



تأثیر معماری بایوفیلیک در نمای ساختمان مسکونی بر کاهش مصرف انرژی

(مورد پژوهی: مجتمع مسکونی آرین مشهد)

سعید علیتاجر^{1*}، مهدی غیائی² و سیده فائزه اعتماد شیخ الاسلامی³

تاریخ دریافت: 1403/09/10

تاریخ پذیرش: 1404/02/03

(صفحات 153-168)

چکیده

مقدمه: ساختمان‌های مسکونی نقش مهمی در مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند. طراحی ناکارآمد و فقدان تهویه طبیعی، از دلایل مصرف بالای انرژی در این ساختمان‌هاست. معماری بایوفیلیک به عنوان یک راهکار نوین، با الهام از طبیعت و استفاده از عناصر طبیعی مانند گیاهان، نور طبیعی و مصالح زیست‌سازگار، به بهینه‌سازی مصرف انرژی کمک می‌کند. در این پژوهش، تأثیر معماری بایوفیلیک بر کاهش مصرف انرژی در نمای ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم‌وخشک مشهد بررسی شده است.

روش تحقیق: این مطالعه به روش توصیفی-تحلیلی انجام شد. نمونه موردی، مجتمع مسکونی آرین 10 مشهد انتخاب شد. برای ارزیابی تأثیر عناصر بایوفیلیک، از نرم‌افزار دیزاین بیلدر جهت شبیه‌سازی مصرف انرژی و آسایش حرارتی استفاده شد. سه سناریو شامل: (1) پوشش گیاهی در نما، (2) پوشش گیاهی همراه با عایق Bio PCM و (3) پوشش گیاهی همراه با بتن همکریت و سبوس برنج بررسی و داده‌های مصرف انرژی الکتریکی و گاز قبل و بعد از اعمال این تغییرات مقایسه شد.

نتایج و بحث: نتایج نشان داد که استفاده از عناصر بایوفیلیک باعث کاهش 4.6% تا 6.8% در مصرف انرژی الکتریکی شد. بیشترین کاهش در حالتی مشاهده شد که از بتن همکریت و سبوس برنج در کنار پوشش گیاهی استفاده شد. همچنین، آسایش حرارتی ساکنان بهبود یافت و هزینه‌های سالانه انرژی کاهش پیدا کرد.

نتیجه‌گیری: معماری بایوفیلیک در نمای ساختمان‌های مسکونی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی را امکان‌پذیر می‌کند. پیشنهاد می‌شود این رویکرد در طراحی پایدار شهری و معماری مسکونی گسترش یابد. **واژگان کلیدی:** معماری بایوفیلیک، کاهش مصرف انرژی، نمای سبز ساختمان، آسایش حرارتی، مصالح پایدار.

¹ دانشیار، گروه معماری دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. (نویسنده مسئول) alitajer@basu.ac.ir

² دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

³ استادیار، گروه مهندسی معماری، دانشکده مهندسی عمران و معماری، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران.

1- مقدمه

ساختمان‌های مسکونی موجود به‌ویژه در جوامع شهری با تراکم بالا، سهم قابل‌توجهی در مصرف انرژی جهانی (40%) و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارند (Africa et al., 2019). این امر ناشی از عوامل متعددی است از جمله طراحی‌های قدیمی و ناکارآمد، استفاده از مصالح ساختمانی با عایق حرارتی پایین، سیستم‌های گرمایش و سرمایش ناکارآمد و فقدان تهویه طبیعی مناسب، مطالعات نشان می‌دهد که این ساختمان‌ها، علی‌رغم عمر مفید طولانی، به دلیل عدم به‌روزرسانی و نوسازی، مصرف انرژی بالایی دارند و به‌طور قابل‌توجهی به تغییرات اقلیمی و آلودگی هوا کمک می‌کنند (Peters & D'Penna, 2020). به‌عنوان مثال؛ در مطالعه‌ای بر روی ساختمان‌های مسکونی در سیدنی، مشخص شد که طراحی‌های قدیمی باعث کاهش قابل‌توجه عملکرد انرژی ساختمان می‌شود (Nitu et al., 2022). این موضوع نشان می‌دهد که ضرورت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های موجود، نه تنها از نظر اقتصادی، بلکه از جنبه‌های زیست‌محیطی نیز بسیار حائز اهمیت است. کاهش انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی در ساختمان‌ها، یکی از اهداف اصلی برنامه‌های توسعه پایدار جهانی است (Nitu et al., 2022). بنابراین یافتن راهکارهای مؤثر برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های موجود، یک ضرورت گریزناپذیر است. در این راستا، رویکردهای نوین و بهینه در طراحی و بازسازی ساختمان‌ها می‌تواند نقش مهمی در این زمینه ایفا کند (Parsaee et al., 2019).

رویکردهای سنتی و صرفاً فنی برای بهینه‌سازی انرژی ساختمان‌های موجود، اغلب با چالش‌ها و محدودیت‌هایی روبه‌رو هستند. این رویکردها که اغلب شامل تعویض تجهیزات، نصب سیستم‌های جدید و یا بهینه‌سازی جزئی سیستم‌های موجودند، ممکن است هزینه‌های بالایی داشته باشند و به‌طور کامل مشکل مصرف انرژی بالا را حل نکنند. علاوه بر این بهینه‌سازی انرژی ساختمانها باید با در نظر گرفتن کیفیت محیط داخلی و آسایش ساکنین انجام شود. بهبود یک جنبه مانند کاهش مصرف انرژی نباید به ضرر جنبه‌های دیگر مانند آسایش حرارتی

و کیفیت هوا باشد. به عبارت دیگر، یک رویکرد جامع و یکپارچه برای بهینه‌سازی انرژی ضروری است که همزمان به کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش ساکنین منجر شود. این امر نیاز به رویکردهای نوین و خلاقانه در طراحی و بازسازی ساختمان‌های موجود را نشان می‌دهد. طراحی بایوفیلیک¹، به‌عنوان یکی از این رویکردها، با تمرکز بر اتصال انسان با طبیعت، راهکاری نوین برای بهینه‌سازی همزمان انرژی و آسایش در ساختمان‌ها ارائه می‌دهد (Parsaee et al., 2019).

طراحی بایوفیلیک رویکردی نوین در طراحی محیط‌های ساخته‌شده است که بر ارتباط انسان با طبیعت تمرکز دارد (Solla et al., 2022). این رویکرد با الهام از طبیعت و با استفاده از عناصر و الگوهای طبیعی به دنبال ایجاد محیط‌هایی سالم‌تر، راحت‌تر و پویاتر برای انسان است (Zhong et al., 2022). اصول طراحی بایوفیلیک بر اساس درک نیازهای ذاتی انسان به ارتباط با طبیعت و استفاده از عناصر طبیعی برای بهبود سلامت جسمی و روانی او استوار است. این عناصر می‌توانند شامل نور روز، هوا، گیاهان، آب، مصالح طبیعی، رنگ‌ها و الگوهای طبیعی باشند. سه دسته اصلی در طراحی بایوفیلیک وجود دارد: طبیعت در فضا²، آنالوگ‌های طبیعی³ و ماهیت فضا⁴ (Solla et al., 2022). طبیعت در فضا به حضور مستقیم عناصر طبیعی در محیط اشاره دارد، مانند گیاهان، آب و نور طبیعی. آنالوگ‌های طبیعی، عناصر غیر زنده‌ای هستند که از طبیعت الهام گرفته‌اند، مانند اشکال، رنگ‌ها و بافت‌های طبیعی، ماهیت فضا، به چیدمان و سازماندهی فضا به‌گونه‌ای اشاره دارد که حس طبیعی بودن را ایجاد کند.

مطالعات نشان می‌دهند که طراحی بایوفیلیک می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی عملکرد انرژی ساختمان‌های مسکونی را بهبود بخشد (Asojo & Hazazi, 2025). این امر از طریق مکانیزم‌های مختلفی انجام می‌شود. به‌عنوان مثال استفاده از نور روز به‌جای نور مصنوعی می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در مصرف انرژی برای روشنایی صرفه‌جویی کند. بهبود تهویه طبیعی با استفاده از پنجره‌ها و بازشوهای مناسب نیاز به استفاده از سیستم‌های تهویه مکانیکی را کاهش می‌دهد (Tekin et al., 2023). استفاده



اقلیم‌های گرم‌وخشک است (موردپژوهی: مجتمع مسکونی آرین مشهد). به‌طور خاص پژوهش حاضر نقش مصالح و عایق‌های طبیعی نوین، مانند؛ Bio PCM، بتن همکریت و سبوس برنج را در بهبود آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی مورد ارزیابی قرار می‌دهد. همچنین تأثیر این عناصر در نمای ساختمان و جداره‌های خارجی با در نظر گرفتن هزینه‌های طراحی و اجرای آن تحلیل خواهد شد تا میزان کارایی آن‌ها در بهینه‌سازی مصرف انرژی مشخص گردد.

