مقاله پژوهشی

علوم و تکنولوژی محیط‌زیست، دوره بیست و هفت، شماره جهار، تیرماه ۱٤۰٤ (۵۹-۷۲)

تحلیل عوامل تاثیرگذار در استفاده از نماهای هوشمند برای پایداری در شهر تبریز

سیدمهدی قدوسی فر [۱]
مهسا فرامرزی اصل [۲*]
mahsa_faramarzi@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۲۸**

چکیده

زمینه و هدف: در دهه‌های اخیر، ابداع راهکارهای نوآورانه در جهت دستیابی به پایداری در محیط ساختمان بسیار مورد توجه قرار گرفته است. نماها برای مصرف انرژی و آسایش در داخل ساختمان‌ها بسیار حیاتی هستند. گنجاندن هوش در طراحی آنها روشی موثر برای دستیابی به ساختمان‌های با مصرف کم انرژی است. توانایی سیستم‌های دارای نمای ویژه برای کار مطمئن و موثر یکی از چالش‌ها به سمت پایداری به شمار می‌رود. هدف تحقیق حاضر تحلیل عوامل تاثیرگذار در استفاده از نماهای هوشمند برای پایداری در شهر تبریز می باشد.

روش بررسی: تحقیق حاضر توصیفی-تحلیلی و از نظر هدف کاربردی می باشد. در مطالعات میدانی از پرسشنامه محقق ساخته استفاده شد. جامعه آماری تحیق ساکنان شهر تبریز که حجم نمونه براساس فرمول کوکران ۳۸۴ نفر بدست آمد. برای تحلیل داده ها از معادلات ساختاری به روش تحلیل عاملی مرتبه دوم با نرم افزار Spss و Amos استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد بیشترین تأثیرات مربوط به عوامل کاهش مصرف انرژی با بار عاملی ۰/۹۲ بوده و کمترینش مربوط به عامل مقرون بصرفه بودن با بار عاملی ۰/۶۵ بوده است.

بحث و نتیجه گیری: نماهای هوشمند ساختمانی در تمامی ساختمان ها کاربرد دارد. این ساختمان ها می‌توانند در انواع کاربری ها مورد استفاده قرار گیرند. افزایش جذابیت ظاهری، عملکرد بهتر در برابر شرایط اقلیمی، کاهش مصرف انرژی و کمک به محیط زیست از مهمترین دلایلی است که معماران به سمت طراحی و اجرای این سیستم‌ها روی آورده اند.

واژه‌های کلیدی: نمای ساختمان، نمای متحرک هوشمند، پایداری، شهر تبریز.

[۱] دانشجوی دکترای پژوهش محور معماری، واحد تبریز، آزاد اسلامی، تبریز، ایران
[۲] استادیار گروه معماری، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران [*](مسوول مکاتبات)

J. Env. Sci. Tech., Vol. 27, No. 4, June, 2025

Analysis of Influential Factors in the use of Smart Facades for Sustainability in Tabriz City

Seyed Mehdi Ghoddosifar [1]
Mahsa Faramarzi Asl [2*]
mahsa_faramarzi@yahoo.com

Admission Date: November 18, 2024 Date Received: March 13, 2023

Abstract
Background and Aim: In recent decades, inventing innovative solutions to achieve sustainability in the building environment has received much attention. Facades are very vital for energy consumption and comfort inside buildings. Incorporating intelligence into their design is an effective way to achieve buildings with low energy consumption. The ability of systems with a special view to work reliably and effectively is one of the challenges towards sustainability. The purpose of this research is to analyze the factors influencing the use of smart facades for sustainability in Tabriz city.
Methods: The current research is descriptive-analytical and practical in terms of purpose. A researcher-made questionnaire was used in the field studies. The statistical population of Tabriz city residents was studied, and the sample size was 384 people based on Cochran's formula. For data analysis, structural equations were used using second-order factor analysis with Spss and Amos software.
Results: The findings showed that the greatest effects were related to the factors of reducing energy consumption with a factor loading of 0.92, and the lowest was related to the factor of being cost-effective with a factor loading of 0.65.
Discussion and Conclusion: Smart building facades are used in all buildings. These buildings can be used in various uses. Increasing visual appeal, better performance against climatic conditions, reducing energy consumption and helping the environment are some of the most important reasons why architects have turned to the design and implementation of these systems.

Keywords: Building facade, Smart moving facade, Sustainability, Tabriz city.

[1] PhD Student in Architecture Research Oriented, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
[2] Assistant Professor of Architecture, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
[*](*Corresponding Author*)

مقدمه

عوامل متعددی که ناشی از تغییرات انقلابی در فرهنگ عموم، اقتصاد، فناوری و تاثیرات آنها بر معماری‌اند، توانستند تا در دهه‌ی ۶۰ میلادی، ایده‌ی نماهای متحرک را شکل دهند. سیستم نما یکی از مهم ترین عناصری است که در مصرف انرژی و آسایش ساکنان ساختمان ها نقش دارد؛ چراکه حدود ۲۰ تا ۶۰ درصد مصرف انرژی سالانه یک ساختمان به طراحی و ساختار سیستم نمای آن مربوط است (۱) یک نمای سنتی، به‌عنوان یک سیستم ایستا (ثابت)، قادر نیست در طول زمان، عملکرد خود را نسبت به شرایط آب‌وهوایی تنظیم کند. نماهای ایستا شامل متغیرهای طراحی مانند نسبت پنجره به دیوار، نوع لعاب، شکل سایه و عایق با واکنش های محدود به شرایط مختلف آب وهوایی مختلف هستند(۲). به منظور فائق آمدن بر محدودیت‌های این نماهای سنتی، انواع مختلفی از سیستم‌های نما با عملکرد قابل‌توجه ارائه شده‌اند (۳). از آن رو که سیستم‌های نمای هوشمند از راهبردهای فعالی برای دست‌یابی به سطح بالاتری از پایداری استفاده می‌کنند، این سیستم‌ها طی دهه‌های اخیر توانسته‌اند توجه‌ی زیادی را در صنعت ساختمان و حوزه‌ی نظری به خود جلب کنند(۴). اما باید شرایط فرهنگی جوامع را هم در این راستا در نظر گرفت (۵). مطالعات اخیر روی نماهای هوشمند موجود نشان می‌دهند که آنها نقش بسیار مهمی را در کاهش حجم کربن و افزایش میزان ذخیره‌ی انرژی ایفا می‌کنند(۶). تحت چنین سیستم‌هایی، حجم انتشار کربن تا ۲۰ درصد کاهش و میزان صرفه‌جویی در انرژی مصرفی تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد (۷، ۸، ۹، ۱۰). درحالیکه بیشتر این مطالعات بر جنبه‌های طراحی، هندسی، ساختاری، فنی، مصالح و انرژی نماهای هوشمند متمرکز شده‌اند، تعداد بسیار معدودی از مطالعات به جنبه‌های اجتماعی و تاریخی آنها پرداخته‌اند(۱۱، ۱۲). در دهه‌های گذشته، فناوری نماها با تلفیق عناصر خاص جهت تطبیق تغییرات شرایط بیرونی با نیازهای ساکنان تحت نوآوری‌های اساسی قرار گرفته‌اند (۱۳). نماها برای مصرف انرژی و آسایش در ساختمان‌ها بسیار حیاتی هستند. گنجاندن راهکارهای هوشمند در طراحی ساختمانها روشی موثر برای دستیابی به شرایط آسایش ساکنان و به حداقل رساندن مصرف انرژی در داخل ساختمان‌ها است(۱۴) عبارت "هوش در ساختمان‌ها" ممکن است بعنوان راهکار نهایی طراحی در میان معماران و انبوه‌سازان هیجان ایجاد کند، ساختمانی که بداند چگونه خود را با هر موقعیتی تطبیق دهد، طراح را از وظیفه یافتن راهکارهای غیرفعال برای مشکلات طراحی رها می‌کند و به این موضوع اشاره می‌کند که حل منازعه از طراح به خود محصول نهایی محول شده است (۱۵). چون موجود هوشمند از کمترین میزان انرژی احتمالی برای بقا استفاده می‌کند، پس چشم‌اندازها برای طراحی اقلیمی پایدار در هر اقلیم زیاد به نظر می‌رسند. تصمیمی که در مرحله طراحی اولیه ساختمان گرفته می‌شود، برای طراحی ساختمان عایق انرژی بسیار حائز اهمیت است. به همین دلیل در این مقاله عوامل موثر بر استفاده از نماهای متحرک هوشمند در طراحی ساختمان بررسی شده است. با توجه به اینکه پذیرش تکنولوژی هوشمند در ساختمان‌ها و اجرای آن در نماها می‌تواند نقش بسزایی در بهینه‌سازی مصرف انرژی داشته باشد. تحقیق حاضر، با هدف شناسایی عوامل تاثیرگذار بر استفاده از نماهای هوشمند در ساختمانها در شهر تبریز می باشد.

