolingLoad	0.882	1.498	21.243	0/000	معنادار
EXWallCoreEE x FacadeEE -> HeatingLoad	0.943	1.498	22.8	0/000	معنادار

هدف غایی یک پژوهش کمی در پیشبینی متغیرهای وابسته اصلی مدل مفهومی است. جدول ۸ مقادیر R^2 متغیرهای درونزا و وابسته پژوهش کنونی را نشان می‌دهد. پروفیسور Hair بیان می‌کند که این شاخص مطابق با گفته چن باید با سه مقدار ۰,۱۹، ضعیف، ۰,۳۳، متوسط و ۰,۶۷، قوی مقایسه شود. چنانچه این مقدار کمتر از ۰,۱۹، برای پژوهشی بود آن پژوهش ارزش علمی نخواهد داشت (Hair et al., 2011). نتایج $R^2=0.755, 0.704$ در دو معادله ساختاری خبر از تبیین بسیار قدرتمند از واریانس یا رفتار متغیر بار سرمایه‌گذاری و بار گرمایشی که همان انرژی بهره‌برداری می‌باشد، می‌دهد. به عبارتی مدل برآمده از ادبیات پژوهش و متغیرهای انتخاب شده برای مدل مفهومی در مجموع بیش از ۷۰ درصد از تاثیر رفتار انرژی نهفته بر انرژی بهره‌برداری را پیش‌بینی می‌کند که این مقدار با هر معیاری از صاحب‌نظران بسیار قوی در نظر گرفته می‌شود.

متغیر درونزا	R-square	R-square adjusted
CoolingLoad	0.704	0.701
HeatingLoad	0.755	0.752

جدول ۸. مقادیر R2 متغیر های درونزای پژوهش (مأخذ، خروجی نرم افزار SMART PLS4)

نتایج مدل ساختاری پژوهش نشان می‌دهد که در معادله اول ساختاری ۶ متغیر انرژی نهفته پوسته خارجی یا نما، انرژی نهفته هسته دیوار خارجی، انرژی نهفته پنجره‌های خارجی، انرژی نهفته بام، انرژی نهفته کف و انرژی نهفته دیوارهای داخلی بر متغیر مکنون بار گرمایشی تاثیر می‌گذارند و از بین این ۶ فرضیه با توجه به مقدار $p \text{ value} < 0.01$ ۴ فرضیه با احتمال ۹۹ درصد تایید و ۲ فرضیه با توجه به مقدار $p \text{ value} < 0.05$ با احتمال ۹۵ درصد به تایید رسیده است. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که با توجه به مقدار منفی β در انرژی نهفته پنجره‌های خارجی، انرژی نهفته کف و انرژی نهفته بام، با افزایش آن‌ها مقدار بارگرمایشی کاهش می‌یابد. مقدار $R^2 = 0.755$ است که با توجه به مقادیر اندازه اثر چن (Chin, 1998) بسیار قوی ارزیابی می‌شود.

در معادله دوم ساختاری ۶ متغیر انرژی‌های نهفته پوسته خارجی یا نما، هسته دیوار خارجی، پنجره‌های خارجی، بام، کف و دیوارهای داخلی بر متغیر مکنون بار سرمایشی تاثیر می‌گذارند و از بین این ۶ فرضیه، ۴ فرضیه انرژی‌های نهفته پوسته خارجی یا نما، هسته دیوار خارجی، پنجره‌های خارجی و دیوارهای داخلی با توجه به مقدار $p \text{ value} < 0.01$ با احتمال ۹۹ درصد تایید شده‌اند و یک فرضیه انرژی نهفته کف با توجه به مقدار $p \text{ value} < 0.05$ با احتمال ۹۵ درصد به تایید رسیده است. تاثیر متغیر انرژی نهفته سقف بر بار سرمایشی از نظر آماری معنادار نیست و این فرضیه رد می‌گردد. از طرفی نتایج نشان می‌دهد که با توجه به مقدار منفی β در انرژی نهفته پنجره‌های خارجی و انرژی نهفته کف با افزایش آنها، مقدار بار سرمایشی کاهش می‌یابد. از طرفی ۶ متغیر ذکر شده دارای دقت پیشبینی $R^2 = 0.704$ است که با توجه به مقادیر اندازه اثر چن (Chin, 1998) بسیار قوی ارزیابی می‌شود. بطور خلاصه از بین ۱۴ فرضیه پژوهش همه فرضیات تأیید و تنها یک فرضیه رد شد.

نکته مهم این است که، به دلیل عدم وجود کوواریانس در PLS-SEM نمی‌توان تنها به مقادیر R^2 اکتفا کرد. زیرا ممکن است که متغیرهای مکنون برونزا با هم هم‌پوشانی داشته باشند. راه حل این است که آزمون VIF که آزمون نمایانگر عدم هم‌خطی متغیرهای مکنون می‌باشد بررسی گردد.