مشهد در طی چندین سال گذشته از اقلیم نیمه خشک به اقلیمی خشک‌وگرم در تابستان تغییر کرده است که به علت افزایش دمای سالانه و کاهش نزولات جوی همراه بوده و میانگین بارش سالانه آن حدود 255.2 میلی‌متر است. رطوبت نسبی در فصل زمستان افزایش یافته، اما به‌طور کلی روندی کاهشی دارد. بادهای غالب در این شهر معمولاً از سمت جنوب شرقی و شمال می‌وزند و میانگین سرعت باد 3.6 متر بر ثانیه ثبت شده است. انتخاب مشهد برای این پژوهش به دلیل ویژگی‌های اقلیمی و نیاز روزافزون به کاهش مصرف انرژی انجام شده است. این شهر به دلیل نوسانات دمایی در فصول گرم و سرد، شاهد افزایش مصرف برق برای سرمایش در ماه‌های تیر و مرداد و افزایش مصرف گاز برای گرمایش در دی و بهمن است. از این‌رو ضرورت بررسی معماری بایوفیلیک در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی مشهد احساس می‌شود. بنابراین انتخاب مشهد در این پژوهش نه‌تنها به دلیل اقلیم گرم‌وخشک و مصرف بالای انرژی بوده، بلکه به‌عنوان نمونه‌ای قابل‌تعمیم برای سایر شهرهای مشابه نیز در نظر گرفته شده است.

1-1 - مروری بر پیشینه پژوهشی

در ایران و جهان، پژوهش‌هایی در زمینه تأثیر استفاده از معماری بایوفیلیک در نمای ساختمان مسکونی بر روی کاهش مصرف انرژی در اقلیم گرم‌وخشک انجام شده است که مهم‌ترین آن‌ها که قابلیت استفاده در این پژوهش را نیز دارند، به‌صورت خلاصه در جدول زیر ارائه شده است.

از گیاهان در داخل ساختمان، به‌عنوان عایق طبیعی عمل کرده و به تنظیم دمای محیط کمک می‌کند. همچنین استفاده از مصالح ساختمانی با عایق حرارتی بالا می‌تواند به کاهش اتلاف انرژی در ساختمان کمک کند. در مطالعه‌ای بر روی یک خانه دوبلکس در سیدنی، مشخص شد که طراحی بایوفیلیک می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی مصرف انرژی را کاهش دهد. این مطالعه نشان می‌دهد که طراحی بایوفیلیک نه‌تنها به افزایش آسایش ساکنین کمک می‌کند، بلکه می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی در صرفه‌جویی انرژی و کاهش هزینه‌ها مؤثر باشد (Gong et al., 2023).

ارتباط انسان با طبیعت⁵ یکی از جنبه‌های اساسی و مهم طراحی بایوفیلیک است. این مفهوم به میزان و کیفیت ارتباط انسان با محیط طبیعی اشاره دارد. مطالعات نشان می‌دهند که ارتباط انسان با طبیعت بالا، با بهبود سلامت جسمی و روانی، کاهش استرس و افزایش رضایت از زندگی همراه است (Gong et al., 2023). طراحی بایوفیلیک با ادغام عناصر طبیعی در محیط‌های ساخته‌شده به تقویت ارتباط انسان با طبیعت کمک می‌کند. این ادغام می‌تواند از طریق مشاهده مناظر طبیعی از پنجره‌ها، استفاده از مصالح طبیعی در ساختمان و یا حضور مستقیم عناصر طبیعی مانند؛ گیاهان و آب در داخل ساختمان انجام شود. مطالعات نشان داده‌اند که افزایش ارتباط انسان با طبیعت می‌تواند به افزایش آسایش و رضایت ساکنین از محیط زندگی خود کمک کند و در نتیجه کیفیت زندگی آن‌ها را بهبود بخشد (Cacique & Ou, 2022).

با توجه به اینکه مطالعات پیشین به‌طور پراکنده به برخی از جنبه‌های معماری بایوفیلیک پرداخته‌اند، اما تاکنون تأثیر دقیق عناصر بایوفیلیک مانند؛ پوشش گیاهی، عایق‌های طبیعی (مانند؛ Bio PCM، بتن همکریت و سبوس برنج) در نمای ساختمان‌های مسکونی و میزان صرفه‌جویی انرژی در فصول گرم و سرد به‌طور مشخص در یک نمونه موردی در اقلیم گرم‌وخشک بررسی نشده است. بنابراین هدف این مطالعه بررسی تأثیر استفاده از عناصر معماری بایوفیلیک بر کاهش مصرف انرژی در فصول گرم و سرد سال در واحدهای مسکونی واقع در

جدول 1- برخی از مطالعات انجام شده در داخل ایران در خصوص تأثیر استفاده از معماری بایوفیلیک در نمای ساختمان مسکونی بر روی کاهش مصرف انرژی

Tab. 1 - Some of the studies conducted within Iran on the impact of using biophilic architecture in residential building facades on energy consumption reduction

پژوهشگر	موضوع مطالعه	نتایج کلیدی
(Mousavi et al., 2023)	طراحی بایوفیلیک و پایداری محیطی	طراحی بایوفیلیک تعامل انسان و طبیعت را تقویت کرده و کیفیت زندگی را بهبود می‌بخشد
(Samati & Behtash, 2021)	مقایسه شهر اسلو و رامسر در طراحی بایوفیلیک	بلوار معلم رامسر پتانسیل طراحی بایوفیلیک را دارد و می‌توان از مؤلفه‌های ادراک محیطی برای ارتقای کیفیت آن استفاده کرد
(Moghaddasi et al., 2023)	تاب‌آوری کالبدی-محیطی در مجتمع‌های مسکونی	استفاده از فضای سبز، آب و اصلاح شرایط اقلیمی موجب افزایش تاب‌آوری مجتمع‌های مسکونی می‌شود
(Mohammadi & Vosoq, 2019)	کاهش مصرف انرژی در خانه‌های مسکونی کرمان	دیوار زنده مؤثرترین راهکار برای کاهش دما و افزایش رطوبت در اقلیم گرم‌وخشک است
(Rostam et al., 2023)	طراحی فضاهای بینابین بایوفیلیک در شهرک اکباتان	13 الزام کلیدی شناسایی شد که شامل اکوسیستم، فرم و نور طبیعی بوده و بر طراحی فضاهای بینابین تأثیرگذار هستند
(Tandro Saleh et al., 2023)	کاهش استرس زنان خانه‌دار با معماری بایوفیلیک	مؤلفه‌های پناهگاه، حضور آب و محرک‌های حسی بیشترین تأثیر را در کاهش استرس زنان دارند
(Tardast et al., 2020, 2021)	ارائه الگوی بومی شده شهر بایوفیلیک	شاخص‌های نهادهای بایوفیلیک، زیرساخت‌ها، آگاهی شهروندان و فعالیت‌های بایوفیلیک بیشترین تأثیر را در طراحی الگوی شهر بایوفیلیک دارند
(Tardast et al., 2020)	تحقق‌پذیری شاخص‌های بومی شهر بایوفیلیک	منطقه 9 تهران نسبت به منطقه 10 از تحقق‌پذیری بهتری برای شاخص‌های بایوفیلیک برخوردار است
(Taghipour et al., 2024)	شهروند بایوفیلیک و برنامه‌ریزی شهری طبیعت‌محور در شهر خواف	توسعه زیرساخت‌های سبز شهری موجب افزایش تمایل شهروندان به مشارکت در امور شهری و بهبود کیفیت زندگی می‌شود
(Param et al., 2020)	تأثیر بایوفیلیک بر خانه‌های سنتی و مدرن گرگان	اصول بایوفیلیک در خانه‌های سنتی بیشتر رعایت شده، اما در خانه‌های مدرن نیاز به افزایش 8 اصل دیگر وجود دارد
(Esmaili et al., 2020)	طراحی بایوفیلیک و جذب مشتری در فضاهای تجاری	ویژگی‌های بایوفیلیک موجب افزایش جذب مشتری و بهبود سلامت معنوی و اجتماعی می‌شود
(Sayyadi Mahalleh, 2023)	تأثیر معماری بایوفیلیک در طراحی خانه سالمندان	افزایش حس تعلق به مکان و آرامش روانی ساکنان از طریق ارتباط مستقیم و غیر مستقیم با طبیعت
(Zarei & Kheiri, 2022)	اثر بایوفیلیک بر طراحی شهری	تأکید بر استفاده از اصول اکولوژیکی و الگوهای طبیعی در طراحی شهری برای کاهش اثرات زیست‌محیطی
(Shirazi Zadeh & Cheshmeh, 2020)	مقایسه معماری بایوفیلیک و معماری سنتی ایران	اصول معماری بایوفیلیک با معماری بومی ایران سازگار و قابلیت تطبیق در طراحی‌های مدرن را دارد
(Salehabadi & Bahoush, 2017)	تحلیل اقلیمی یزد و ارتباط آن با معماری بایوفیلیک	ارائه راهکارهای طراحی اقلیمی مبتنی بر معماری بایوفیلیک برای کاهش مصرف انرژی

جدول 2- برخی از مطالعات انجام شده خارج از کشور در خصوص تأثیر استفاده از معماری بایوفیلیک در نمای ساختمان مسکونی بر روی کاهش مصرف انرژی

Tab. 2 - Some of the studies conducted abroad on the impact of using biophilic architecture in residential building facades on energy consumption reduction