نمای هوشمند

طبق گفته مولونی جی. نمای هوشمند بعنوان استفاده از سیستم‌های کنترل محیطی که به تغییرات در شرایط خارجی واکنش نشان می‌دهند، حداقل به اندازه اختراع رئوستات سابقه طولانی دارد. در بیست سال گذشته، پیشرفت‌ها در سیستم‌های کنترل الکترونیکی تا جایی پیشرفت کرده‌اند که می‌توان ساختمان را بجای واکنشی، هوشمند توصیف کرد (۱۶).

همچنین مطالعه صورت گرفته توسط تزمپلیکوس و همکاران (۱۷) بر این نکته تاکید کرد که طراحی نماها بشدت با عملکردهای انرژی و روشنایی روز مرتبط است. در این خصوص، نماهای هوشمند بعنوان راهکاری نوآورانه برای بالا بردن پایداری در محیط‌های ساختمانی پیشنهاد شده است.

با این حال، عبارت هوشمند اغلب بدون هیچ درک عمیقی از پیچیدگی موردنیاز فراتر از توضیحات معمول مانند تعاملی، تطبیقی و واکنشی استفاده می‌شود. به آسانی می‌توان فهمید که سیستم پوششی هوشمند باید پویا باشد، یعنی بتواند پارامترهای کارکردی اصلی خود را مطابق با خواسته‌های دینامیکی شرایط رو به تغییر عوض کند(۱۸). پوشش‌های هوشمند باید بطور ایده‌آل با مصالح هوشمندی که خودتوانمندساز و خودفعال‌ساز هستند توسعه داده شوند (۱۹).

هدف پوسته ساختمان هوشمند بهینه‌سازی سیستم‌های ساختمانی نسبت به اقلیم، توازن انرژی و آسایش انسان است که معمولا بر پایه مدل‌های پیشگویانه می‌باشد (۱۹).

یک راهکار قابل‌اجرا در چنین شرایطی، استفاده از سیستم‌های نمای "دینامیکی" است که ویژگیهای آنها را می‌توان برای دستیابی به رفتار عملیاتی مطلوب در پاسخ به شرایط تغییر داخلی و خارجی بشدت کنترل کرد (۲۰). در "بهترین و جدیدترین راهکارهای" در نظر گرفته شده، نماها نقش‌های

متعدد و مکملی را در تامین تهویه طبیعی، روشنایی روز و برگشت حرارتی دارند. اما این نیاز به میزان یکپارچگی بالایی دارد که باید در مراحل اولیه فرآیند طراحی به آن فکر کرد همچنین سطوحی از ادغام فناوری را پیشنهاد می‌کند که معمولا در ساختمان‌ها اعمال نمی‌شوند، هر چند بطور مداوم در سایر بخش‌های تولیدی مانند صنایع خودرویی و هواپیمایی بدست می‌آیند (۲۱).

طبق گفته‌های ویگینگتون و هریس (۲۲) مطالعه نمونه‌های هوشمندی ساختمان نشان داد که نما کارهای مختلفی را انجام می‌دهد که بر عبور انرژی از هر دوی محیط‌های خارجی به محیط داخلی و بالعکس اثر می‌گذارد. کارهای دستکاری بصورت زیر شناسایی شدند:

- افزایش روشنایی روز (مانند صفحات بازتاباننده نور/ اجسام بازتابنده)
- به حداکثر رساندن روشنایی روز (مانند شیشه‌های تمام قد/دهلیزها)
- حفاظت (مانند بادگیرها/پرده‌های کرکره‌ای)
- عایق (مانند کرکره‌های تیره)
- تهویه (مانند دریچه‌های هوای خودکار)
- جمع‌آوری گرما (مانند کلکتورهای خورشیدی)
- دفع گرما (مانند تاق نماها/آفتاب‌شکن)
- کاهش صدا (مانند دریچه‌های صوتی)
- تولید برق (مانند فتوولتائیک‌ها)
- بهره‌برداری از تفاضل فشار (مانند دودکش‌های تهویه)

انواع نماهای هوشمند

انواع نماهای هوشمند عبارت از نمای دو پوسته، نمای دوجداره، نمای تهویه‌دار، نمای متحرک و نمای خورشیدی هستند. مطالعه انجام‌شده توسط غفاریان حسینی و همکاران (۲۳) نشان داد که یکپارچه‌سازی نماهای دو پوسته، نماهای دوجداره و تهویه‌دار و نیط نماهای متحرک و خورشیدی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی، افزایش انرژی ساختمان و عملکرد زیست محیطی، افزایش آسایش بینایی و گرمایی کاربر و در نهایت کاهش خطرات زیست‌محیطی کمک زیادی کند (جدول ۱). اشاره به مطالعه اسکلی (۲۴) که بر پایه موشکافی ماهیت نماهای هوشمند انجام شده، پارامترهای خاص مرتبط با اثربخشی نماهای هوشمند را بیان می‌کند. این یافته‌ها بوضوح نشان می‌دهند که نمای هوشمند باید به سه پارامتر اصلی مانند آب و هوا، بافت و ساکنان واکنشی باشد. همانطور که گفته شده روابط متقابل بین نمای هوشمند و پارامترهای فوق‌الذکر باید دینامیکی، غیرخطی، تصادفی، چندبعدی و غیر قابل اندازه‌گیری باشد که در جدول ۲ توضیح داده شده است.

کاربردهای نمای هوشمند

یکی از معروف‌ترین نماهای هوشمند، نمای متحرک است که برای طراحی و توسعه نماهایی که نسبت به ویژگیهای محیطی تعاملی و واکنشی هستند، بسیار اهمیت دارد. این نماها بصورت بخشی از نماهای به اصطلاح هوشمند، قابلیت تنظیم شکل، فرم، جهت یا بازشوها برای واکنش خودکار به پارامترهای محیطی مانند دما، رطوبت، باد و غیره را دارند (۲۳). کنسک و هانسانوات (۲۵). برای حمایت از این تفکر قویا ادعا می‌کنند که نماهای متحرک برای واکنش‌دهی به محیط، دینامیکی و تطبیقی هستند. در واقع، نشان داده شده که نماهای متحرک برای ایجاد ساختمان‌های کم انرژی و نهایتا بدون انرژی بعنوان رهیافتی در راستای توسعه پایدار محیط‌های ساختمانی بسیار تاثیرگذار هستند. در این خصوص، دستگاه‌های سایه‌انداز متحرک و تعاملی نیز می‌توانند برای عملکرد بهتر نماهای متحرک بسیار اثرگذار باشند.

غفاریان حسینی و همکاران به این نتیجه رسیدند که نماهای هوشمند انرژی کارا بوده و نسبت به رابطه متقابل محیط‌های داخلی و خارجی واکنشی هستند. در حالت کلی، حرکت به سمت افزایش توسعه طراحی نمای هوشمند، نشان داده شده که ادغام نماهای دو پوسته، نماهای دوجداره و تهویه‌دار و نیز نماهای متحرک و خورشیدی می‌توانند به کاهش مصرف انرژی، افزایش انرژی ساختمان و عملکرد محیطی، بالا بردن آسایش بینایی و گرمایی کاربر و در نهایت کاهش خطرات زیست‌محیطی کمک زیادی کنند (۲۳).

در مطالعه تزمپلیکوس و همکاران (۱۷)، دستگاه‌های سایه‌انداز برای عملکرد بهینه انرژی ساختمانها بسیار اثرگذار هستند. این دستگاه‌های سایه‌انداز، پس از ادغام در طراحی نماها، می‌توانند میزان گرمای ورودی تابش خورشید را کاهش دهند، نور مستقیم خورشید را مسدود کنند و در عین حال تابش خیره‌کننده و تضادهای نامطلوب را کاهش دهند. بر این اساس، اینگونه نظریه‌پردازی شده که دستگاه‌های سایه‌انداز خودکار می‌توانند سبب کاهش مصرف انرژی بکار برده‌شده برای روشنایی، سرمایش و گرمایش شوند.