همانطور که در جدول ۷ مشخص شده است، کلیه مقادیر VIF متغیرهای مکنون برونزا کمتر از ۵ می‌باشند و لذا متغیرهای مکنون برونزا هم‌خطی ندارند و در نتیجه نتایج بدست آمده از R^2 کاملاً قابل اطمینان هستند.

۴-۳- آزمون تحلیل پیشرفته تعدیل گر

در تجزیه و تحلیل مدل‌های مفهومی گاهی متغیر مستقل یا متغیر وابسته تحت تأثیر متغیر سوم قرار می‌گیرد که به‌عنوان متغیر میانجی مورد تحلیل قرار می‌گیرد. (Pardo & Román, 2013) در موارد دیگر، گاهی اوقات متغیر سوم بر خود روابط علی تأثیر می‌گذارد که در این حالت، متغیر تعدیل کننده^۱ نامیده می‌شود. (Yoon, 2020) این نوع از متغیرها اثرات متغیرهای برونزا بر درونزا را تقویت یا تضعیف می‌کنند. (Dawson, 2014) در پژوهش کنونی با توجه به در نظر گرفتن متغیر انرژی نهفته هسته دیوار خارجی به‌عنوان تعدیل گر، در این بخش به تحلیل پیشرفته این تعدیل گر می‌پردازیم. انرژی نهفته هسته دیوار خارجی با توجه به مقیاس اندازه‌گیری فاصله‌ای نسبی بر مبنای روش حاصل ضربی یا تعاملی مورد تحلیل اثرات تعدیلی قرار گرفت. جدول ۹ نتایج آزمون فرضیات تعدیل گر انرژی نهفته هسته دیوار خارجی را نمایش می‌دهد.

جدول ۹. جدول آزمون فرضیات تعدیل کننده مدل پژوهش (مأخذ، خروجی نرم افزار SMART PLS4)

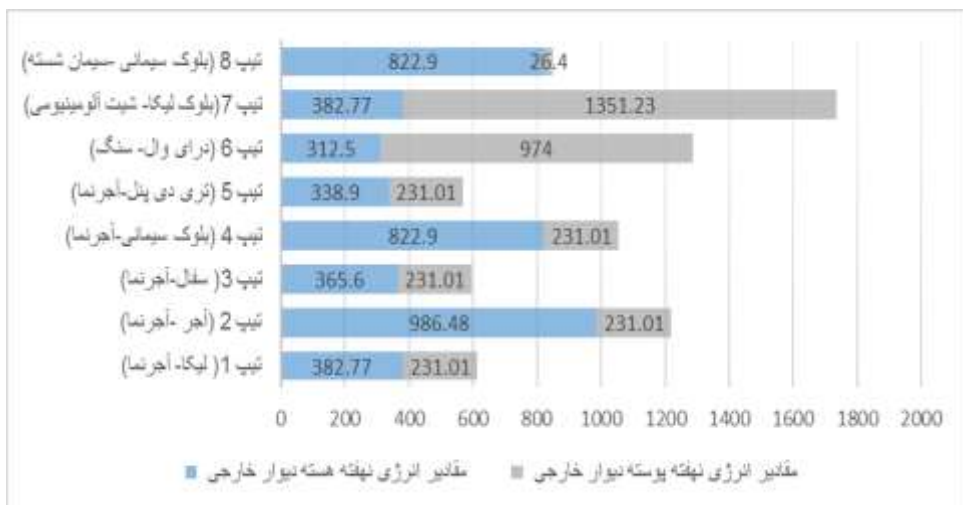
نتیجه	P values	T values	VIF	β	فرضیات پژوهش
معنادار	0/000	21.243	1.498	0.882	EXWallCoreEE x FacadeEE -> CoolingLoad
معنادار	0/000	22.8	1.498	0.943	EXWallCoreEE x FacadeEE -> HeatingLoad

نتایج مدل حاصل ضربی نشان می‌دهد که متغیر انرژی نهفته هسته دیوار خارجی در روش حداقل مربعات جزئی رابطه علی انرژی نهفته پوسته خارجی بر بار سرمایشی و بار گرمایشی را با توجه به مقدار P VALUE و T VALUE در سطح اطمینان ۹۹ درصد تعدیل می‌کند. علامت ضریب مسیر مثبت می‌باشد که خبر از تقویت رابطه علی در این فرضیه است. یعنی با افزایش میزان انرژی نهفته هسته دیوار خارجی در جهت مثبت، شدت اثر انرژی نهفته پوسته خارجی بر بار سرمایشی و بار گرمایشی از کم به زیاد افزایش می‌یابد و تقویت می‌شود.