نویسندگان	موضوع مطالعه	نتایج کلیدی
(Barbu et al., 2019)	بررسی طراحی بایوفیلیک و عملکرد انرژی در ساختمان‌های مسکونی	طراحی بایوفیلیک می‌تواند مصرف انرژی را کاهش می‌دهد راحتی حرارتی و سلامت ساکنان را بهبود بخشد. نیاز به پژوهش‌های بیشتر برای استانداردسازی معیارهای طراحی احساس می‌شود.
(Sadick et al., 2023)	چالش‌های اجرای استراتژی‌های بایوفیلیک	موانع سازمانی و اجتماعی مانع اجرای موفق استراتژی‌های بایوفیلیک در معماری مدرن می‌شود
(Gong et al., 2023)	طراحی خانه‌های سالم بر اساس اصول بایوفیلیک	طراحی محیط‌های مسکونی با تمرکز بر آسایش ساکنان و ایجاد تعامل میان طبیعت و فضاهای داخلی



نویسندگان)	موضوع مطالعه	نتایج کلیدی
(Cacique & Ou, 2022)	استراتژی‌های طراحی بایوفیلیک در محیط‌های پایدار	تلفیق بایوفیلیک با معماری پایدار موجب افزایش بهره‌وری انرژی و بهبود کیفیت محیطی می‌شود
(Zhong et al., 2022)	نقد و بررسی طراحی بایوفیلیک در معماری	بررسی نقش طراحی بایوفیلیک در بهبود سلامت، رفاه اجتماعی و افزایش پایداری محیطی
(Nitu et al., 2022)	تأثیر طراحی بایوفیلیک در بازسازی ساختمان‌های مسکونی	نوسازی ساختمان‌ها با رویکرد بایوفیلیک موجب بهبود روشنایی طبیعی، راحتی حرارتی و کاهش مصرف انرژی شده و ارتباط انسان با طبیعت را تقویت می‌کند
(Africa et al., 2019)	تأثیر طراحی بایوفیلیک بر سلامت انسان	بایوفیلیک علاوه بر بهبود سلامت روانی، باید با شاخص‌های کنترل محیطی (نور، صدا، کیفیت هوا) ادغام شود تا بهینه‌ترین عملکرد را داشته باشد
(Al-Dmour et al., 2021)	طراحی بایوفیلیک در محیط‌های کاری	طراحی بایوفیلیک به تنهایی کافی نیست و باید با فناوری‌های نوین برای کنترل کیفیت محیط داخلی (تهویه، نورپردازی، چیدمان فضایی) ادغام شود
(Boffi et al., 2021)	مشارکت کاربران در طراحی بایوفیلیک	درگیر کردن کاربران در فرآیند طراحی، مانند طراحی باغ‌های اجتماعی، به بهبود تعامل افراد با محیط و افزایش احساس رضایت کمک می‌کند
(Manfren et al., 2020)	ادغام داده‌ها در ارزیابی عملکرد ساختمان‌های بایوفیلیک	استفاده از تحلیل داده‌های طراحی و بهره‌برداری به بهینه‌سازی مصرف انرژی و بهبود استراتژی‌های آینده کمک می‌کند
(Solla et al., 2022)	نقش BIM در ارزیابی طراحی بایوفیلیک	مدل‌سازی اطلاعات ساختمان (BIM) در ارزیابی و بهینه‌سازی طراحی بایوفیلیک و پایداری محیطی کارآمد است و تحلیل داده‌ها را تسهیل می‌کند
(Pertile et al., 2021)	بهبود هم‌زمان عملکرد انرژی و مقاومت لرزه‌ای	بازسازی ساختمان‌های قدیمی با استفاده از پانل‌های بتن عایق باعث افزایش پایداری سازه‌ای و کاهش مصرف انرژی می‌شود

2-1- چارچوب نظری

معماری بایوفیلیک به عنوان یک رویکرد نوین در طراحی ساختمان‌ها، بر پایه ارتباط انسان با طبیعت و بهره‌گیری از عناصر طبیعی در فضاهای ساخته‌شده استوار است. این مفهوم با الهام از اصول اکولوژیکی، تلاش می‌کند محیطی را فراهم آورد که علاوه بر زیبایی، دارای کارکردهای بهینه در کاهش مصرف انرژی و افزایش آسایش حرارتی باشد. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی و افزایش تقاضا برای ساختمان‌های پایدار، بررسی تأثیر معماری بایوفیلیک بر نمای ساختمان‌ها، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم‌وخشک، می‌تواند زمینه‌ساز تحولات مثبت در حوزه معماری و انرژی باشد.

2-1-1- ارتباط معماری و طبیعت

از دیرباز، رابطه میان معماری و طبیعت یکی از مباحث اساسی در طراحی فضاهای سکونتی بوده است. در تمدن‌های باستانی، معماری به گونه‌ای شکل می‌گرفت که هماهنگ با محیط طبیعی باشد. به عنوان مثال؛ باغ‌های معلق بابل، طراحی ویلاهای ایتالیایی در دوره

رنسانس و خانه‌های سنتی ایرانی که دارای حیاط‌های مرکزی بودند، همگی نشان‌دهنده توجه به طبیعت در طراحی معماری هستند. در دوران مدرن نیز، معمارانی مانند؛ فرانک لوید رایت و آلوار آلثو با رویکرد ارگانیک خود تلاش کردند تا هماهنگی بیشتری بین معماری و طبیعت ایجاد کنند.

2-1-2- معماری بایوفیلیک و اصول آن

معماری بایوفیلیک رویکردی است که بر پایه ایجاد ارتباط پایدار بین انسان و محیط طبیعی شکل گرفته است. این رویکرد شامل به‌کارگیری عناصر طبیعی در طراحی داخلی و خارجی ساختمان‌ها، افزایش فضاهای سبز، استفاده از نور طبیعی، و بهره‌گیری از مصالح سازگار با محیط زیست است. ویلسون (1984) در نظریه "بیوفیلیا"، وابستگی ذاتی انسان به طبیعت را مطرح کرد و نشان داد که حضور طبیعت در فضاهای ساخته‌شده می‌تواند بهبود قابل توجهی در سلامت روانی، عملکرد شناختی و آسایش کاربران ایجاد کند. طبق نظریه کالرت

و ویلسون (1997)، طراحی بایوفیلیک را می‌توان به سه دسته اصلی تقسیم کرد:

- ارتباط مستقیم با طبیعت: شامل نور طبیعی، گیاهان، آب و تهویه طبیعی
- ارتباط غیر مستقیم با طبیعت: مانند استفاده از مصالح طبیعی، الگوهای الهام گرفته از طبیعت، و رنگ‌های طبیعی
- ایجاد شرایط فضایی مطابق با طبیعت: استفاده از الگوهای بیولوژیکی در طراحی فرم، استفاده از مقیاس‌های انسانی و رعایت سلسله مراتب فضایی

3-1-2- تأثیر معماری بایوفیلیک بر مصرف انرژی

یکی از جنبه‌های مهم معماری بایوفیلیک، تأثیر آن بر بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌هاست. در اقلیم‌های گرم‌وخشک در تابستان همانند؛ مشهد، معماری سنتی همواره به‌گونه‌ای طراحی شده است که بتواند شرایط آسایش حرارتی را با حداقل مصرف انرژی فراهم کند. استفاده از حیاط‌های مرکزی، بادگیرها، سایه‌اندازها و پوشش‌های گیاهی در نما، نمونه‌هایی از این روش‌های بومی هستند. مطالعات نشان داده‌اند که به‌کارگیری عناصر بایوفیلیک در نمای ساختمان‌ها می‌تواند از طریق موارد زیر سبب کاهش مصرف انرژی شود:

- کاهش اثر جزیره حرارتی شهری با استفاده از نمای سبز (درختان، درختچه و بوته‌ها) و گیاهان عمودی
- کاهش نیاز به تهویه مطبوع (به‌ویژه سیستم سرمایش در فصل تابستان) از طریق استفاده از سایه‌اندازهای طبیعی و کنترل تابش خورشیدی
- افزایش راندمان حرارتی ساختمان با استفاده از مصالح طبیعی مانند؛ بتن همکریت، عایق سبوس برنج و Bio PCM

4-1-2- اقلیم گرم‌وخشک و چالش‌های معماری آن

اقلیم گرم‌وخشک ایران، از جمله مشهد، دارای ویژگی‌هایی نظیر تابستان‌های گرم‌وخشک، زمستان‌های سرد و دامنه نوسان دمایی بالاست. این شرایط سبب شده است که ساختمان‌ها نیازمند راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی باشند. روش‌های سنتی

همچون ضخامت بالای دیوارها، استفاده از مصالح ظرفیت حرارتی بالا، و طراحی فضاهای نیمه‌باز، از جمله استراتژی‌هایی بوده‌اند که در معماری سنتی ایران به‌کار گرفته شده‌اند. در این پژوهش، بررسی تأثیر معماری بایوفیلیک بر کاهش مصرف انرژی در مجتمع مسکونی آراین مشهد نشان داده است که ادغام راهکارهای بایوفیلیک با روش‌های سنتی، می‌تواند منجر به بهبود عملکرد انرژی ساختمان و کاهش مصرف انرژی شود.