جدول ۱. پتانسیل‌های پایدار نهفته در نماهای هوشمند مختلف (۲۳)

Table 1. Stable potentials hidden in different smart facades (23)

نوع نماهای هوشمند	پتانسیل‌های اصلی در جهت طراحی پایدار ساختمان‌های کم انرژی بر پایه فضای باز و آسایش گرمایی داخلی
نمای دو پوسته	- انرژی کارا (کاهش گرمای ورودی تابش خورشید) - انرژی کارا (دریافت روشنایی بهینه در روز) - انرژی کارا (اطمینان از تهویه مناسب هوا) - عایق صدا - افزایش ویژگی زیبایی - بهبود آسایش گرمایی
نمای دوجداره	- انرژی کارا (کاهش سطح انتقال گرما) - بهبود آسایش گرمایی
نمای تهویه‌دار	- انعطاف‌پذیری - تطبیق‌پذیری - قابلیت سفارشی سازی (شکل و رنگ) - انرژی کارا (رفع مشکلات رطوبت - تهویه هوا) - بهبود آسایش گرمایی
نمای متحرک	- انرژی کارا (تعاملی و واکنشی به ویژگی‌های زیست‌محیطی) - قابل تنظیم - تطبیقی - واکنشی خودکار - بهبود آسایش گرمایی
نمای خورشیدی	- انرژی کارا (منبع انرژی تجدیدپذیر) - کمک به اهداف سرمایشی و گرمایشی - دیدپذیری

جدول ۲- ویژگی‌های اصلی نماهای هوشمند بخاطر واکنشی و تطبیقی بودن (۲۳، ۲۴)

Table 2- The main features of smart facades due to being reactive and adaptive (23, 24)

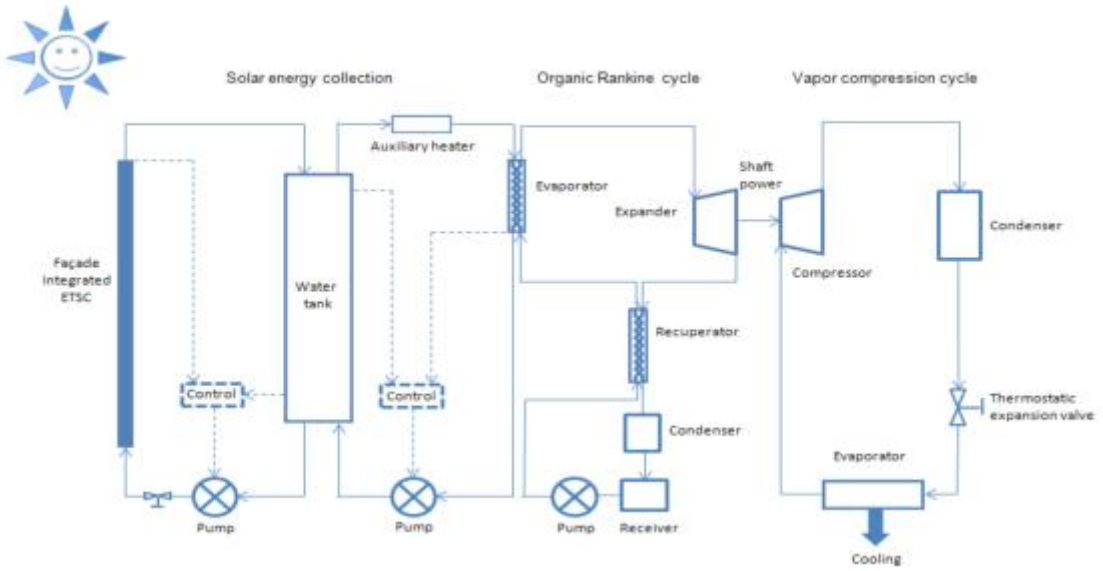
مشخصات	توضیحات
دینامیکی	بیشتر پارامترها به مرور زمان و با نرخ‌های مختلف تغییر می‌کنند
غیرخطی	برخی پارامترها، در مناطق مختلف رفتارهای متفاوتی از خود نشان می‌دهند
تصادفی	برخی پارامترها تحت آشفتگی‌های محیطی غیرقابل پیش‌بینی/تصادفی بزرگ قرار می‌گیرند
چندبعدی	بیشتر مکانیزم‌های مختلف به شیوه‌ای پیچیده با یکدیگر تعامل می‌کنند
غیر قابل‌اندازه‌گیری	اندازه‌گیری برخی متغیرها دشوار است، روابط ناشناخته‌ای دارند، یا ارزیابی در زمان واقعی مانند رضایت ساکنان، عوامل روانی و پوشش ابری آتی هزینه‌بر هستند.

شرکت ویکونا (WICONA) مفهوم جدید نمای هوشمند تحت عنوان" فناوری یکپارچه تهویه" را که در (شکل ۱) نشان داده شده، توسعه داد. نما به تغییرات در شرایط بیرونی و داخلی مانند نور یا دما واکنش نشان می‌دهد و از این رو سهم زیادی در بهبود بهره‌وری انرژی پوشش ساختمان و کاهش هزینه‌های عملیاتی دارد. مفهوم TEmotion فناوری یکپارچه تهویه، تهویه مطبوع و گرمایش را کنترل می‌کند، حفاظت خورشید را با شرایط غالب تنظیم می‌کند و مانع گرم شدن بیش از حد فضای داخلی می‌شود. در عین حال، آن با استفاده از کنترل تطبیق‌پذیر نور، روشنایی طبیعی غیرمستقیم و بدون روشنی خیره‌کننده را تضمین می‌کند. با باز کردن خودکار عناصر نما، امکان شستشوی ساختمان با هوای تازه در شب را فراهم می‌کند که هزینه‌های سرمایشی آن را بسیار کاهش می‌دهد. احتمال استفاده فعال از انرژی خورشیدی از طریق تلفیق عناصر فتوولتائیک وجود دارد (۲۶). شکل ۱پنج عنصر نمای چندکاربردی ویکونا؛ ۱- تهویه فضای داخل و خارج، ۲- گرمایش و سرمایش، ۳- روشنایی، ۴- سایه‌انداز خورشیدی، ۵- تامین انرژی را نشان می‌دهد.

طبق مطالعه انجام‌شده توسط وو دان و همکاران، سیستم سرمایشی خورشیدی متشکل از کلکتورهای خورشیدی لوله خلا (ETSC) نصب‌شده در حفره نماهای دو پوسته (DSF) برای جمع‌آوری انرژی خورشیدی و انتقال جهت استفاده در توربین سیکل آلی رانکین (ORC) که کمپرسور سیکل تراکم بخار (VCC) را به حرکت در می‌آورد، را ارائه می‌کند. انرژی خورشیدی جمع‌آوری شده در آخر هفته در مخزن ذخیره آب گرم برای استفاده در ساعات کاری ساختمان اداری ذخیره می‌شود (۲۷). امکان فنی سیستم برای خنک‌سازی ساختمان‌های اداری در مناطق اقلیمی گرمسیری در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۱. مفهوم جدید نمای هوشمند تحت عنوان TEmotion **(۲۸)**

Fig 1. The new smart concept called TEmotion (28)



شکل ۲- نمودار شماتیک سیستم ترکیبی ETSC-ORC-VCC **(۲۷)**.

Fig 2. Schematic diagram of the combined ETSC-ORC-VCC system (27).

نیپرز جی و همکاران (۲۹) نوع جدیدی از سیستم نمای متحرک را معرفی کرد که از اصول تغییر شکل انعطاف‌پذیر موجود در حرکات گیاه الهام گرفته شده بود. این پروژه الگویی برای کاربرد جدید پلیمرهای تقویت‌شده با الیاف شیشه (GFRP) برای سازه‌های باز و بسته شونده و نیز برای تحقیقات و طراحی زیست تقلید پیشرفته است. چون ساختمان‌ها اغلب از پیشرفت‌های صنعت خودرو و لوازم خانگی پیروی می‌کنند، پس ظهور اتوماسیون عامل دیگری بود که منجر به توسعه پوشش‌های ساختمانی هوشمند شد. یکی از اولین پوشش‌های خودکار سازگار با اقلیم، نمای باکمینستر فولر برای پاویلون ایالات متحده ساخته شده برای نمایشگاه مونترال در سال ۱۹۶۷ بود. اکثر سیستم‌های نمای خودکار، مشارکت جسمانی کمی از دیدگاه ساکنان در داخل ساختمان و مشارکت شهری بیشتر از فضای بیرون جذب می‌کنند (۲۸).