1. Moderator

۴- بحث

در پژوهش کنونی، با توجه به مقادیر ضریب مسیر بیشترین تاثیر مستقیم را متغیرهای هسته و پوسته دیوار خارجی بر روی انرژی بهره برداری دارند. بدین ترتیب می‌توان این طور تفسیر کرد که می‌بایستی در انتخاب مصالح، جزئیات پوسته و هسته دیوار خارجی دقت و زمان بیشتری صرف گردد. این موضوع خصوصاً در بناهای بلند مرتبه اهمیت بیشتری پیدا می‌کند چرا که سطح دیوار خارجی و به تبع آن میزان انرژی نهفته هسته و پوسته دیوار خارجی و در نهایت بار سرمایشی و گرمایشی افزایش می‌یابد. شکل ۶ مقادیر انرژی نهفته ۸ تیپ دیوار خارجی که در پژوهش کنونی مورد بررسی قرار گرفته را نشان می‌دهد.



شکل ۶. نمودار مقادیر انرژی نهفته متغیرهای هسته و پوسته دیوار خارجی برحسب KJ/M^2 (مأخذ، نگارنده)

در مورد انرژی نهفته پوسته خارجی می‌توان اینطور استنباط کرد که هر چه به سمت متریاال‌های تجملاتی‌تر و گران‌تر برویم هم انرژی نهفته و هم بار سرمایشی و گرمایشی افزایش می‌یابد. به این صورت که میزان انرژی نهفته و بار سرمایشی و گرمایشی نماهای آلومینیومی و سنگی از نماهای آجری و سیمان شسته بیشتر است. از روی شکل ۶ جزئیات دیوارهای تیپ ۵، تیپ ۳، تیپ ۱، تیپ ۸، تیپ ۴، تیپ ۲، تیپ ۶، تیپ ۷ به ترتیب دارای انرژی نهفته کمتری هستند و

لذا بار سرمایشی و گرمایشی کمتری را هم در پی خواهند داشت. دیگریت در رساله دکتری خود در سال ۲۰۱۳ تاثیر مستقیم قیمت را بر روی میزان انرژی نهفته با روش رگرسیون به اثبات رسانیده است. (Dixit, 2013) از آنجا که معماری امروز ایران به گفته سفلائی به سمت تجمل‌گرایی حرکت می‌کند (Soflaee, Farzane, 2024) و از این رو به رغم بالا بودن انرژی نهفته مصالح زینتی‌تر و گران قیمت‌تر، سلايق و "تغییرات فرهنگی" جامعه به سوی این متریاها حرکت می‌کند. لذا به نظر می‌رسد که در این موارد اولاً "فرهنگ‌سازی" صورت پذیرد، ثانیاً مراجع ذیربط اقدامات لازم را همچون تدوین آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های جدید در جهت کنترل این رویه انجام دهند. ضمناً جهت تأثیر انرژی نهفته پنجره‌های خارجی بر روی بار سرمایشی و گرمایشی معکوس است بدین معنا که با بالا رفتن انرژی نهفته پنجره‌های خارجی بار سرمایشی و گرمایشی کمتر می‌شود که این هم به دلیل نوع شیشه به کار رفته در پنجره‌ها می‌باشد به این صورت که شیشه سه جداره، دو جداره و تک جداره بار سرمایشی و گرمایشی کمتری را دارا هستند.

مقادیر ضریب تاثیر پنجره‌های خارجی هم لزوم توجه به پنجره‌های خارجی را بعد از توجه به هسته و پوسته دیوار خارجی تأکید می‌کند و بعد از پنجره‌ها توجه به انرژی نهفته بام جهت کاهش بار گرمایشی الزامی می‌شود چراکه انرژی نهفته بام تأثیر معنا داری و البته معکوس بر روی بار گرمایشی می‌گذارد. متغیرهای انرژی نهفته دیوارهای داخلی و کف طبقات کمترین ضریب تاثیر را بر روی بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان دارند. با توجه به معناداری فرضیات آن‌ها بعد از توجه به مصالح دیوارهای خارجی، پنجره‌ها و بام که به‌طور کلی پوسته ساختمان را تشکیل می‌دهند، می‌بایستی به انتخاب مصالح آن‌ها نیز حتماً توجه گردد.