2-1-5- نقش فناوری و مصالح نوین در معماری بایوفیلیک

توسعه فناوری‌های نوین ساختمانی، امکان به‌کارگیری مصالحی را فراهم آورده است که می‌توانند نقش مؤثری در کاهش مصرف انرژی و افزایش پایداری ساختمان‌ها ایفا کنند. از جمله این مصالح می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- بتن همکریت: نوعی بتن سبک (بر پایه مصالح گیاهی که با مخلوط کردن گیاه‌های کنفی همچون؛ ساقه گیاه شاهدانه) که به دلیل خاصیت عایق حرارتی، موجب کاهش مصرف انرژی برای گرمایش و سرمایش می‌شود. همچنین نقش قابل توجهی در کاهش میزان انتشار کربن در چرخه عمر نمونه مورد بررسی ایفا کند. این میزان را بر اساس پژوهش انجام گرفته می‌توان به مقدار 307.26 کیلوگرم دی اکسید کربن به ازای هر مترمربع از بتن کنفی دانست که این میزان در پایان از کل انتشار کربن این بخش کاسته می‌شود.
- Bio PCM: مواد تغییر فاز دهنده‌ای که می‌توانند گرما را در روز جذب کرده و در شب آزاد کنند، در نتیجه نوسانات دمایی را کاهش می‌دهند.
- عایق سبوس برنج: نوعی عایق طبیعی که می‌تواند به عنوان جایگزین مناسبی برای عایق‌های شیمیایی مورد استفاده قرار گیرد.

2- روش تحقیق

پژوهش مورد مطالعه از منظر هدف، پژوهشی کاربردی و توسعه‌ای و از نوع تحقیقات توصیفی-تحلیلی است. نمونه موردی پژوهش، پروژه مسکونی آراین 10 (زیر بنای 7555 مترمربع؛ عرض جغرافیایی 36.3702724 و طول

طبقه چهارم این مجتمع مسکونی در نرم افزار مدل سازی شد و داده های هواشناسی شهر مشهد برای بازه زمانی 2009 تا 2023 به صورت فرمت EPW به آن اضافه شد تا شرایط واقعی اقلیمی در تحلیل ها لحاظ شود. در این مرحله کلیه جزئیات فیزیکی ساختمان شامل؛ نوع مصالح دیوارها، عایق های حرارتی، شفافیت بازشوها و سایر مشخصات تأسیساتی نیز در مدل وارد شد. سپس، ساختمان در وضع موجود بدون اعمال عناصر بایوفیلیک شبیه سازی شد تا میزان مصرف انرژی آن به عنوان خط مبنا⁷ تعیین شود.

در ادامه سه سناریوی مختلف بایوفیلیک به مدل اعمال شد: چینش سبز در جلوی بازشوهای نما که نقش سایه اندازی و کاهش گرمای ورودی را بر عهده داشت، چینش سبز همراه با عایق Bio PCM که به عنوان یک ماده تغییر فاز دهنده موجب ذخیره انرژی و کنترل دمای داخلی می شد و چینش سبز همراه با بتن همکریت و سبوس برنج که عملکردی مشابه یک عایق حرارتی داشت و از تبادل گرمایی پیش گیری می کرد. در هر یک از این سناریوها، ساختمان دوباره شبیه سازی شد و میزان تأثیر این تغییرات بر مصرف انرژی الکتریکی و گاز، آسایش حرارتی و هزینه های سالانه مورد ارزیابی قرار گرفت. داده های خروجی نرم افزار شامل نمودارهای مصرف انرژی، عملکرد حرارتی، و شاخص های اقتصادی بود. در نهایت تحلیل هزینه-فایده برای سنجش اقتصادی بودن اجرای این فناوری ها انجام و آسایش حرارتی از طریق ترکیبی از اندازه گیری های محیطی، تحلیل داده های اقلیمی، مدل سازی دیجیتال و شبیه سازی انرژی بررسی شد. مدل سازی سه بعدی ساختمان و اعمال تغییرات مختلف در نما و مصالح ساختمانی انجام شد تا تأثیر آن بر دمای داخلی و آسایش حرارتی بررسی شود. سپس اثر استفاده از عایق های طبیعی مانند؛ بتن همکریت، سبوس برنج و BioPCM در بهبود آسایش حرارتی و کاهش مصرف انرژی ارزیابی شد.

نرم افزار دیزاین بیلدر یکی از پیشرفته ترین ابزارهای شبیه سازی انرژی در جهان است که به مهندسان و معماران کمک می کند تا تأثیر طراحی های مختلف را بر

جغرافیایی (59.4697794) در شهر مشهد مقدس به دلیل نوساز بودن بافت شهری در این منطقه، تعداد بازشوهای زیاد نما در اکثر جهات ساختمان که در اکثر ساعات روز نور خورشید را دریافت می کند و نیز استفاده از چینش سبز در نمای این ساختمان این پروژه سبب انتخاب آن شد. نوع سیستم گرمایشی و سرمایشی، یک سیستم مرکزی هواساز است که ضریب عملکرد در سیستم گرمایشی 0.8 و برای سرمایشی 1.8 به کار رفته. شبیه سازی و سنجش بر روی طبقه چهارم این پروژه به صورت روش نمونه گیری هدفمند انجام گرفته است.



شکل 1- طرح مدلسازی و اجرا شده ساختمان آرین 10 مشهد
(Source: Arian Construction Company, Mashhad)

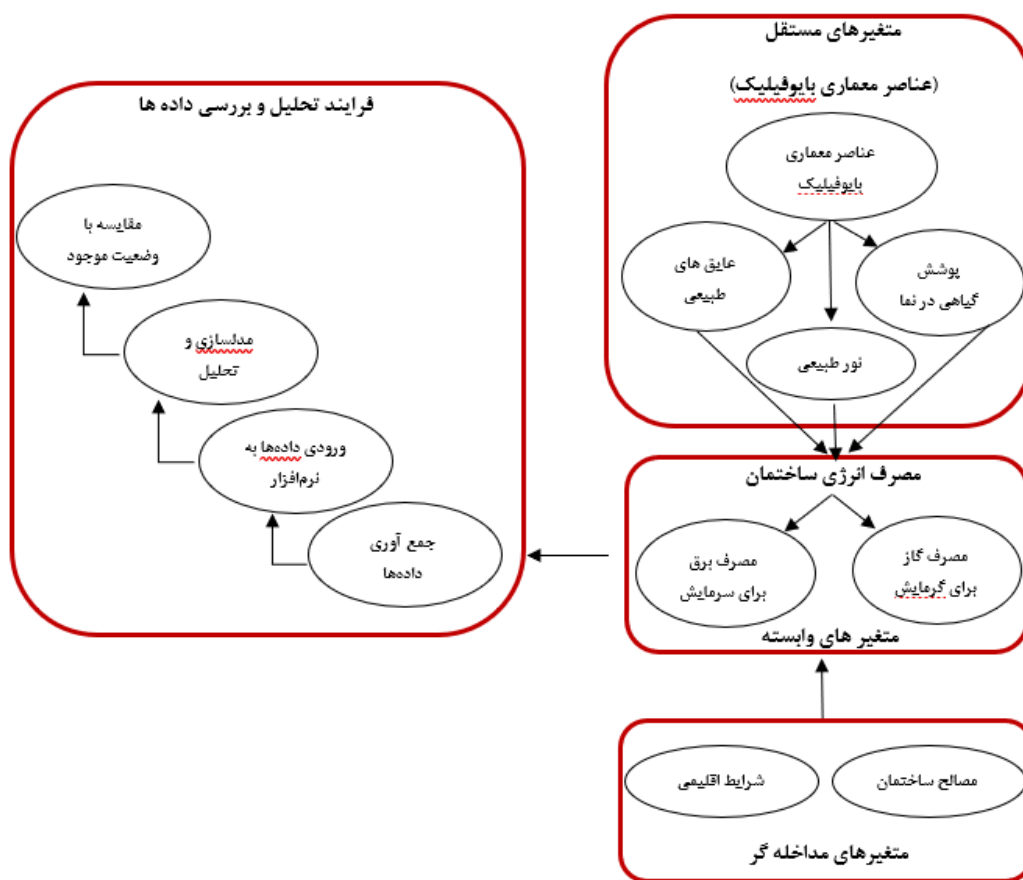
Fig. 1 - The modeling and implemented design of Arian 10 Building in Mashhad (Source: Arian Construction Company, Mashhad)

در این پژوهش از نرم افزار دیزاین بیلدر⁶ برای بررسی تأثیر عناصر معماری بایوفیلیک بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان های مسکونی در اقلیم گرم و خشک استفاده شده است. این نرم افزار که از موتور محاسباتی EnergyPlus بهره می برد، امکان شبیه سازی دقیق بارهای سرمایشی و گرمایشی، تهویه طبیعی، و میزان مصرف انرژی را فراهم می کند. در مرحله نخست، پلان

که این عناصر می‌توانند تأثیر مثبتی بر کاهش مصرف انرژی ساختمان داشته باشند. متغیر وابسته مصرف انرژی ساختمان است که شامل مصرف برق برای سرمایش و مصرف گاز برای گرمایش می‌شود و به‌عنوان شاخص اصلی ارزیابی تأثیر معماری بایوفیلیک در نظر گرفته شده. علاوه بر این متغیرهای مداخله‌گر شامل؛ شرایط اقلیمی و مصالح ساختمانی هستند که بر تأثیرگذاری معماری بایوفیلیک در کاهش یا افزایش مصرف انرژی نقش دارند. شرایط اقلیمی مانند؛ دما، رطوبت و میزان تابش خورشید و همچنین نوع مصالح ساختمانی می‌توانند عملکرد عناصر بایوفیلیک را تحت تأثیر قرار دهند. بنابراین این متغیرها به‌گونه‌ای انتخاب شده‌اند که بتوانند تأثیر معماری بایوفیلیک بر مصرف انرژی را به‌طور دقیق ارزیابی کرده و نقش عوامل محیطی و ساختمانی را نیز در این ارتباط مشخص کنند.