خیامی و دانشجو (۳۰)، در تاثیر نمای دو پوسته متحرک در بهره وری مصرف انرژی در ساختمان اداری خیام مشهد، نتایج این پژوهش در چارچوب نظریه معماری سرآمد، راهکاری بهینه برای بهبود عملکرد انرژی ساختمانی اداری طراحی شده در پنج طبقه در مشهد با بکارگیری نمای دوپوسته متحرک با قابلیت کنترل ورود نور روز ارائه شده؛ که در نهایت این پوسته متحرک حدودا ۱۳۰ هزار کیلووات ساعت در سال، مصرف انرژی ساختمان را کاهش می دهد.

امیدواری و امیدواری (۳۱)، نقش نماهای دوپوسته در ارتقاء حریم دیداری در مجتمع‌های مسکونی تهران با تحلیلی بر عناصر مشربیه در معماری گذشته، نماهای دوپوسته عموماً با هدف ایجاد آسایش حرارتی استفاده می‌شود. مجتمع‌های مسکونی معاصر از این قابلیت نماهای دوپوسته، به علاوهٔ امکان‌های زیبایی‌شناسی، کارکردی و همچنین محرمیت و ایجاد حریم دیداری برای ساکنین بهره برده‌اند. شکل و فرم، مکان استقرار، نوع بازشدگی، مصالح و فناوری اجرای نماهای دوپوسته نقش مؤثری در عملکرد و رفتار آن‌ها داشته است. بررسی‌ها نشان می‌دهد استفاده از مصالح بومی مانند چوب و آجر با قابلیت انعطاف‌پذیری و امکان کنترل بازشدگی توسط استفاده‌کنندگان می‌تواند نقش مؤثری در پاسخ‌های عملکردی متفاوت و ارتقاء حریم دیداری نماهای دوپوسته در این خانه‌ها ایفا کند.

سادات سیادتی و همکاران (۳۲)، بهینه سازی عملکرد حرارتی نمای دو پوسته تیپ جعبه ای با تهویه طبیعی در فصل تابستان در شهر تهران، نتایج پژوهش نشان داد، افزایش عرض حفره میانی می تواند منجر به بهبود عملکرد حرارتی نما شود. افزایش سطح مقطع دریچه های تهویه ورودی و خروجی و به تبع آن افزایش نرخ حجمی جریان هوا در حفره میانی لزوما منجر به ارتقا عملکرد حرارتی نما نمی شود و استفاده از شیشه کم گسیل در قیاس با شیشه های معمولی، مخصوصا برای جداره خارجی نمای دو پوسته باعث کاهش شار گرمایی عبوری از سطح شیشه داخلی نمای دو پوسته به داخل فضای ساختمان به مقدار متوسط ۱/۲۳٪ می شود. در نهایت برای طراحی بهینه نمای دو پوسته توجه به تمامی متغیر های اثر گذار در عملکرد نما و انجام آنالیز های اقتصادی برای انتخاب از بین گزینه های با عملکرد حرارتی مناسب، الزامی است.

یکی از چالش برانگیزترین پارامترهای طراحی این نوع نما، تاثیرات اق لیم در طراحی نماهای دوپوسته است. رفتار کلی نمای دوپوسته به دلیل چندین پدیده فیزیکی که به طور همزمان اتفاق می افتند (حرکت هوا و همرفت گرما، رسانایی، تابش امواج با طول موج کوتاه و بلند) بسیار پیچ یده است. نماهای دوپوسته بایستی بر اساس شرایط اقلیمی مختلف، الگو یا تیپ مناسب هر اقلیم و مشخصات هندسی و ابعادی مناسب استفاده شوند، در غیر این صورت باعث کاهش مصرف انرژی نشده و نتیجه عکس خواهد داد. ایده نمای دوپوسته در واقع ترکیب روشهای غیر فعال مانند تهویه طبیعی، استفاده از نور روز و جذب تابش خورشید با پوسته یک ساختمان است.

روش کار

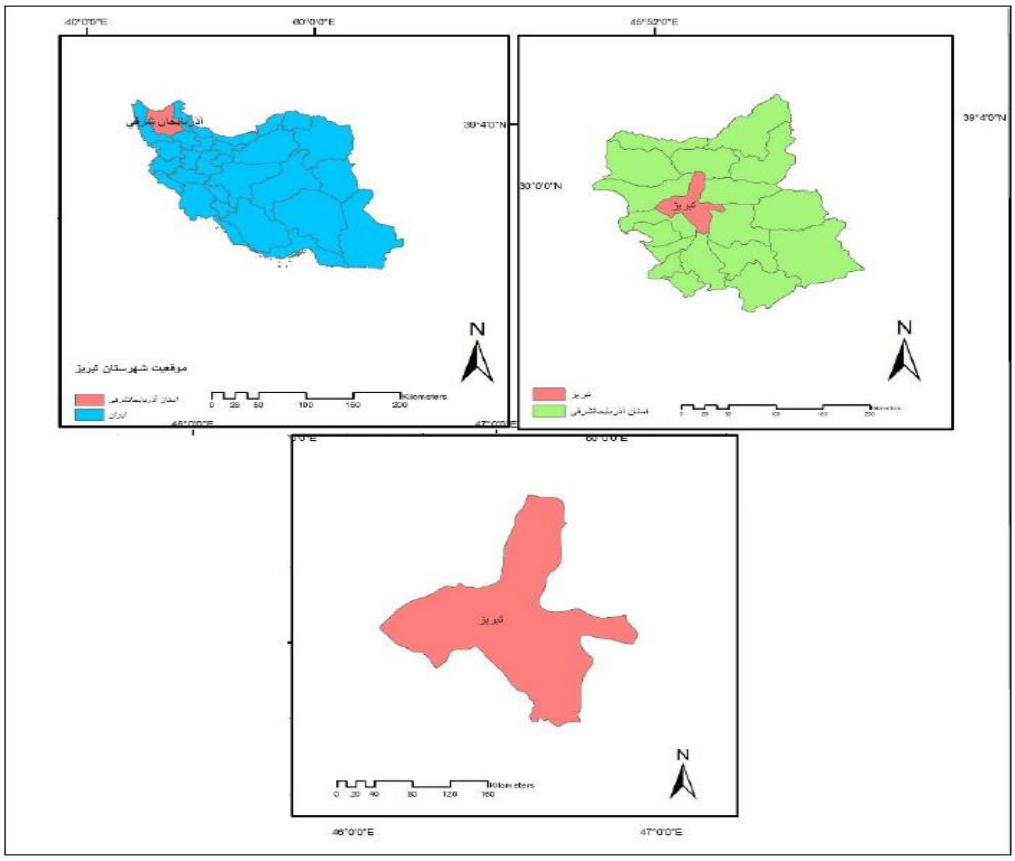
تحقیق حاضر توصیفی- تحلیلی است. از نظر هدف کاربردی می باشد. جامعه آماری تحقیق جمعیت شهر تبریز که برابر ۱۰۵۸۴۰۸۵۵ نفر می باشد.حجم نمونه آماری بر اساس فرمول نمونه‌گیری کوکران ۳۸۴ نفر بدست آمد. جمع‌آوری داده‌ها به روش کتابخانه‌ای و با ابزار پرسشنامه انجام پذیرفته است. سوالات بر اساس مقیاس لیکرت پنج گزینه‌ای مورد بررسی گرفت. برای تعیین روایی پرسشنامه از روش اعتبار محتوا استفاده شد. برای پایایی پرسشنامه نیز با استفاده از روش آلفای کرونباخ استفاده شد و برای کل متغیرها بالای ۰/۷ و برابر ۰/۸۵۹ بدست آمد. سپس از همبستگی پیرسون و تحلیل عاملی تأییدی مرتبهٔ دوم استفاده شد. برای تجزیه و تحلیل داده ها مدل معادلات ساختاری با استفاده از نرم افزارهای، SPSS، AMOS استفاده شد. به این صورت که در این تحقیق برای تحلیل داده ها ابتدا با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تحلیل عاملی اکتشافی با کاربرد روش استخراج مؤلفه های اصلی و چرخش واریماکس و باهدف کشف ساختاری عوامل مؤثر بر استفاده از نمای متحرک هوشمند استفاده شد و سپس با استفاده از نرم افزار Mplus روش تحلیل عاملی تاییدی جهت تایید ساختار عاملی اکتشافی بکار برده شده و از شاخصهای برازش به منظور ارزیابی برازش مدل نهایی به دست آمده از رویکرد مدلسازی معادلات ساختاری استفاده گردید.