روش‌های کمی که برای آزمایش فرضیات تأثیرسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد اکثراً رگرسیون می‌باشند و در پاره‌ایی از موارد از روش تحلیل مسیر استفاده می‌شود. لذا از نقاط قوت پژوهش کنونی انتخاب روش مناسب جهت آزمون فرضیات می‌باشد، چرا که بهترین و تنهاترین روش آزمون فرضیات علی، بدلیل رفع نقایص دو روش قبلی، مدلسازی معادلات ساختاری می‌باشد. این روش محقق را به مدل می‌رساند و قابلیت انطباق با واقعیت یا برازش را داراست. مدلسازی معادلات ساختاری یک تکنیک بسیار قدرتمند آماری که امکان آزمایش روابط پیچیده بین متغیرهای پنهان و آشکار را داراست. این روش نیازمند حجم نمونه بالاست، چنانچه محقق ۷۰۲ نمونه را از طریق مدلسازی، محاسبات و همچنین شبیه‌سازی جمع‌آوری نمود که مستلزم صرف زمان زیادی بود. یکی دیگر از نقاط قوت پژوهش بررسی همزمان انرژی نهفته و بهره‌برداری می‌باشد که از شکاف‌های موجود در ادبیات انرژی نهفته و بهره‌برداری شناسایی گردیده است. همچنین انتخاب جامعه آماری مدارس سبز، درحالی‌که توجه اکثر پژوهش‌ها به ساختمان‌های مسکونی و اداری معطوف

می‌باشد، از ویژگی های مثبت پژوهش می باشد. ضمناً پژوهشگر سعی بر آن داشت که با استفاده از آخرین ورژن نرم‌افزارهای موجود در بخش آزمون فرضیات و استفاده از نرم‌افزار Smart PLS4 جهت رسیدن به اهداف پژوهش بهره ببرد. و در آخر مدل پژوهش دارای تحلیل پیشرفته تعدیلگر متغیر هسته دیوار خارجی می‌باشد.

مهم‌ترین محدودیت در محاسبات انرژی نهفته، فقدان داده‌های جامع و مختص کشور ایران جهت محاسبه انرژی نهفته است. در این پژوهش همه متغیرهای تاثیرگذار بر انرژی بهره‌برداری مورد بررسی قرار نگرفته است. متغیرهایی همچون عایق حرارتی (ضخامت و نوع)، اسکای لایت و نسبت سطح بازوها به سطح دیوارها، غیره می‌توانند در مدل‌های توسعه یافته‌تر وارد شوند. در این پژوهش تعدادی متغیر به عنوان متغیر کنترل در نظر گرفته شده است و اثر آن‌ها در مدل پژوهش دیده نشده است. از جمله آن می‌توان به سازه و تاسیسات اشاره نمود. طول عمر ساختمان می‌تواند میزان انرژی نهفته را کاهش دهد. (Acquaye,2010;Rauf & Crawford,2015;Thormark,2006) که در پژوهش کنونی به عنوان متغیر در مدل وارد نشده است. انرژی نهفته محاسبه شده برای متغیرهای برونزای پژوهش، معطوف به انرژی نهفته اولیه مصالح می‌باشد. انرژی نهفته حمل و نقل و انرژی نهفته بازسازی و تخریب در این پژوهش در نظر گرفته نشده است. واحد تحلیل در این پژوهش مدرسه سبز شهیدمطهری می‌باشد و مدارس دیگری در نمونه‌گیری در نظر گرفته نشده است. پیشنهاد می‌گردد در پژوهش‌های آتی، محققان متغیرهایی که در پژوهش کنونی به عنوان متغیر کنترل در نظر گرفته شده و همچنین متغیرهایی که در مدل آزمون نگردیده‌اند را در مدل‌های توسعه یافته‌تر مورد آزمون قرار دهند. در پژوهش‌های آتی انرژی نهفته بازسازی و تخریب نیز می‌توانند مد نظر پژوهش‌گران قرار بگیرد. پیشنهاد می‌گردد از واحد تحلیل دیگری یا هم‌زمان از دو واحد تحلیل استفاده شود. همچنین پژوهش‌های آینده می‌توانند در مکان‌های جغرافیایی دیگر که دارای اقلیم متفاوتی هستند انجام شود. محدودیت دیگر مربوط به پیچیدگی‌های شبیه‌سازی انرژی در ساختمان و همینطور زمان بر بودن نتایج شبیه‌سازی است، به دلیل سرعت پردازش نرم‌افزارها جمع‌آوری حجم نمونه بالا نیازمند صرف زمان زیادی می‌باشد. هر چند مدلسازی معادلات ساختاری یک تکنیک بسیار قدرتمند آماری می‌باشد، با این حال دارای محدودیت‌هایی همچون پیچیدگی تفسیر نتایج آن به دلیل نیاز به داشتن دانش آماری بالا و نیازمند حجم نمونه بالاست. لذا پژوهش‌های صورت گرفته با آن نیازمند صرف زمان زیادی جهت جمع‌آوری حجم نمونه می‌باشد. علی‌رغم این محدودیت‌ها این روش به سرعت در حال رشد و به روز شدن است، ارائه نرم‌افزار جدید SMARTPLS 4 که هم واریانس محور و کوواریانس محور می‌باشد از دلایل اصلی این ادعا می‌باشد.