میزان مصرف انرژی، ردپای کربنی، و هزینه‌های سالانه ساختمان بررسی کنند. از مهم‌ترین قابلیت‌های این نرم‌افزار می‌توان به ورود داده‌های واقعی هواشناسی، تحلیل تأثیر مصالح مختلف، سایه‌اندازی، و تهویه طبیعی اشاره کرد. دقت این نرم‌افزار در پیش‌بینی بارهای گرمایشی و سرمایشی حدود $\pm 13\%$ است که آن را به یکی از قابل‌اعتمادترین ابزارها در حوزه طراحی ساختمان‌های پایدار تبدیل می‌کند. به‌کارگیری دیزاین بیلدر در این پژوهش، امکان ارزیابی علمی و مهندسی تأثیر مصالح بایوفیلیک بر بهینه‌سازی مصرف انرژی را فراهم کرده است.

شکل شماره 2 روابط بین متغیرهای تحقیق و فرآیند بررسی آنها را به‌درستی نمایش می‌دهد. در این پژوهش متغیرهای مستقل شامل عناصر معماری بایوفیلیک مانند؛ عایق‌های طبیعی، پوشش گیاهی در نما و نور طبیعی، مصرف انرژی ساختمان شامل مصرف برق برای سرمایش و مصرف گاز برای گرمایش، متغیرهای وابسته شامل شرایط اقلیمی و مصالح ساختمانی متغیرهای مداخله‌گر



شکل 2- متغیرهای مورد بررسی در مطالعه حاضر و فرآیند تحلیل آنها

Fig. 2 - The variables under investigation in the present study and their analysis process



3- نتایج و بحث

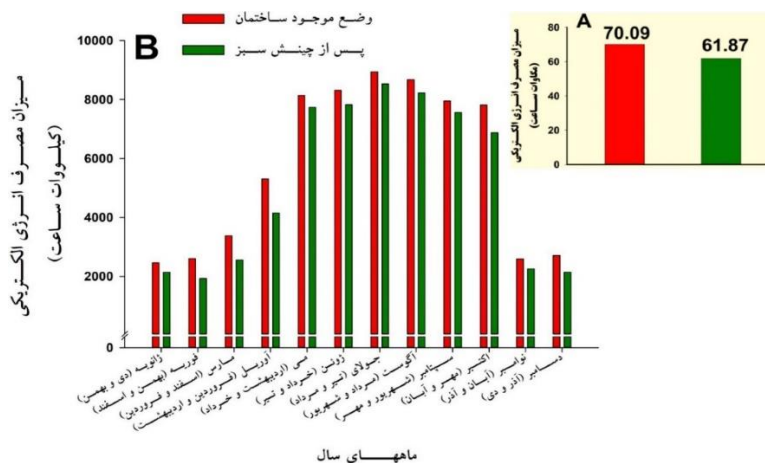
این پژوهش با هدف بهره‌گیری بهینه از چینه سبز در بازشوهای نمای ساختمان‌ها، به منظور کاهش مصرف انرژی الکتریکی و بهبود آسایش حرارتی در تمام فصول سال در باز زمانی سال 2009 تا 2023 انجام شده است. همچنین به بررسی و ترویج استفاده از عایق‌ها و مصالح نوینی همچون مواد تغییر فاز دهنده، بتن همکریت و سبوس برنج در دیواره ساختمان‌ها می‌پردازد.

بر اساس داده‌های شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر، استفاده از عناصر بایوفیلیک همانند؛ پوشش گیاهی در نما و مصالح نوین (Bio PCM، بتن همکریت و سبوس برنج) تأثیر قابل توجهی بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان مسکونی مورد مطالعه داشته است. همان‌طور که در شکل 3 نشان داده شده است میزان مصرف انرژی الکتریکی سالانه پس از اعمال چینه سبز در نما کاهش چشم‌گیری داشته است. با توجه به نتایج و خروجی‌های به دست آمده (شکل 3) در خصوص داده‌ها و اطلاعات ماهانه و سالانه مجموع سوخت مصرفی در حوزه انرژی، مشخص شده است که در وضعیت موجود ساختمان، بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی در بین تمامی ماه‌های سال مربوط به ماه جولای (تیر و مرداد) بوده و مقدار آن برابر با 8939.75 کیلووات ساعت است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که پس از به کارگیری و اعمال برخی از عناصر معماری بایوفیلیک (مانند؛ درختچه و بوته‌ها) در جلوی تمامی بازشوهای نمای ساختمان آراین 10 همچنان بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی در بین تمامی ماه‌های سال در ماه جولای (10 تیر تا 9 مرداد) رخ داده، اما مقدار آن به 8523.63 کیلووات ساعت کاهش یافته است. این مقایسه نشان می‌دهد که مصرف انرژی الکتریکی 416.12 کیلووات ساعت کاهش یافته است که معادل 4.6 درصد کاهش نسبت به وضعیت موجود ساختمان است. این کاهش عمدتاً به دلیل کاهش نیاز به سیستم‌های سرمایشی و بهینه‌سازی دمای داخلی ساختمان بوده است.

همچنین، نمودارهای ارائه شده در شکل 4 نشان می‌دهند که مصرف سوخت سیستم سرمایشی نیز در وضعیت پس

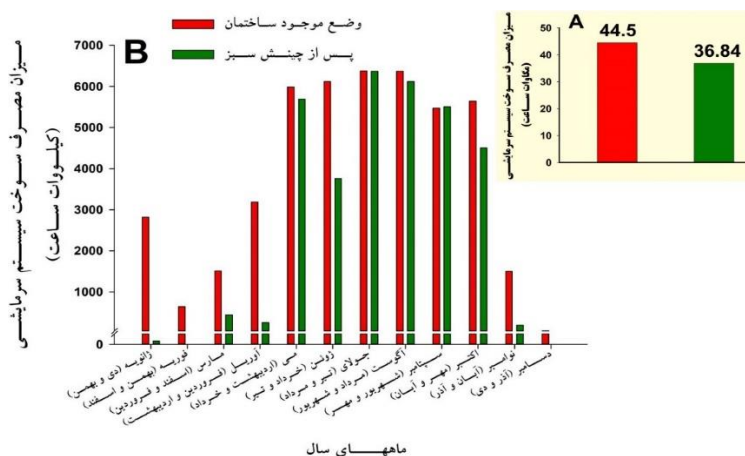
از اعمال طراحی بایوفیلیک به میزان محسوسی کاهش یافته است. با در نظر گرفتن داده‌های سالانه و ماهانه مصرف برق سیستم سرمایشی (شکل 4)، مشخص شده است که در وضعیت موجود، بیشترین میزان مصرف برق برای سیستم سرمایشی در این طبقه از ساختمان طی ماه‌های ژوئن تا پایان آگوست (11 خرداد تا 9 شهریور) بوده و اوج مصرف آن در ماه آگوست، برابر با 6745.93 کیلووات ساعت بوده است. اما پس از اجرای پوشش گیاهی (عناصر بایوفیلیک) در جلوی بازشوهای نمای ساختمان، بیشترین میزان مصرف برق برای سرمایش در ماه‌های جولای تا پایان آگوست (10 تیر تا 9 شهریور) رخ داده و اوج مصرف آن در ماه جولای (10 تیر تا 9 مرداد) به 6378.07 کیلووات ساعت کاهش یافته است. این میزان کاهش برابر با 367.86 کیلووات ساعت یا 5.7 درصد نسبت به وضعیت موجود است. در نتیجه، این اقدام منجر به کاهش نیاز به استفاده از سیستم‌های سرمایشی در فصل گرم سال در واحدهای این طبقه از ساختمان آراین 10 شده است.

این مطالعه در ادامه به ارزیابی و مقایسه تأثیر استفاده از برخی عناصر معماری بایوفیلیک، همچون پوشش گیاهی، مصالح و عایق‌های طبیعی، در نما و دیواره خارجی ساختمان مسکونی آراین 10 بنا شده است، پرداخته است. از این رو تلاش شده است پاسخی برای این پرسش ارائه شود که با توجه به ناشناخته ماندن برخی جنبه‌های این مسأله، استفاده از عناصر معماری بایوفیلیک چگونه بر متغیرهایی نظیر کاهش مصرف انرژی و آسایش حرارتی در فضای سکونتگاهی تأثیر می‌گذارد؟ با توجه به نتایج و خروجی‌های این پژوهش و در نظر گرفتن داده‌های ماهانه و سالانه مصرف انرژی برق (شکل 5)، میزان مصرف در وضعیت موجود طبقه چهارم ساختمان مسکونی آراین با سه سناریوی مختلف مقایسه شده است. این سناریوها شامل: (1) چینه سبز در جلوی بازشوهای نمای خارجی ساختمان، (2) چینه سبز همراه با استفاده از عایق Bio-PCM (مواد تغییر فاز دهنده) و (3) چینه سبز همراه با عایق‌های بلوک بتن همکریت و سبوس برنج در دیواره خارجی نما هستند. جزئیات این مقایسه در ادامه ارائه شده است.