محدوده مورد بررسی

استان آذربایجان شرقی با جمعیت ۳۹۰۹۶۵۲ نفر از استانهای ترک‌نشین ایران است که تبریز مرکز استان آذربایجان شرقی در ناحیه شمال غربی آن واقع شده است. مرکز استان شهر تبریز با جمعیت ۱۵۹۳۳۷۳ نفر ۴۲ درصد جمعیت استان را به خود اختصاص داده است. بر اساس تقسیمات کالبدی طرح جامع، این شهر به ۱۰ منطقه تقسیم شده است. سهم تبریز از مساحت بافت فرسوده شهری استان ۲۵۲۲ هکتار است شهر تبریز در ۴۶ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و دو دقیقه عرض شمالی از نصف النهار گرینویچ واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۱۴۰۰ متر می باشد. با وسعتی حدود ۱۱۸۰۰

کیلومتر در قلمرو میانی خطه آذربایجان و در قسمت شرقی شمال دریاچه ارومیه و ۶۱۹ کیلو متری غرب تهران قرار دارد. در ۱۵۰ کیلو متری جنوب جلفا، مرز ایران و جمهوری آذربایجان قرار گرفته است. جمعیت تبریز بیش از یک و نیم میلیون نفر می‌باشد. تبریز از سمت جنوب به رشته کوه منفرد همیشه پر برف سهند و از شمال شرقی به کوه سرخ فام (عون بن علی عینالی) محدود می‌شود. رودخانه آجی چای (تلخه رود) از قسمت شمال و شمال غرب تبریز می‌گذرد و بعد از طی مسافتی قابل توجه در دشت تبریز به دریاچه ارومیه می‌ریزد و مهران‌رود از میانه تبریز می‌گذرد که اکثرا در فصول مختلف سال بی‌آب است. تبریز زمانی دارای باغات و مزارع فرح انگیز و پر آوازه ای بود به همراه قنات‌ها و چشمه‌های متعدد که امروز تمامی آن همه باغات و مزارع از میان رفته یا درحکم از میان رفتن است و گستره شهر پیرامون خود را به مناطق مسکونی، تجاری، اداری، و صنعتی و خدماتی مبدل ساخته است (۳۳).

آب و هوای تبریز، کوهستانی و سرد و خشک است. این شهر تابستان‌های معتدل، بسیار خشک و کم‌باران و زمستان‌های سرد و طولانی دارد. میانگین بیش‌ترین دمای تبریز در تیرماه، گرم‌ترین ماه سال، به ۲۵ درجه‌ی سانتیگراد می‌رسد و در دی‌ماه، سردترین ماه سال، متوسط دما ۲- درجه‌ی سانتیگراد است. میانگین بارندگی سالیانه در تبریز حدود ۳۳۰ میلی‌متر است که عدد کوچکی است و بیش‌ترین بارندگی با ۱۲۱ میلی‌متر در فصل بهار اتفاق می‌افتد. فصل یخبندان از اوایل ماه آذر آغاز می‌شود و تا اواخر ماه فروردین ادامه پیدا می‌کند. تعداد روزهای یخبندان تبریز در طول سال، به‌طور میانگین به ۱۰۸ روز هم می‌رسد و مصالح مورد استفاده در ابنیه سنتی در مناطق سرد و کوهستانی مانند سایر حوزه های اقلیمی از مصالح موجود در آن اقلیم است. این مصالح باید از ظرفیت و مقاومت حرارتی خوبی برخوردار باشند تا گرمای بنا را در فضای داخلی آن حفظ نماید . لذا بدنه این ابنیه از سنگ (یا چوب ، ملات کاهگل ، خشت و آجر) و پوشش سقف و بام از تیر های چوبی و کاهگل می باشد . از سنگ و مصالح مقاوم و سنگین برای برای پی سازی بنا استفاده می کنند و در برخی نقاط ، کرسی چینی با مصالح سنگین جهت جلو گیری از رطوبت به کار می رود (۳۴).



شکل ۳. موقعیت شهرتبریز در کشور و استان

Fig 3. Location of Tabriz city in the country and province

یافته ها

برای یافتن اطمینان از اندازه‌گیری درست متغیرهای پنهان و تعیین وجود روابط معنادار بین متغیرها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. مطابق جدول (۳) که نتایج آزمون همبستگی را نشان می‌دهد، سطح معناداری آزمون همبستگی بین تمامی متغیرهای پژوهش کمتر از ۰/۰۵ به‌دست‌آمده است. لذا این‌گونه برداشت می‌شود که بین تمامی متغیرهای مورد مطالعه همبستگی مثبت، مستقیم و معناداری وجود دارد.

بررسی مدل تحقیق با استفاده از روش معادلات ساختاری

در این بخش به برآورد برازش مدل، رگرسیون چند متغیره و تحلیل مسیر اثرات عوامل موثر بر استفاده از نماهای متحرک هوشمند برای پایداری در شهر تبریز پرداخته شده است.

جدول ۳. ضریب همبستگی پیرسون بین متغیرهای تحقیق (نگارندگان ۱۴۰۱)

Table 3. Pearson correlation coefficient between research variables (1401 authors)

متغیرهای تحقیق		مقرون به صرفه بودن	آسایش ساکنان	کارایی و بهره‌وری	کاهش مصرف انرژی	کاهش اثرات گلخانه ای
مقرون به صرفه بودن	مقدار همبستگی	۱				
	سطح معناداری	۰/۰۰				
آسایش ساکنان	مقدار همبستگی	۰/۳۱۱	۱			
	سطح معناداری	۰/۰۰۱	۰/۰۰			
کارایی و بهره‌وری	مقدار همبستگی	۰/۴۰۱	۰/۳۵۱	۱		
	سطح معناداری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰		
کاهش مصرف انرژی	مقدار همبستگی	۰/۳۶۴	۰/۳۲۳	۰/۳۷۲	۱	
	سطح معناداری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	
کاهش اثرات گلخانه‌ای	مقدار همبستگی	۰/۳۶۳	۰/۳۰۵	۰/۴۶۱	۰/۲۸۴	۱
	سطح معناداری	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۰۰۱

جدول ۴. نتایج برازش مدل

Table 4. Model fitting results

تفسیر	مقدار بدست آمده	مقدار قابل قبول	عنوان شاخص	
قابل قبول	۰,۸	بزرگ‌تر از ۵ درصد	سطح احتمال کای - اسکوئر	p-value Chi-square
وضعیت نسبتاً قابل قبول مدل	۲,۴۱۶۲	مقادیر بین ۱ تا ۵	نسبت کای اسکوئر به درجه آزادی	CMIN/DF
وضعیت قابل قبول مدل	۰,۹۷۲	۰ (عدم برازش) تا ۱ (برازش کامل)	شاخص برازندگی	GFI (Goodness of Fit Index)
وضعیت قابل قبول مدل	۰,۹۴۸	۰ (عدم برازش) تا ۱ (برازش کامل)	شاخص تعدیل شده برازندگی	AGFI (Adjusted Goodness of Fit Index)
وضعیت قابل قبول مدل	۰,۹۸۱	۰ (عدم برازش) تا ۱ (برازش کامل)	شاخص برازندگی تطبیقی	CFI (Comparative Fit Index)
خطای معقولی برای تقریب در جامعه	۰,۰۰۱	<۰,۰۵	ریشه دوم میانگین مجذورات باقیمانده	RMSEA (Root Mean Square of Approximation)

نتایج تحلیل و مقادیر شاخص‌های برازش، نشان از برازش نسبتاً خوب و معنی‌دار بودن مدل است. این بدان معنی است که داده‌های نمونه مورد مطالعه مدل اصلاح شده را تایید می‌کنند، آماره‌های کای اسکوئر نسبی، GFI، AGFI،CFI و

RMSEA میزان انطباق ماتریس واریانس کواریانس مدل فرضی را با ماتریس نمونه‌ای مقایسه می‌کنند. این بدان معنی است که فرض اینکه متغیرها با هم دارای ارتباط است، پذیرفته می‌شود. در این مدل مقدار همبستگی بین ابعاد نیز در سطح ۱٪ معنی‌دار است. بعد از اطمینان یافتن از صحت مدل‌اندازه‌گیری گام بعدی در تحلیل بدست آوردن تخمین ضرایب استاندارد (ضرایب مسیر) و عدد معناداری اثر هر کدام از ضرایب رگرسیون در مدل می‌باشد.