متأسفانه بحث انرژی نهفته مصالح در استانداردهای ساختمانی کشور ایران گنجانده نشده است. این موضوع می‌تواند چالشی برای ارزیابی دقیق کارایی انرژی ساختمان‌ها باشد. نتایج پژوهش می‌تواند به تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران در به روزرسانی و توسعه این استانداردها کمک کند. از جمله این استانداردها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: استاندارد ۱۲۴۵۴ (استاندارد ساختمان‌های غیرمسکونی) تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی، استانداردهای مصالح سازمان ملی استاندارد، دستورالعمل مدیریت سبز مدارس و مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان. نتایج پژوهش به روش‌های آگاهی‌سازی و ادغام در آموزش، می‌تواند به بهبود آموزش مهندسان و طراحان در این حوزه کمک کند. افزایش آگاهی مهندسان و طراحان در مورد اهمیت انرژی نهفته مصالح و تأثیر آن بر عملکرد انرژی ساختمان‌ها، کمک می‌کند تا آن‌ها در فرآیند طراحی و انتخاب مصالح، به این موضوع توجه بیشتری داشته باشند. نتایج پژوهش می‌تواند به روزرسانی برنامه‌های آموزشی مهندسی و طراحی ساختمان منجر شود تا مباحث انرژی نهفته مصالح به‌طور مناسب در آنها گنجانده شود. این امر می‌تواند دانش و مهارت‌های لازم را به دانشجویان و فارغ‌التحصیلان این رشته‌ها ارائه دهد. در مجموع، نتایج پژوهش می‌تواند نقش مهمی در توسعه چارچوب‌های قانونی و استانداردهای ساختمانی ایران ایفا کند و به پیشرفت حوزه کارایی انرژی در بخش ساخت و ساز کمک نماید.

۵- نتیجه‌گیری

در پژوهش پیش رو با بررسی ادبیات در حوزه‌های انرژی نهفته و انرژی بهره‌برداري شکافی از منظر عدم توجه به تاثیرگذاری انرژی نهفته مصالح ساختمان بر روی انرژی بهره‌برداري استخراج گردید. محقق در جهت کم کردن این شکاف و در جهت آزمون این فرضیه بوسیله مدلسازی معادلات ساختاری موفق به ارائه و تخمین مدل پیش‌بین تاثیرگذاری انرژی نهفته بر روی انرژی بهره‌برداري با نقش تعدیل‌گر هسته دیوار خارجی گردید. نتایج $R^2 = 0.704$, 0.755 در دو معادله ساختاری خبر از یک تبیین بسیار قدرتمند از واریانس یا رفتار متغیر بارسرمایشی و بار گرمایشی که همان انرژی بهره‌برداري می‌باشند، می‌دهد. به عبارتی مدل برآمده از ادبیات پژوهش و متغیرهای انتخاب شده برای مدل مفهومی در مجموع بین ۷۵ تا ۷۰ درصد از تاثیر رفتار انرژی نهفته بر انرژی بهره‌برداري را پیش‌بینی می‌کند. بدین ترتیب تاثیر انرژی نهفته مصالح بر روی انرژی بهره‌برداري به اثبات رسید. در نهایت این پژوهش با کلیه نقاط قوت و ضعف و با رویکرد بیلیومتریکی در بخش مرور ادبیات و نیز رویکرد کمی برآمده از پارادایم فرا اثبات‌گرا و با روش SEM انجام پذیرفت و توانست به اهداف خود در کنار محدودیت‌ها دست یابد تا بتواند در علم سهم داشته باشد.

منابع:

- دولت، س.، صفدریان، غ.، جهانبخش، ح.، & معتضدیان، ف. (1402a). بررسی مطالعات مدارس سبز با رویکرد علم سنجی در پایگاه استنادی اسکوپوس. سومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب <https://civilica.com/doc/1960061>.
- دولت، س.، صفدریان، غ.، جهانبخش، ح.، & معتضدیان، ف. (1402b). بررسی نقشه های علمی انرژی نهفته در صنعت ساخت و ساز در پایگاه استنادی اسکوپوس. سومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب <https://civilica.com/doc/1960060/>.
- دولت، س.، صفدریان، غ.، جهانبخش، ح.، & معتضدیان، ف. (1403a). بررسی شبیه سازی انرژی در ساختمان و فرهنگ رفتار ساکنان با رویکرد کتاب سنجی در پایگاه استنادی اسکوپوس. تغییرات اجتماعی - فرهنگی، ۸۰، (1). <http://sanad.iau.ir/fa/Journal/aukh/Article/1092500>
- دولت، س.، صفدریان، غ.، جهانبخش، ح.، & معتضدیان، ف. (1403b, January 29). بررسی انرژی نهفته در ساختمان با رویکرد بیلبومتریکی در پایگاه استنادی اسکوپوس. سومین کنفرانس بین المللی معماری، عمران، شهرسازی، محیط زیست و افق های هنر اسلامی در بیانیه گام دوم انقلاب