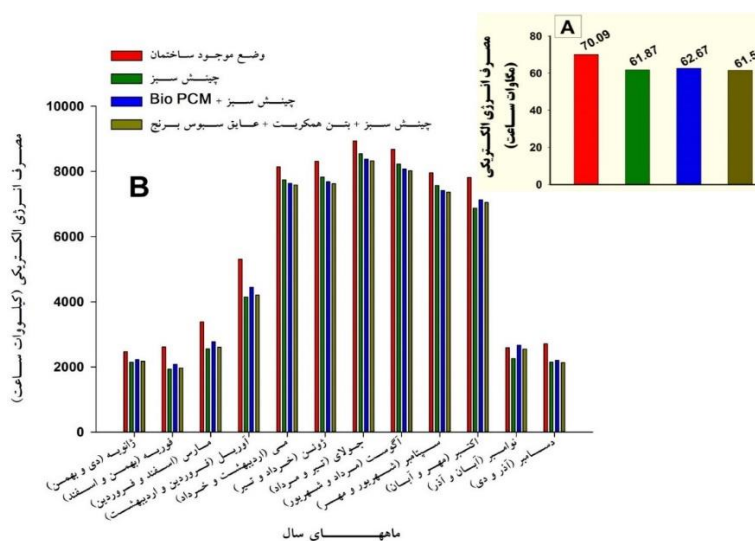
شکل 3- میزان مصرف انرژی الکتریکی سالانه (A) و ماهانه (B) مقایسه وضع موجود و پس از چینه‌بندی سبز

Fig. 3 - Annual (A) and monthly (B) electricity consumption comparison between the current state and after greening



شکل 4- میزان مصرف سوخت سیستم سرمایشی وضع موجود و پس از چینه‌بندی سبز بصورت سالانه (A) و ماهانه (B)

Fig. 4 - Fuel consumption of the cooling system in the current situation and after the greening on an annual (A) and monthly (B) basis

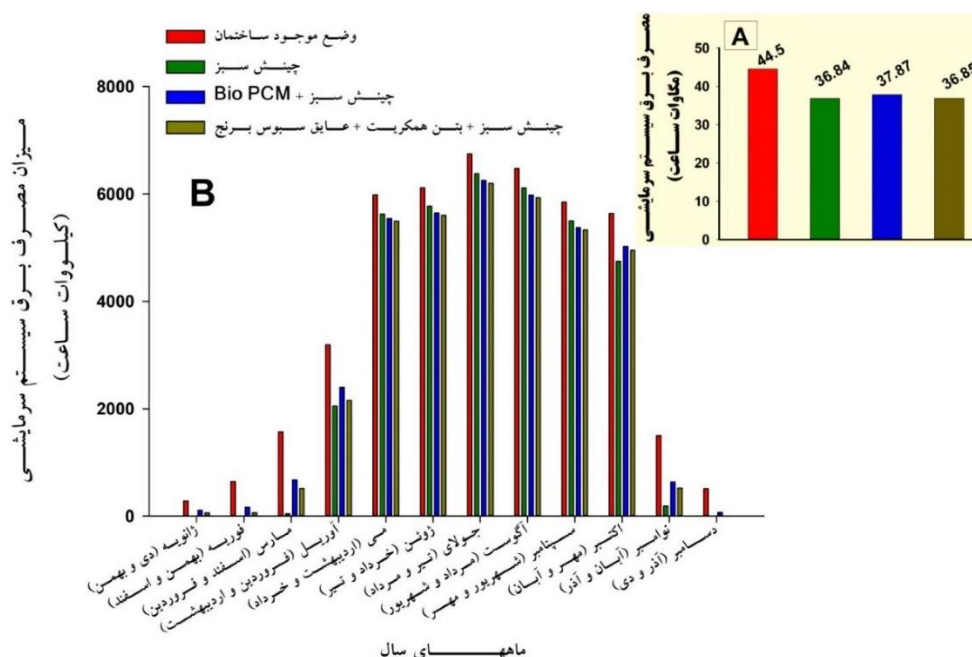


شکل 5- میزان مصرف انرژی الکتریکی در 4 مرحله مورد ارزیابی واقع شده بصورت سالانه (A) و ماهانه (B)

Fig. 5 - Electrical energy consumption in the 4 assessed stages on an annual (A) and monthly (B) basis

موجود این طبقه از ساختمان آرين 10 بوده است. با در نظر گرفتن مجموع داده‌های سالانه و ماهانه مربوط به مصرف برق، مشخص شده است که در وضعیت موجود، بیشترین میزان مصرف برق برای سیستم سرمایش (شکل 6) این طبقه در ماه‌های ژوئن تا پایان آگوست (11 خرداد تا 9 شهریور) بوده و اوج مصرف آن در ماه آگوست، برابر با 6745.93 کیلووات ساعت است. اما پس از اجرای پوشش گیاهی در جلوی بازشوهای این طبقه، بیشترین مقدار مصرف برق برای سیستم سرمایش در ماه‌های جولای تا پایان آگوست (10 تیر تا 9 شهریور) رخ داده و اوج مصرف آن در ماه جولای، به 6378.08 کیلووات ساعت کاهش یافته است. این میزان کاهش 376.86 کیلووات ساعت بود که معادل 5.7 درصد کاهش نسبت به وضعیت موجود است. پس از اجرای پوشش گیاهی در جلوی بازشوهای این طبقه و استفاده از عایق مواد تغییرفازدهنده (Bio-PCM)، بیشترین میزان مصرف برق برای سرمایش همچنان در ماه‌های جولای تا پایان آگوست (10 تیر تا 9 شهریور) رخ داده و اوج مصرف آن در ماه جولای به 6251.49 کیلووات ساعت کاهش یافته است. این مقدار کاهش، برابر با 495.44 کیلووات ساعت، معادل 7.3 درصد نسبت به وضعیت موجود بوده است.

در مرحله اول، بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی در ماه جولای (10 تیر تا 9 مرداد) در وضعیت موجود این طبقه از ساختمان 8939.75 کیلووات ساعت بوده است. پس از به کارگیری عناصر معماری بایوفیلیک (درختچه و بوته‌ها) در جلوی بازشوهای نمای ساختمان آرين 10، بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی در همان ماه به 8523.63 کیلووات ساعت کاهش یافته است. در این حالت، میزان مصرف انرژی الکتریکی 416.12 کیلووات ساعت کاهش یافته که معادل 4.6 درصد کاهش نسبت به وضعیت موجود ساختمان است. در مرحله دوم، با استفاده از عایق Bio-PCM بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی در ماه جولای (10 تیر تا 9 مرداد) 8376.79 کیلووات ساعت بوده که در این حالت نیز 562.92 کیلووات ساعت کاهش مصرف داشته است. این مقدار معادل 6.2 درصد کاهش نسبت به وضعیت موجود این طبقه است. در مرحله سوم، که شامل چینش سبز به همراه استفاده از بتن همکریست و عایق سبوس برنج است، بیشترین میزان مصرف انرژی الکتریکی در ماه جولای 8323.36 کیلووات ساعت ثبت شده است. در این حالت، میزان کاهش مصرف انرژی الکتریکی 616.39 کیلووات ساعت، معادل 6.8 درصد نسبت به وضعیت



شکل 6- میزان مصرف برق سیستم سرمایشی در 4 حالت مورد ارزیابی واقع شده بصورت سالانه (A) و ماهیانه (B)
Fig. 6 - Electricity consumption of the cooling system in the 4 assessed conditions on an annual (A) and monthly (B) basis

در حالت سوم، اجرای چینش سبز در جلوی بازشوهای این طبقه همراه با به‌کارگیری عایق بتن همکریت و سبوس برنج، بر اساس داده‌های سالانه و ماهانه مصرف سوخت، بیشترین میزان مصرف برق برای سرمایش در ماه جولای (10 تیر تا 9 مرداد) را به 6203.62 کیلووات‌ساعت کاهش داده است. در این حالت، میزان کاهش مصرف برق 543.3 کیلووات ساعت، معادل 8 درصد نسبت به وضعیت موجود بوده است. در مبحث آسایش در حوزه انرژی ساختمان، منظور احساس رضایت و راحتی ساکنان از شرایط محیطی، از جمله دما، رطوبت، کیفیت هوا و روشنایی است. در واقع، آسایش به معنای فراهم کردن شرایطی است که در آن ساکنان بتوانند به‌طور مؤثر و کارآمد فعالیت‌های روزمره خود را انجام داده و از محیط اطراف خود بهره‌مند شوند. در این پژوهش، سه حالت پیشتر بررسی شده با وضعیت موجود این طبقه از ساختمان مقایسه شده است. نتایج حاصل از اعمال برخی عناصر معماری بایوفیلیک نشان می‌دهد که این تغییرات در هر سه مرحله باعث کاهش مقادیر دمای هوای داخل ساختمان، دمای تابشی و دمای عملکردی میانگین سالانه شده است. باین‌حال، میانگین سالانه رطوبت نسبی در مقایسه با وضعیت موجود، افزایش مختصری داشته است.