جدول ۵. تایید / عدم تائید رابطه بین متغیرها و برآوردهای استاندارد حداکثر درست نمایی برای مدل نظری تحقیق

Table 5. Confirmation / non-confirmation of the relationship between the variables and the maximum likelihood standard estimates for the theoretical research model

Regression Weights: (Group number 1 - Default model)						
عنوان شاخص	شکل رابطه	عنوان شاخص	Estimate برآورد	S.E. خطای معیار	C.R. نسبت بحرانی	P سطح معنی‌داری
مقرون به صرفه بودن	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۷/۰۱۲	۹/۱۱۶	۰/۸۰۱	***
آسایش ساکنان	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۷/۵۹۴	۸/۵۴۸	۰/۹۱۲	***
کارآیی و بهره‌وری	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۷/۹۹۵	۷/۹۱۵	۰/۸۹۹	***
کاهش مصرف انرژی	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۶/۸۸۱	۹/۰۰۲	۰/۸۰۵	***
کاهش اثرات گازهای گلخانه‌ای	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۹/۰۳۷	۸/۷۸۷	۰/۷۹۸	***

با توجه به نتایج جدول (۵) داریم:

مقدار نسبت بحرانی، مقداری است که از محاسبه مقدار برآورد شده غیراستاندارد برای پارامتر به خطای معیار محاسبه‌شده برای همان پارامتر حاصل می‌شود و نشان می‌دهد که در صورت رد فرضیه صفری که مقدار این پارامتر را برابر صفر می‌دهد تا چه حد احتمال خطا وجود دارد. شاخص‌های جزیی برازش (نسبت بحرانی و سطح معنی‌داری آن‌ها) نشان می‌دهد که بارهای عاملی در چه سطحی معنی‌دار هستند. نتایج نشان می‌دهد که اکثر شاخص‌ها در سطح ۰/۰۱ درصد (** در سطح ۱٪ معنی‌دار) با هم رابطه دارند که البته این نتایج توسط نتایج همبستگی نیز تایید می‌شود. بدین معنا که برآوردهای وزن غیراستاندارد رگرسیونی به روش حداکثر درست نمایی به ترتیب بین متغیرها رابطه مستقیم وجود دارد. با توجه به بارهای عاملی می‌توان گفت سهم کدام متغیر در اندازه‌گیری سازه مربوطه بیشتر است و سهم کدام متغیر کمتر. به بیان دیگر شاخصی که بار عاملی بزرگ‌تری داشته باشد سهم بیشتری در اندازه‌گیری سازه مربوطه دارد و شاخصی که بار عاملی کمتری داشته باشد، سهم کمتری را دارد.

همچنین در جدول ذیل مقادیر بارهای عاملی(وزن رگرسیونی) استاندارد شده برای هر متغیر را نشان می‌دهد.

جدول ۶. وزن رگرسیونی استاندارد شده بین متغیرها برای مدل نظری تحقیق

Table 6. Standardized regression weight between variables for the theoretical research model

Standardized Regression Weights: (Group number 1 - Default model)			
عنوان شاخص	شکل رابطه	عنوان شاخص	Estimate برآورد
مقرون به صرفه بودن	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۰/۶۵
آسایش ساکنان	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۰/۸۵
کارآیی و بهره‌وری	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۰/۷۷
کاهش مصرف انرژی	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۰/۹۲
کاهش اثرات گازهای گلخانه ای	<-	نمای ساختمان متحرک هوشمند	۰/۸۱

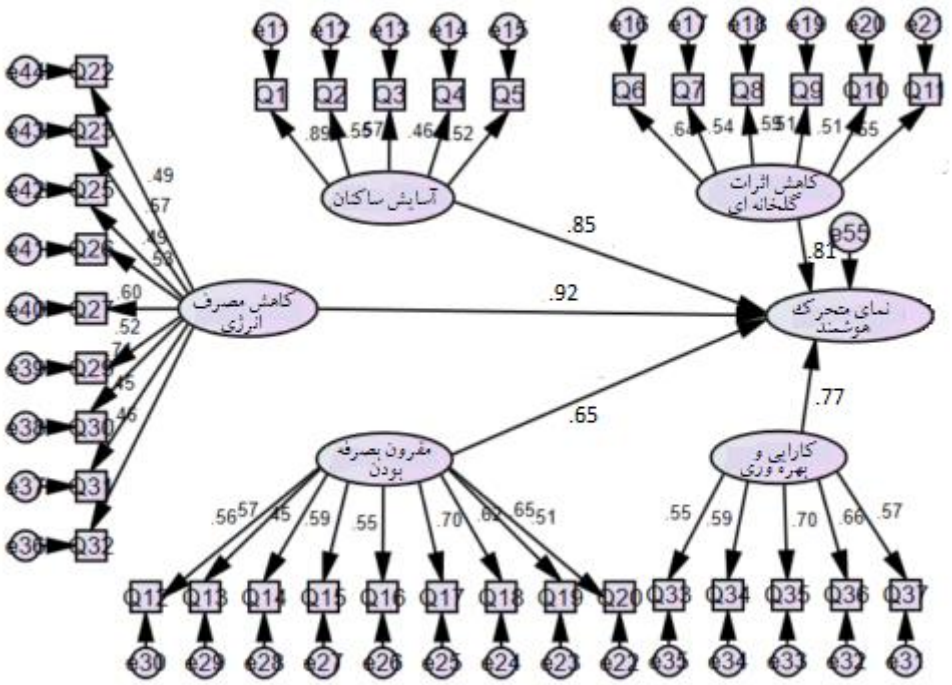
با توجه به نتایج جدول فوق داریم:

نتایج نشان می‌دهد که اکثر شاخص‌ها در سطح ۰/۰۱ درصد (** در سطح ۱٪ معنی‌دار) با هم رابطه دارند که البته این نتایج توسط نتایج همبستگی نیز تایید می‌شود. بدین معنا که برآوردهای وزن استاندارد رگرسیونی به روش حداکثر

درستنمایی بین شاخص‌های متغیرها با احتمال ۹۹ درصد اطمینان برآورد شده است.

براساس نتایج جدول (۶) بیشترین تأثیرات مربوط به عوامل کاهش مصرف انرژی بوده با بار عاملی (۰/۹۲) و بعد آن به ترتیب عوامل آسایش ساکنان با بار عاملی(۰/۸۵)، کاهش اثرات گاز گلخانه ای با بار عاملی(۰/۸۱) و کارایی و بهره وری با بار عاملی (۰/۷۷) و مقرون بصرفه بودن با بار عاملی (۰/۶۵) در رده های بعدی قرار دارند.

در شکل ذیل نیز وزن شاخص‌های استاندارد به صورت دیاگرام نشان داده شده است:



شکل ۴. مدل نهایی عوامل موثر بر استفاده از نمای متحرک هوشمند در شهر تبریز.

Fig 4. The final model of factors affecting the use of smart moving facades in Tabriz city

تحلیل رگرسیونی چند متغیره تحقیق

برای تبیین تأثیر هریک از عوامل مقرون به صرفه بودن، آسایش ساکنان، کارآیی و بهره‌وری، کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات گازهای گلخانه ای (متغیر مستقل) نمای متحرک هوشمند سلختمان به لحاظ پایداری(متغیر وابسته) از رگرسیون چند متغیره استفاده شده است و نتایج آن در جدول (۷) آمده است.