2022 Global Status Report for Buildings and Construction | UNEP - UN Environment Programme. (n.d.). Retrieved July 9, 2024, from <https://www.unep.org/resources/publication/2022-global-status-report-buildings-and-construction>

Acquaye, A. (2010). A Stochastic Hybrid Embodied Energy and CO₂ Intensity Analysis of Building and Construction Processes in Ireland. <https://doi.org/10.21427/D7RW34>

Ahamed, M. S., Guo, H., & Tanino, K. (2020). Modeling heating demands in a Chinese-style solar greenhouse using the transient building energy simulation model TRNSYS. In Journal of Building Engineering (Vol. 29). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2019.101114>

Akande, O. K., Odeleye, D., Coday, A., & JimenezBescos, C. (2016). Performance evaluation of operational energy use in refurbishment, reuse, and conservation of heritage buildings for optimum sustainability. *Frontiers of Architectural Research*, 5(3), 371–382. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2016.06.002>

- Alwan, Z., Nawarathna, A., Ayman, R., Zhu, M., & ElGhazi, Y. (2021). Framework for parametric assessment of operational and embodied energy impacts utilising BIM. *Journal of Building Engineering*, 42, 102768. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.102768>
- Avkiran, N. K., & Ringle, C. M. (2018). Partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM). In Springer International Publishing AG.
- Azar, E., & Menassa, C. C. (2012). A comprehensive analysis of the impact of occupancy parameters in energy simulation of office buildings. *Energy and Buildings*, 55, 841–853.
- Baum, M., & Council, U. G. B. (2007). Green building research funding: An assessment of current activity in the United States. Citeseer.
- Becker, J.-M., Rai, A., & Rigdon, E. (2013). Predictive validity and formative measurement in structural equation modeling: Embracing practical relevance.
- Black, J., Hoffman, A., Hong, T., Roberts, J., & Wang, P. (2018). Weather Data for Energy Analytics: From Modeling Outages and Reliability Indices to Simulating Distributed Photovoltaic Fleets. *IEEE Power and Energy Magazine*, 16(3), 43–53. <https://doi.org/10.1109/MPE.2018.2801442>
- Calì, D., Andersen, R. K., Müller, D., & Olesen, B. W. (2016). Analysis of occupants' behavior related to the use of windows in German households. *Building and Environment*, 103, 54–69.
- Chin, W. W. (1998). The partial least squares approach to structural equation modeling. *Modern Methods for Business Research*, 295(2), 295–336.
- Coakley, D., Raftery, P., & Keane, M. (2014). A review of methods to match building energy simulation models to measured data. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 123–141.
- Dalla Rosa, A., & Christensen, J. E. (2011). Low-energy district heating in energy-efficient building areas. *Energy*, 36(12), 6890–6899.

- Dawson, J. F. (2014). Moderation in Management Research: What, Why, When, and How. *Journal of Business and Psychology*, 29(1), 1–19. <https://doi.org/10.1007/s10869-013-9308-7>
- Diao, L., Sun, Y., Chen, Z., & Chen, J. (2017). Modeling energy consumption in residential buildings: A bottom-up analysis based on occupant behavior pattern clustering and stochastic simulation. *Energy and Buildings*, 147, 47–66.
- Ding, G. K. C. (2004). The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities [PhD Thesis]. <https://opus.lib.uts.edu.au/handle/2100/281>
- Diwedi, K. (2017). Green Architecture: A Concept of Sustainability. *International Journal of Environment Planning and Development*, 2(1), 22–29. <https://doi.org/10.37628/jepd.v2i1.176>
- Dixit, M. K. (2013). Embodied energy calculation: Method and guidelines for a building and its constituent materials [PhD Thesis]. <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/151701>
- Dixit, M. K. (2017). Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 390–413. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.051>
- Dixit, M. K., Culp, C. H., & Fernandez-Solis, J. L. (2015). Embodied Energy of Construction Materials: Integrating Human and Capital Energy into an IO-Based Hybrid Model. *Environmental Science & Technology*, 49(3), 1936–1945. <https://doi.org/10.1021/es503896v>
- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42(8), 1238–1247. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.02.016>

- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2012). Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(6), 3730–3743. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.021>
- Dixit, M. K., & Singh, S. (2018). Embodied energy analysis of higher education buildings using an input-output-based hybrid method. *Energy and Buildings*, 161, 41–54. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.12.022>
- Duarte, C., Van Den Wymelenberg, K., & Rieger, C. (2013). Revealing occupancy patterns in an office building through the use of occupancy sensor data. *Energy and Buildings*, 67, 587–595.
- Fixing measurement error to 0 for single-item-latent—Forum.smartpls.com. (n.d.). Retrieved April 28, 2024, from <https://forum.smartpls.com/viewtopic.php?t=3333>
- Gaetani, I., Hoes, P.-J., & Hensen, J. L. (2016). Occupant behavior in building energy simulation: Towards a fit-for-purpose modeling strategy. *Energy and Buildings*, 121, 188–204.
- Guo, C., & Yao, J. (2012). Effect of same Insulation Materials on Energy-Saving Potential of Different Buildings. *Applied Mechanics and Materials*, 164, 93–96. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.164.93>
- Hair, J. F., Howard, M. C., & Nitzl, C. (2020). Assessing measurement model quality in PLS-SEM using confirmatory composite analysis. *Journal of Business Research*, 109, 101–110. <https://doi.org/10.1016/J.JBUSRES.2019.11.069>
- Hair, J. F., Ringle, C. M., & Sarstedt, M. (2011). PLS-SEM: Indeed a Silver Bullet. *Journal of Marketing Theory and Practice*, 19(2), 139–152. <https://doi.org/10.2753/MTP1069-6679190202>
- Hair, J. F., Risher, J. J., Sarstedt, M., & Ringle, C. M. (2019). When to use and how to report the results of PLS-SEM. *European Business Review*, 31(1), 2–24.

- Hammond, G., & Jones, C. (2006). Inventory of Carbon and Energy (ICE), Version 1. 5a Beta, Carbon Vision Buildings Program. UK: University of Bath.
- Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2010). Embodied Carbon: The Concealed Impact of Residential Construction. In I. Dincer, A. Hepbasli, A. Midilli, & T. H. Karakoc (Eds.), *Global Warming* (pp. 367–384). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1017-2_23
- Hanafiah, M. H. (2020). Formative vs. reflective measurement model: Guidelines for structural equation modeling research. *International Journal of Analysis and Applications*, 18(5), 876–889.
- Henseler, J., Dijkstra, T. K., Sarstedt, M., Ringle, C., Diamantopoulos, A., Straub, D., Ketchen, D., Hair, J. F., Hult, G., & Calantone, R. (2016). Common Beliefs and Reality about Partial Least Squares: Comments on Rönkkö and Evermann.
- Henseler, J., Ringle, C. M., & Sinkovics, R. R. (2009). The use of partial least squares path modeling in international marketing. In R. R. Sinkovics & P. N. Ghauri (Eds.), *Advances in International Marketing* (Vol. 20, pp. 277–319). Emerald Group Publishing Limited. [https://doi.org/10.1108/S1474-7979\(2009\)0000020014](https://doi.org/10.1108/S1474-7979(2009)0000020014)
- Hirst, N. (2013). Buildings and climate change. *Design and Management of Sustainable Built Environments*, 23–30.
- Iqbal, M. M., & Mia, M. M. (2020). The strategy of management system standards: A variance-based structural equation modeling (VB-SEM). *Int. J. Adv. Sci. Technol*, 29, 1882–1893.
- Jia, M., Srinivasan, R. S., & Raheem, A. A. (2017). From occupancy to occupant behavior: An analytical survey of data acquisition technologies, modeling methodologies and simulation coupling mechanisms for building energy efficiency. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 68, 525–540.

- Kline, R. B. (2016). Principles and practices of structural equation modelling. In Methodology in the social sciences.
- Krishna A. Joshi. (2013). OPTIMIZATION OF ENERGY IN PUBLIC BUILDINGS. International Journal of Research in Engineering and Technology, 02(13), 423–427. <https://doi.org/10.15623/ijret.2013.0213079>
- Levy, P. S., & Lemeshow, S. (2013). Sampling of populations: Methods and applications. John Wiley & Sons.
- Li, Y., Gong, X. Z., Wang, Z. H., Li, H., & Fan, M. M. (2016). External Insulation Design Impacts on the Energy Consumption and Greenhouse Gas Emission of Building. Materials Science Forum, 847, 381–390. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.847.381>
- Mellat, N., Ebrahimi Qavam, S., Gholamali Lavasani, M., Moradi, M., & Sadipour, E. (2022). The role of cognitive, emotional, and spiritual development in adult psychological well-being. Journal of Spirituality in Mental Health, 00(00), 1–24. <https://doi.org/10.1080/19349637.2022.2121239>
- Moradi, M., Kheiry, B., & Miralmasi, A. (2022). Narrative Critique of Humanities positivist Research from the Perspective of Generalizability and Reliability of Measures By proposing to replace McDonald's omega (Case Study: Marketing Research). Research Institute of Hawzah and University(RIHU). <https://doi.org/10.30471/mssh.2022.8241.2285>
- Moradi, M., & Miralmasi, A. (2020). Pragmatic research method (1st ed.). School of quantitative and qualitative research.
- Moradi.M, & Miralmasi.M. (2020a). Pragmatic research method ((F. Seydi, Ed.) (1st ed.)). School of quantitative and qualitative research. <https://analysisacademy.com/>
- Moradi.M, & Miralmasi.M. (2020b). Pragmatic research method. In F. Seydi (Ed.). School of Quantitative and Qualitative Research.MPT ACADEMY.