نتایج این پژوهش با مطالعات بین‌المللی و داخلی در زمینه تأثیر معماری بایوفیلیک بر مصرف انرژی مطابقت دارد. برای مثال؛ مطالعه‌ای که توسط Nitu و همکاران (2022) انجام شده است، نشان داد که طراحی بایوفیلیک در بازسازی ساختمان‌های مسکونی موجب کاهش مصرف انرژی، افزایش نور طبیعی و بهبود آسایش حرارتی می‌شود، که این نتایج مشابه یافته‌های پژوهش حاضر است. همچنین، Manfren و همکاران (2020) در مطالعه خود اشاره کردند که به‌کارگیری فناوری‌های نوین همراه با طراحی بایوفیلیک می‌تواند مصرف انرژی را کاهش داده و در عین حال کیفیت محیط داخلی را حفظ کند. در مطالعات داخلی، تحقیق محمدی و وثیق (1398) نشان داد که استفاده از دیوارهای سبز در اقلیم گرم‌وخشک کرمان باعث کاهش دمای داخلی ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی شده است. یافته‌های پژوهش

حاضر نیز این موضوع را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در نما باعث کاهش دمای عملکردی داخل ساختمان و بهبود آسایش حرارتی شده است.

جدول 3 نشان می‌دهد که طراحی بایوفیلیک موجب بهبود شاخص‌های آسایش حرارتی در داخل ساختمان شده است. کاهش دمای داخلی و افزایش رطوبت نسبی در سناریوهای طراحی بایوفیلیک نشان می‌دهد که این راهکارها تأثیر مثبتی بر آسایش ساکنان دارند. نتایج این مطالعه مشابه یافته‌های Africa و همکاران (2019) است که تأکید دارند معماری بایوفیلیک نه تنها سبب کاهش مصرف انرژی می‌شود، بلکه بر بهبود سلامت فیزیکی و روانی افراد نیز تأثیر مثبت دارد.

بر اساس داده‌های جدول 4 هزینه‌های سالانه انرژی در حالتی که از طراحی بایوفیلیک استفاده شده، کاهش یافته است. همچنین، افزایش نسبی هزینه‌های ساخت نمای بایوفیلیک در مقایسه با نمای معمولی، در مقایسه با میزان صرفه‌جویی انرژی و کاهش هزینه‌های سالانه توجیه اقتصادی دارد. مطالعه Pertile و همکاران (2021) نشان داد که ادغام عناصر بایوفیلیک با فناوری‌های نوین ساخت، علاوه بر بهبود عملکرد حرارتی، در بلندمدت موجب کاهش هزینه‌های انرژی می‌شود. این نتایج با یافته‌های پژوهش حاضر که نشان می‌دهد استفاده از Bio PCM و بتن همگن در نمای ساختمان موجب کاهش قابل‌توجهی در هزینه‌های مصرف انرژی سالانه شده، همسو است.

نتایج مقایسه وضع موجود ساختمان با سه سناریوی پیشنهادی نشان می‌دهد که در حالت استفاده از چینش سبز در نمای ساختمان، میزان مصرف کل انرژی به مقدار 2.3948 مگاوات‌ساعت کاهش یافته و هزینه سالانه‌ی انرژی نیز به میزان 405 دلار و 15 سنت کاهش داشته است. در حالت ترکیب چینش سبز و عایق Bio PCM، میزان مصرف کل انرژی به مقدار 220.79453 مگاوات‌ساعت کاهش یافته و هزینه سالانه‌ی انرژی نیز 547 دلار و 42 سنت کمتر شده است. در حالت استفاده از بتن همکریت و سبوس برنج، میزان مصرف کل انرژی به مقدار 20.6858 مگاوات ساعت کاهش داشته و هزینه سالانه انرژی نیز به میزان 572 دلار و 87 سنت کاهش یافته است.

جدول 3- بررسی میزان آسایش حرارتی 4 حالت مورد بررسی

Tab. 3 - Evaluation of thermal comfort in the 4 conditions under consideration

ردیف	عنوان	دمای داخل (درجه سانتی گراد)	دمای تابشی (درجه سانتی گراد)	دمای عملکردی (درجه سانتی گراد)	رطوبت نسبی (درصد)
1	وضع موجود ساختمان	23.57	23.91	23.74	27.42
2	چینش سبز نما	23.06	23.27	23.17	28.11
3	چینش سبز + BioPCM	23.36	23.63	23.50	27.67
4	چینش سبز + بتن همکری و عایق سبوس برنج	23.28	23.54	23.41	27.80

جدول 4- بررسی میزان هزینه ساخت جداره خارجی، مصرف کل انرژی و هزینه سالانه انرژی

Tab. 4 - Evaluation of the cost of constructing the external facade, total energy consumption, and annual energy cost

میانگین سالانه				
ردیف	عنوان	میزان هزینه ساخت جداره خارجی (دلار)	میزان مصرف کل انرژی (کیلو وات ساعت)	هزینه سالیانه انرژی (دلار)
1	مصالح رایج	105544.58	220708.20	13754.45
2	مصالح رایج + چینش سبز نما	105944.58	216760	13349.30
3	مصالح رایج + چینش سبز + Bio PCM	130422.62	214450	13207.03
4	مصالح رایج + چینش سبز + بتن همکری و عایق سبوس برنج	120261.08	213850	13181.58

4- نتیجه گیری

از مهمترین راهبردهای پیشنهادی این پژوهش، ترویج معماری بايوفیلیک به عنوان یک استاندارد در ساخت و ساز پایدار، گسترش پوشش های گیاهی در طراحی شهری و نمای ساختمانها، و استفاده از مصالح بومی و نوین برای کاهش مصرف انرژی و اثرات زیست محیطی است. اگرچه این پژوهش نتایج و دستاوردهای علمی مفیدی را نشان داده است ولی با برخی محدودیت ها مواجه است که می توان آنها را به چند دسته کلی تقسیم کرد. نخست، محدودیت های اقلیمی و جغرافیایی، چرا که بررسی تأثیر معماری بايوفیلیک تنها در اقلیم گرم و خشک مشهد انجام شده و امکان تعمیم پذیری نتایج به سایر اقلیم های ایران مانند اقلیم سرد یا مرطوب با چالش هایی همراه است. محدودیت های نرم افزاری و شبیه سازی، زیرا استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر برای مدل سازی انرژی و آسایش حرارتی با فرضیات ساده سازی شده ای همراه است که ممکن است در برخی شرایط با واقعیت های اجرایی تفاوت داشته باشد.

نتایج این پژوهش نشان می دهد که استفاده از معماری بايوفیلیک در نمای ساختمان های مسکونی، به ویژه در اقلیم گرم و خشک، تأثیر قابل توجهی بر کاهش مصرف انرژی دارد. بر اساس تحلیل های انجام شده، بهره گیری از چینش سبز و عایق های طبیعی سبب کاهش مصرف انرژی الکتریکی برای سرمایش در فصل گرم شده است، در حالی که در فصل سرد سال، اگرچه مصرف انرژی گاز برای گرمایش کمی افزایش یافته، اما در مجموع، هزینه های سالانه انرژی کاهش داشته است. اجرای دیوارهای خارجی بايوفیلیک، علاوه بر بهینه سازی مصرف انرژی، باعث افزایش آسایش حرارتی ساکنان نیز شده است. همچنین، استفاده از مصالح نوین مانند؛ بتن همکری، عایق سبوس برنج و Bio PCM در کنار پوشش های گیاهی در نمای ساختمان، بهینه سازی بیشتری را در مصرف انرژی رقم زده است. این نتایج می توانند در طراحی ساختمان های پایدار و سازگار با محیط زیست در مناطق گرم و خشک ایران استفاده شود.