جدول ۷. تحلیل رگرسیون چند متغیره تاثیر هر یک از شاخص‌های متغیر مستقل بر متغیر وابسته

Table 7. Multivariate regression analysis of the effect of each indicator of the independent variable on the dependent variable

متغیر مستقل	تعداد	R2	Beta	T	سطح معناداری	نتیجه
مقرون به صرفه بودن	۳۸۴	۰/۲۹۴	۰/۳۵۸	۱۸/۳۷۴	۰/۰۰۱	تایید آزمون
آسایش ساکنان	۳۸۴	۰/۳۸۹	۰/۴۹۵	۲۰/۵۸۱	۰/۰۰۱	تایید آزمون
کارآیی و بهره‌وری	۳۸۴	۰/۳۱۷	۰/۳۹۲	۱۹/۰۰۱	۰/۰۰۱	تایید آزمون
کاهش مصرف انرژی	۳۸۴	۰/۴۰۱	۰/۵۹۹	۲۱/۰۲۵	۰/۰۰۱	تایید آزمون
کاهش اثرات گازهای گلخانه ای	۳۸۴	۰/۳۲۷	۰/۴۶۲	۱۹/۶۹۴	۰/۰۰۱	تایید آزمون

براساس یافته‌های حاصل از جدول (۷) همه شاخص‌های مقرون به صرفه بودن، آسایش ساکنان، کارآیی و بهره‌وری، کاهش مصرف انرژی و کاهش اثرات گازهای گلخانه ای دارای رابطه معناداری با متغیر وابسته استفاده از نمای متحرک هوشمند در شهر تبریز می‌باشند و به ترتیب شاخص‌های کاهش مصرف انرژی (۰/۵۹۹)، آسایش ساکنان با (۰/۴۹۵) شاخص کاهش

اثرات گلخانه ای با (۰/۴۶۲)، شاخص کارایی و بهره وری با (۰/۳۹۲) و شاخص مقرون بصرفه بودن با (۰/۳۵۸) بیشترین تا کمترین تأثیر را بر متغیر وابسته دارا می‌باشند. بنابراین همه شاخص‌های موثر بر استفاده از نمای ساختنان هوشمند با توجه به ضریب تعیین (R^2) بر متغیر وابسته تأثیر دارند و می‌توان گفت که متغیر وابسته متأثر از شاخص‌های متغیر مستقل می‌باشد و مقدار بتا (Beta) هم نشان دهنده ارتباط مستقیم شاخص‌های موثر بر نمای هوشمند و متغیر وابسته (نمای متحرک هوشمند) است. در نتیجه هرچه مقدار Beta و T بیشتر و سطح معناداری کوچک‌تر از (۰/۰۵) باشد. متغیرهای مستقل (عوامل موثر) بر متغیر وابسته (نمای متحرک هوشمند) تأثیر بیشتری دارد.

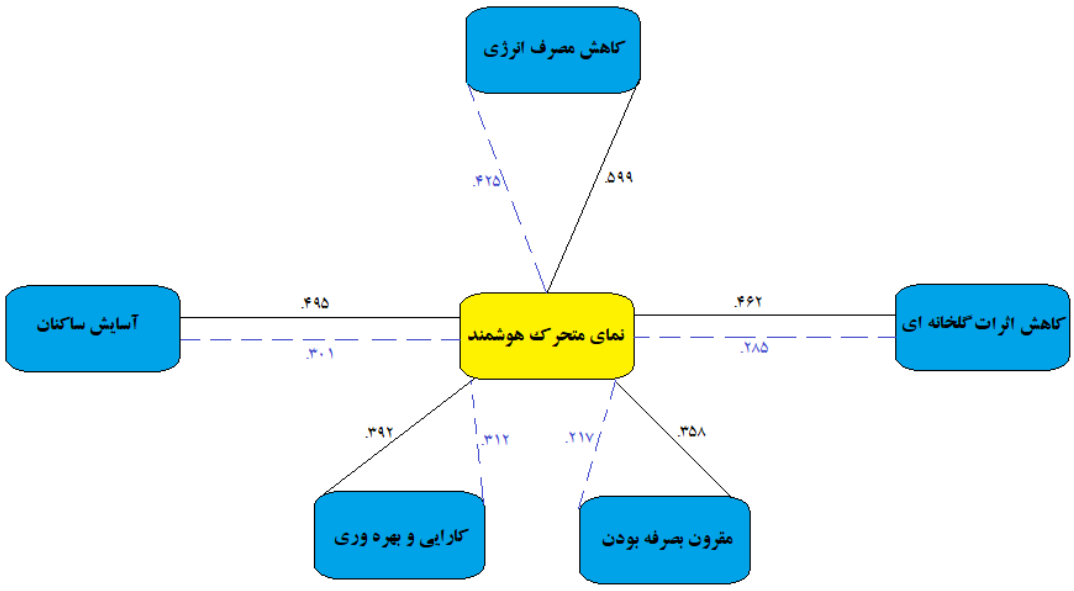
تحلیل مسیر اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل موثر بر استفاده از نماهای متحرک هوشمند در پایداری شهر تبریز

جدول (۸) و شکل (۵)، مسیر اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل موثر براستفاده از نمای متحرک هوشمند در شهر تبریز را نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۸) و شکل (۵) می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین اثرگذاری بصورت مستقیم و غیرمستقیم مربوط به شاخص کاهش مصرف انرژی با اثر مستقیم ۰/۵۹۹ و غیرمستقیم ۰/۴۲۵ می‌باشد. همه موارد در جدول (۸) و شکل (۵) بطور خلاصه بیان می‌شود.

جدول ۸. مسیر اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل موثر بر استفاده از نمای متحرک هوشمند در شهر تبریز

Table 8. Path of direct and indirect effects of factors affecting the use of smart moving facade in Tabriz city

متغیر	اثرات مستقیم	اثرات غیرمستقیم	کل
مقرون به صرفه بودن	۰/۳۵۸	۰/۲۱۷	۰/۵۷۵
آسایش ساکنان	۰/۴۹۵	۰/۳۰۱	۰/۷۶۳
کارآیی و بهره‌وری	۰/۳۹۲	۰/۳۱۲	۰/۷۰۴
کاهش مصرف انرژی	۰/۵۹۹	۰/۴۲۵	۱/۰۲۴
کاهش اثرات گازهای گلخانه ای	۰/۴۶۲	۰/۲۸۵	۰/۷۴۷



شکل ۵. تحلیل اثرات مستقیم و غیرمستقیم عوامل موثر بر استفاده از نمای متحرک هوشمند برای پایداری در شهر تبریز

Fig 5. Analysis of the direct and indirect effects of factors affecting the use of smart moving facades for sustainability in Tabriz city

نتیجه گیری

اساساً، سیاست‌گذاری‌های مناسب در زمینه فناوری بدون توجه به موانع و مشکلات توسعه آن، عملاً غیرممکن است. این امر در هوشمندسازی ساختمان‌ها بخصوص در رابطه با نماهای ساختمان با رویکرد بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر برای رسیدن به پایداری نیز صدق می‌کند. طراحی و توسعه‌ی سیستم نماهای متحرک هوشمند در طول هفتاد سال گذشته

در فرآیندهای چندمرحله‌ای رخ داده است. طراحی و توسعه‌ی این نماها تحت تاثیر مولفه‌های اقتصادی، اجتماعی، فناوری، و زیست‌محیطی ناشی از تغییرات در هنر فناوری و ساخت‌وساز ابنیه از اواخر قرن نوزدهم میلادی بوده است. به‌منظور بررسی مشکلات و ارائه راه‌حل‌های مناسب جهت غلبه بر آن‌ها، بایستی مطالعات متعددی انجام پذیرد. با توجه به هدف تحقیق حاضر که در رابطه با تحلیل عوامل مؤثر در پذیرش فناوری نماهای هوشمند و به تبع آن استفاده از نماهای متحرک هوشمند در راستای پایداری شهر تبریز می باشد. نتایج نشان داد که مدل بکار گرفته شده از برازش مطلوبی برخوردار است. همچنین تحلیل عاملی مرتبه دوم نشان می‌دهد که بارهای عاملی تمام عوامل موثر بر استفاده از نمای متحرک هوشمند در شهر تبریز بزرگ‌تر از ۰/۴ بوده و در سطح احتمال ۹۹ درصد معنی‌دار هستند. براساس نتایج تحقیق بیشترین تأثیرات مربوط به عوامل کاهش مصرف انرژی با بار عاملی ۰/۹۲ بوده و کمترینش مربوط به عامل مقرون بصرفه بودن با بار عاملی ۰/۶۵ بوده است. همچنین نتایج تحلیل مسیر نشان داد بیشترین اثرات مستقیم و غیر مستقیم با اثرگذاری کل (۱/۰۲۴) مربوط به عامل کاهش مصرف انرژی و کمترین اثرات مستقیم و غیر مستقیم مربوط به عامل مقرون بصرفه بودن با اثرگذاری کل (۰/۵۷۵) بوده است. نتایج این تحقیق با یافته های (Khayami & Daneshjoo[30], Omidvari & Omidvari [31], Siadati et al, [32]) مشابه و همراستا می باشد. نماهای هوشمند ساختمانی در تمامی ساختمان ها کاربرد دارد. این ساختمان ها می‌توانند در انواع کاربری‌ها مورد استفاده قرار گیرند. افزایش جذابیت ظاهری، عملکرد بهتر در برابر شرایط اقلیمی، کاهش مصرف انرژی و کمک به محیط زیست از مهمترین دلایلی است که معماران به سمت طراحی و اجرای این سیستم ها روی آورده اند. از نماهای هوشمند ساختمانی در انواع ساختمان در هر شکل یا اندازه ای استفاده می‌گردد. همچنین می‌توان ساختمان های موجود را به این سیستم مجهز نمود. بهینه یابی فرمی نما با هدف افزایش کاربرد هر کدام از وظایف بر عهده آن، سبب بالا بردن ضریب عملکردی خواهد شد.