- Neuman, W. L. (2014). *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. In Pearson Education Limited (7th ed.). Printed in the United States of America. <https://doi.org/10.2307/3211488>
- Pardo, A., & Román, M. (2013). Reflexiones sobre el modelo de mediación estadística de Baron y Kenny. *Anales de Psicología*, 29(2). <https://doi.org/10.6018/analesps.29.2.139241>
- Rauf, A., & Crawford, R. H. (2015). Building service life and its effect on the life cycle embodied energy of buildings. *Energy*, 79, 140–148. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.10.093>
- Rg Henseler, J., Dijkstra, T. K., Sarstedt, M., Ringle, C. M., Diamantopoulos, A., Straub, D. W., Ketchen, D. J., Hair, J. F., Tomas, G., Hult, M., & Calantone, R. J. (2014). Point/Counterpoint on Partial Least Squares Common Beliefs and Reality About PLS: Comments on Rö nkkö and Evermann (2013). *Organizational Research Methods*, 17(2), 182–209. <https://doi.org/10.1177/1094428114526928>
- Ringle, C. M., Wende, S., & Becker, J.-M. (2022). SmartPLS 4.
- Rostami, M., Green-Mignacca, S., & Bucking, S. (2024). Weather data analysis and building performance assessment during extreme climate events: A Canadian AMY weather file data set. *Data in Brief*, 52, 110036.
- Sarstedt, M., & Mooi, E. (2019). *A Concise Guide to Market Research: The Process, Data, and Methods Using IBM SPSS Statistic*. In Springer (3rd ed.). <https://doi.org/10.1007/978-3-642-12541-6>
- Sharrard, A. L. (2007). Greening construction processes using an input-output-based hybrid life cycle assessment model. Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, Pennsylvania. https://www.researchgate.net/profile/Aurora-Sharrard/publication/267259382_Greening_Construction_Processes_Using_an_Input-Output-Based_Hybrid_Life_Cycle_Assessment_Model/links/5485a20a0cf24356db

610813/Greening-Construction-Processes-Using-an-Input-Output-Based-Hybrid-Life-Cycle-Assessment-Model.pdf

Slessor, M. (1978). Energy in the Economy. <https://www.osti.gov/biblio/6287551>

Soflaee, Farzane. (2024, April 22). پیام ما؛ رسانه توسعه پایدار ایران | معماری ایران دچار. <https://payamema.ir/payam/103970>. تجمل گرایی شده است

Song, Y. (2017). Generating Building's Operating Energy Automatically by Energy Plus and C. International Research Journal of Electronics and Computer Engineering, 3(1), 11–13.

Stephan, A., & Stephan, L. (2016). Life cycle energy and cost analysis of embodied, operational and user-transport energy reduction measures for residential buildings. Applied Energy, 161, 445–464. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.10.023>

Su, X., Tian, S., Shao, X., & Zhao, X. (2020). Embodied and operational energy and carbon emissions of passive building in HSCW zone in China: A case study. Energy and Buildings, 222, 110090. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110090>

Susanti, Y. (2019). Menginterkoneksi Sains dan Agama dalam Pembelajaran IPA di Sekolah Dasar. ISLAMIKA, 1(2), 89–101. <https://doi.org/10.36088/islamika.v1i2.209>

Tarka, P. (2018). An overview of structural equation modeling: Its beginnings, historical development, usefulness and controversies in the social sciences. Quality and Quantity, 52(1), 313–354. <https://doi.org/10.1007/s11135-017-0469-8>

Thormark, C. (2006). The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. Building and Environment, 41(8), 1019–1026. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.04.026>

Vega, J. (2022). Constructivist Metaphors and Law's Autonomy in Legal Post-Positivism BT - Human Dignity and the Autonomy of Law (J. M. Aroso

- Linhares & M. Atienza, Eds.; pp. 89–111). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-14824-8_6
- Woubishet, Z. T., & Abegaz, K. A. (2019). Embodied Energy and CO 2 Emissions of Widely Used Building Materials: The Ethiopian Context. *Buildings*, 9(6), 136.
- Yoon, J. H. (2020). Fuzzy Moderation and Moderated-Mediation Analysis. *International Journal of Fuzzy Systems*, 22(6), 1948–1960. <https://doi.org/10.1007/s40815-020-00848-3>
- Zilberberg, E., Trapper, P., Meir, I. A., & Isaac, S. (2021). The impact of thermal mass and insulation of building structure on energy efficiency. *Energy and Buildings*, 241, 110954. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110954>