Asojo, A., & Hazazi, F. (2025). Biophilic design strategies and indoor environmental quality: A case study. *Sustainability*, 17(5), 1816. <https://doi.org/10.3390/su17051816>

Barbu, M., Darie, G., & Siroux, M. (2019). Analysis of a residential photovoltaic-thermal (PVT) system in two similar climate conditions. *Energies*, 12(19), 3595. <https://doi.org/10.3390/en12193595>

Boffi, M., Pola, L., Fumagalli, N., Fermani, E., Senes, G., & Inghilleri, P. (2021). Nature experiences of older people for active ageing: An interdisciplinary approach to the co-design of community gardens. *Frontiers in Psychology*, 12, 702525. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.702525>

Cacique, M., & Ou, S. (2022). Biophilic design as a strategy for accomplishing the idea of healthy, sustainable, and resilient environments. *Sustainability*, 14(9), 5605. <https://doi.org/10.3390/su14095605>

Esmaeili, N., Golabchi, M., & Ghobadian, V. (2020). Evaluation of customer attraction with a focus on biophilic design features: Case study of Saray-e-Moshir, Shiraz. *Armanshahr Architecture and Urban Development*, 13(30), 1–17. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/aaud.2019.189276.1925>

Gong, Y., Zoltán, E. S., & János, G. (2023). Healthy dwelling: The perspective of biophilic design in the design of the living space. *Buildings*, 13(8), 2020. <https://doi.org/10.3390/buildings13082020>

Manfren, M., Nastasi, B., & Tronchin, L. (2020). Linking design and operation phase energy performance analysis through regression-based approaches. *Frontiers in Energy Research*, 8, 557649. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.557649>

Mohammadi, S., & Vasigh, B. (2019). Evaluation of the biophilic approach in reducing energy consumption in residential houses in Kerman. *Hot and Dry Climate Architecture Journal*, 7(10), 175–197. [In Persian]. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2020.1780>

Moghaddasi, N. S., Mohammadi, M. K., Saremi, H. R., & Haghighatbin, M. (2023). The impact of biophilic architecture on the physical-environmental resilience of residential complexes: Case study of the Tehran International

محدودیت‌های اجرایی و مصالح ساختمانی، زیرا برخی از مصالح پیشنهادی مانند؛ Bio-PCM و بتن همکریت به‌طور گسترده در ایران در دسترس نیستند و هزینه‌های بالایی دارند که می‌تواند اجرای این راهکارها را در پروژه‌های واقعی با چالش روبه‌رو کند. محدودیت‌های داده‌ای، چرا که دقت داده‌های هواشناسی و متغیرهای محیطی مانند سرعت باد و رطوبت نسبی ممکن است تحت تأثیر محدودیت‌های تجهیزات اندازه‌گیری قرار گیرد. در نهایت، محدودیت‌های اجتماعی و فرهنگی نیز مطرح است، زیرا پذیرش معماری بیوفیلیک و راهکارهای پیشنهادی آن در پروژه‌های مسکونی، به میزان آگاهی و پذیرش عمومی از این مفاهیم بستگی دارد. این موارد از جمله چالش‌هایی هستند که در تحقیقات آینده می‌توان به بررسی و رفع آن‌ها پرداخت.

تقدیر و تشکر

نگارندگان این مقاله مراتب تشکر و سپاسگزاری خود را از تمامی افرادی که در انجام این پژوهش یاری رساندند به‌ویژه مدیرعامل محترم شرکت ساختمانی آرین مشهد و همچنین استادانی که در ارزیابی کیفیت پژوهش و مقاله همراهی انجام دادند، سپاسگزاری و قدردانی می‌نمایند.

پی‌نوشت

- ¹ Biophilic Design
- ² Nature in the Space
- ³ Natural Analogues
- ⁴ Nature of the Space
- ⁵ Human Nature Connectedness - HNC
- ⁶ Design Builder
- ⁷ Baseline Scenario

مراجع

Africa, J., Heerwagen, J., Loftness, V., & Ryan Balagtas, C. (2019). Biophilic design and climate change: Performance parameters for health. *Frontiers in Built Environment*, 5, 28. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2019.00028>

Al-Dmour, Y., Garaj, V., & Clements-Croome, D. (2021). The flourishing of Biophilic workplaces: 'Second Home' offices as a case study. *Intelligent Buildings International*, 13(4), 261–274. <https://doi.org/10.1080/17508975.2020.1807895>



Salehabadi, A. M., & Bahoush, M. (2017). Climate analysis of Yazd with an approach to determine climate-compatible architectural patterns. *3rd Annual International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Urban Planning*. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/636296>

Samati, P., & Behtash, M. R. F. (2021). Biophilic urban design to improve environmental quality with a perceptual approach: Comparative study of Oslo and Ramsar. *Urban Design Discourse Journal*, 2(2), 21–34. [In Persian]. <https://udd.modares.ac.ir/article-40-54580-fa.html>

Sayyadi Mahalleh, K. (2023). Effects and applications of biophilic architecture on creating a sense of place attachment in elderly home design. *7th International Conference on Civil Engineering, Architecture, and Urban Planning*. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1707901>

Shirazizadeh, A. M., & Cheshmeh, M. G. (2020). Retrieving biophilic architectural concepts in traditional Iranian house architecture. *International Conference on Civil Engineering, Architecture, Development, and Regeneration of Urban Infrastructure in Iran*. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1113827/>

Solla, M., Elmesh, A., Memon, Z. A., Ismail, L. H., Kazee, M. F. A., Latif, Q. B. a. I., Yusoff, N. I. M., Alosta, M., & Milad, A. (2022). Analysis of BIM-based digitising of Green Building Index (GBI): Assessment method. *Buildings*, 12(4), 429. <https://doi.org/10.3390/buildings12040429>

Taghipour, A. A., Dehrshid, P. A., Mashaikhi, A., & Ayami, M. (2024). Analyzing dimensions of the biophilic citizen and evaluating them in the urban society: A prelude to nature-based urban planning (Case study: Khaf city). *Human Geography Research Quarterly*, 56(128), 149–175. [In Persian]. <https://doi.org/10.22059/jhgr.2023.349515.1008547>

Tandrosaleh, N., Hojjati, V., & Movahed, K. (2023). Identifying influential components of biophilic architecture on reducing stress in housewives in residential complexes: Case study of Shiraz. *Housing and Rural Environment Quarterly*, 42(184), 75–88. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/42.184.75>

Tardast, Z., Rajabi, A., & Meshkini, A. (2020). A feasibility model of indigenous biophilic city

Tower. *Iranian Islamic City Studies Journal*, 14(53), 59–74. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/2096152/>

Mousavi, S. M., Mirzaei, R., Heidari, A., & Asadi, S. N. (2023). Investigating the biophilic approach for environmentally friendly and human health-oriented design based on a data-driven method. *Geography and Environmental Sustainability Quarterly*, 13(46), 41–54. [In Persian]. <https://doi.org/10.22126/ges.2022.8127.2563>

Nitu, M. A., Gocer, O., Wijesooriya, N., Vijapur, D., & Candido, C. (2022). A biophilic design approach for improved energy performance in retrofitting residential projects. *Sustainability*, 14(7), 3776. <https://doi.org/10.3390/su14073776>

Param, M. R. G., Bavar, S. N., & Mahmoudi, H. (2020). Evaluating the impact of biophilic architecture principles on the design quality of housing in northern Iran (Case study: Gorgan). *New Perspectives in Human Geography Quarterly*, 12(2), 405–424. [In Persian]. <https://www.sid.ir/paper/519781/fa>

Parsaee, M., Demers, C. M., Hébert, M., Lalonde, J.-F., & Potvin, A. (2019). A photobiological approach to biophilic design in extreme climates. *Building and Environment*, 154, 211–226. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.03.027>

Pertile, V., Stella, A., De Stefani, L., & Scotta, R. (2021). Seismic and energy integrated retrofitting of existing buildings with an innovative ICF-based system: Design principles and case studies. *Sustainability*, 13(16), 9363. <https://doi.org/10.3390/su13169363>

Peters, T., & D’Penna, K. (2020). Biophilic design for restorative university learning environments: A critical review of literature and design recommendations. *Sustainability*, 12(17), 7064. <https://doi.org/10.3390/su12177064>

Rostam, F. Y., Zarrabadi, Z. S. S., & Habib, F. (2023). Reading the requirements of biophilic interstitial space design in residential complexes in Tehran: Case study of phase one of Ekbatan Town. *Urban Ecology Research Journal*, 14(33), 103–120. [In Persian]. <https://doi.org/10.30473/grup.2023.68618.2800>

Sadick, A.-M., Kamardeen, I., & Vu, X. P. (2023). Challenges for implementing biophilic strategies in Australian building design. *Journal of Building Engineering*, 74, 106849. <https://doi.org/10.1016/j.jobte.2024.108464>



233–250.

<https://doi.org/10.1177/19375867221118675>

Zarei, E., & Kheiri, H. (2022). Explanation of patterns, principles, and theoretical foundations of biophilic design from the perspective of thinkers: A theoretical review. *8th Annual International Congress on Civil Engineering, Architecture, and Urban Development*. [In Persian]. <https://civilica.com/doc/1655912>

Zhong, W., Schröder, T., & Bekkering, J. (2022). Biophilic design in architecture and its contributions to health, well-being, and sustainability: A critical review. *Frontiers of Architectural Research*, 11(1), 114–141. <https://doi.org/10.1016/j.foar.2021.07.006>.

indicators: Case study of districts 9 and 10 in Tehran metropolis. *Sustainable City Quarterly*, 3(1), 123–146. [In Persian]. <https://doi.org/10.22034/jsc.2020.188787.1032>

Tardast, Z., Rajabi, A., & Meshkini, A. (2021). Presenting an indigenized biophilic city model in districts 9 and 10 of Tehran metropolis. *Urban Research and Planning Quarterly*, 12(45), 85–98. [In Persian]. <https://doi.org/10.30495/jupm.2021.3946>

Tekin, B. H., Corcoran, R., & Gutiérrez, R. U. (2023). A systematic review and conceptual framework of biophilic design parameters in clinical environments. *HERD: Health Environments Research & Design Journal*, 16(1),