References

1. Aksamija, A. 2016. Design Methods for Sustainable, High-Performance Building Facades. Advances in Building Energy Research 10 (2): 240–262. doi:10.1080/17512549.2015.1083885.
2. Arjamandania A., 2016, using smart materials and facades with a sustainable approach (case example: Shahrekord city, Chaharmahal and Bakhtiari province), bimonthly research in art and humanities, 1(1), 1-10. [In Persian]
3. Golasemi Z., Golabchi, M., 2017, Application of theory on the design factor of smart shells, Green Architecture, 3(12), 1-10.
4. Shan, R. 2016. Climate Responsive Facade Optimization Strategy. PhD thesis, University of Michigan, Ann Arbor, MI.
5. Sorensen, L. 2013. Heat Transmission Coefficient Measurements in Buildings Utilizing a Heat Loss Measuring Device." Sustainability 5 (8): 3601-3614.
6. Grobman, Y., Capeluto, I, & Austern, G. 2017. External Shading in Buildings: Comparative Analysis of Day Lighting Performance in Static and Kinetic Operation Scenarios. Architectural science review 60 (2): 126–136. doi:10.1080/00038628.2016.1266991.
7. Ahmed, M., A. Abdel-Rahman, M. Bady, E. Mahrous, and M. Suzuki. 2016. Optimum Energy Consumption by using Kinetic Shading System for Residential Buildings in hot Arid Areas. International Journal of Smart Grid and Clean Energy 5 (2): 2-16.
8. Choi, S., D. Lee, and J. Jo. 2017. Methods of Deriving Shaded Function According to Shading Movements of Kinetic Facades. Sustainability, 9: 1449.
9. Loonen, R. C. G. M., F. Favoino, J. L. M. Hensen, and M. Overend. 2017. Review of Current Status, Requirements and Opportunities for Building Performance Simulation of Adaptive Facades." Journal of Building Performance Simulation 10 (2): 205-223
10. Al-Masrani, Salwa M., Karam M. Al-obaidi, Azizah Zalin, M. Isma, I. 2018. Design Optimization of Solar Shading Systems for Tropical Office Buildings: Challenges and Future Trends. Solar Energy 170: 849-872.
11. Veliko, K., & G. Thun. 2013. Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms in Design and Construction of High Performance Homes. London: Routledge Press.
12. Romano, R., L. Aelenei, D. Aelenei, and E. S. Mazzucchelli. (2018). "What is an Adaptive Facade? Analysis of Recent Terms and Definitions from an International Perspective." Journal of Facade Design and Engineering 6 (3): 65-76.
13. Smith, G., and G. W. Smith. 2015. Swing low, Sweet Chariot: Kinetic Sculpture and the Crisis of Western Technocentrism. Arts 4 (3): 75-92. doi:10.3390/arts4030075.
14. Ochoa, C. Capeluto, I, 2008, Intelligent Facades in Hot Climates: Energy and Comfort Strategies for Successful Application, PLEA 2008 - 25th Conference on Passive and Low Energy Architecture, Dublin, 22nd to 24th

October 2008, 25.
15. Ochoa, C, Capeluto, I, 2011, Strategic decision-making for intelligent buildings: Comparative impact of passive design strategies and active features in a hot climate Building and Environment, 4 (46), 922-937
16. Moloney, J, 2006, Between Art and Architecture: The Interactive Skin, Information Visualization., 1 (5). 681-686
17. Tzempelikos, A; Athienitis, A. K; Karava, P, 2007. Simulation of façade and envelope design options for a new institutional building, 81(9), 1088-1103. doi:10.1016/j.solener.2007.02.006.
18. Aschehoug, Ø, Andresen. I, Kleiven, T, Wyckmans, A, 2005, Intelligent Building Envelopes-Fad or Future? Proceeding of the 7th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. (1). (2005).
19. Velikov, K, Thun, G, 2012, Responsive Building Envelopes: Characteristics and Evolving Paradigms. Design and Construction of High-Performance Homes: Building Envelopes, Renewable Energies and Integrated Practice, 75-93
20. S. Selkowitz, E. Lee, O. Aschehoug, 2003, Perspectives on Advanced Facades with Dynamic Glazings and Integrated Lighting Controls, Innovation in Building Envelopes and Environmental Systems International Conferences on Solar Energy in Buildings., 2 (79).
21. Sacht, H, Bragança, L, Almeida, M, 2011, Façade Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Glazing Thermal Performance to Guimarães Climate International Conference Sustainability of Constructions - Towards a better built environment. 423-430
22. Wigginton, J. Harris, 2011, Intelligent Skins. Linacre House, Jordan Hill, Oxford, UK, 171
23. GhaffarianHoseini, A, Berardi, U, GhaffarianHoseini, A, Makaremi, N, 2012, Intelligent Facades in Low-Energy Buildings, British Journal of Environment and Climate Change., 2 (4), 437-464
24. [Skelly, M, 2000, Essay competition: The individual and the intelligent façade, Building Researh and Information, 1 (28). 67-69.
25. Kensek, K, Hansanuwat, R, 2011, Environment Control Systems for Sustainable Design: A Methodology for Testing, Simulating and Comparing Kinetic Facade Systems, Journal of Creative Sustainable Architecture & Built Environment (1) (2011), 27-45.
26. TEmotion Intelligent façade concept. [Online]. Available: http://www.wicona-int.com/en/Product/Facade/TEmotion-Intelligent-facade-concept/.
27. Dan, W, Aye, L, Mendis, P, Ngo, T, 2012. Technical feasibility of façade integrated solar cooling system for commercial buildings, Australian solar energy society. 50.
28. Wicona Temotion, most innovative facade system at the fair BAU 2011. [Online]. Available: http://www.interempresas.net/Doors-Windows/Articles/48454-Wicona-Temotion-most-innovative-acade-system-at-the-fair-BAU-2011.html.
29. Knippers, J, Scheible, F, Oppe, M, Jungjohann, H, 2012, Kinetic Media Facade Consisting of GFRP Louvers 6th International Conference on FRP Composites in Civil Engineering.
30. Khayami S, Daneshjoo K. 2022, The Effect of Dynamic Double Skin Façade on Energy Efficiency in Khayyam Administrative Building. Naqshejahan; 12 (2) :110-137
31. Omidvari, S., & Omidvari, E. 2022. The Role of Two-Shell Facades in Enhancing the Visual Privacy of Residential Complexes in Tehran (An Analysis of the Mashrabiya Elements in the Old Architecture). The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar, 19(114), 5-16. doi: 10.22034/bagh.2022.274819.4814.
32. Siadati, F. S., Fayaz, R., & Nikghadam, N. 2021. Optimization of thermal performance of double skin façade box window type with natural ventilation in summer in Tehran. Journal of Architecture in Hot and Dry Climate, 9(13), 155-175.
33. Zeynali Azim, A., & Babazadeh Oskouei, S. 2022. Analyzing of Creating a Livable Smart City in the City of Tabriz. Urban Economics and Planning, 3(4), 24-37.
34. Jodeiri Abbasi, M., shaghaghi, S., Salek Zamankhani, J., & Hamidzadeh Khyavi, S. 2021. Assessing the Impact of Climate on the Planning and Design of Contemporary Housing in Tabriz City (Case Study of Zafaranieh, Valiasr and Rushdieh neighborhoods). Territory, 18(71), 45-66.