معماری بیوفیلیک به‌عنوان راهبردی برای ارتقای بهره‌وری انرژی شهری: مدل‌سازی تجربی در ارومیه

مرتضی خسرونیا[1]

[1]استادیار گروه معماری، دانشکده معماری، شهرسازی و هنر، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران (m.khosronia@urmia.ac.ir).

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:1404-11-20

تاریخ بازنگری:1404-12-05

تاریخ پذیرش:1404-12-06

چکیده

شتاب شهرنشینی و افزایش مصرف انرژی، ضرورت بهره‌گیری از رویکردهای نوین طراحی شهری هم‌راستا با طبیعت را برجسته ساخته است. پژوهش حاضر با هدف بررسی نقش برنامه‌ریزی شهری زیست‌دوست در ارتقای کارایی انرژی کلان‌شهر ارومیه انجام شد. تحقیق با رویکرد کمی–تحلیلی و بر پایه داده‌های حاصل از پرسشنامه تخصصی ۳۶۰ نفر از متخصصان حوزه طراحی شهری، انرژی و محیط‌زیست صورت گرفت و روابط علّی متغیرها با مدل‌سازی معادلات ساختاری ارزیابی شد. نتایج نشان داد تمامی مسیرهای پیشنهادی معنادار هستند. ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی بیشترین اثر مستقیم را بر کارایی انرژی داشتند، پس از آن فضاهای سبز و دسترسی و ارتباط انسان با طبیعت قرار گرفتند. همچنین ابعاد روانی–اجتماعی انسان و مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی نقش میانجی مؤثری ایفا کردند. شاخص‌های برازش مدل نیز وضعیت مطلوبی را نشان دادند. یافته‌ها بیانگر آن است که طراحی شهری زیست‌دوست از طریق بهبود خرداقلیم، ارتقای کیفیت محیطی و تقویت سازوکارهای نهادی می‌تواند به‌عنوان راهبردی یکپارچه برای توسعه شهری کم‌کربن در شهرهای سرد و نیمه‌خشک مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها:

پایداری شهری، زیرساخت سبز، شهر ارومیه، طراحی شهری زیست‌دوست، کارایی انرژی

۱.مقدمه

رشد سریع شهرنشینی و توسعه کالبدی در دهه‌های اخیر، همراه با افزایش مصرف انرژی و تشدید تغییرات اقلیمی، شهرها را به یکی از مهم‌ترین کانون‌های چالش‌های زیست‌محیطی و انرژی در سطح جهانی تبدیل کرده است (Zhu et al., 2022; Zhang, 2015). بخش ساختمان و توسعه شهری سهم قابل‌توجهی از مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای دارد و پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که بدون تغییر در الگوهای توسعه، تقاضای انرژی شهری تا میانه قرن حاضر به طور چشمگیری افزایش خواهد یافت (IEA, 2023; Movahed et al., 2021; Stamenković et al., 2018). این شرایط ضرورت بازنگری در رویکردهای رایج طراحی و برنامه‌ریزی شهری و حرکت به سوی الگوهایی را برجسته می‌کند که همزمان قادر به ارتقای کارایی انرژی، کاهش اثرات زیست‌محیطی و بهبود کیفیت زندگی شهری باشند.

واژه بیوفیلیک از ریشه بیوفیلیا به معنای گرایش فطری انسان به حیات و طبیعت گرفته شده است و در ادبیات تخصصی فارسی معمولاً با معادل «زیست‌دوست» به کار می‌رود. برنامه‌ریزی و طراحی شهری زیست‌دوست، به‌عنوان رویکردی انسان‌محور و مبتنی بر گرایش فطری انسان به طبیعت، به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان راهبردی مؤثر برای ارتقای رفاه انسانی و عملکرد زیست‌محیطی محیط‌های شهری مورد توجه قرار گرفته است (Beatley & Newman, 2013; Kellert et al., 2011; Browning & Ryan, 2020). شواهد نشان می‌دهد که عناصر زیست‌دوست مانند پوشش‌های سبز، بام‌ها و دیوارهای سبز، نور و تهویه طبیعی و مصالح الهام‌گرفته از طبیعت می‌توانند مصرف انرژی را کاهش داده، آسایش حرارتی را بهبود دهند و اثر جزایر حرارتی را تعدیل کنند (Bevilacqua, 2021; Latini et al., 2024; Mihalakakou et al., 2023). با این حال، پژوهش‌های بین‌المللی عمدتاً توصیفی یا مبتنی بر شبیه‌سازی ساختمان‌ها هستند و تحلیل روابط علّی میان مؤلفه‌های زیست‌دوست و شاخص‌های کارایی انرژی در مقیاس شهری کمتر صورت گرفته است، و چارچوب‌های استاندارد جهانی مانند LEED ، BREEAM و WELL هنوز مدل‌های یکپارچه و مبتنی بر شواهد برای کلان‌شهرها ارائه نکرده‌اند (Algarni et al., 2022; Balvedi & Giglio, 2023; Santamouris et al., 2017; Li et al., 2024; Wijesooriya et al., 2021; Mihalakakou et al., 2023). در ایران نیز توجه به شهر زیست‌دوست افزایش یافته و مطالعاتی به شناسایی شاخص‌ها و توسعه الگوهای بومی پرداخته‌اند (Asadi & Khatibi, 2021; Mahdavian & Parhiz, 2024; Sarboland & Abedini, 2025)، اما اغلب این تحقیقات محدود به تحلیل توصیفی یا رتبه‌بندی معیارها هستند و بررسی ساختاری و مدل‌محور روابط علّی مؤلفه‌های زیست‌دوست با کارایی انرژی در مقیاس کلان‌شهر همچنان مغفول مانده است.

این خلأ پژوهشی در شهر ارومیه که با رشد کالبدی پراکنده، افزایش مصرف انرژی، فشار بر منابع طبیعی و آسیب‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی مواجه است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. با وجود ظرفیت‌های بالقوه فضاهای سبز شهری و پهنه‌های طبیعی پیرامونی، تاکنون پژوهشی نظام‌مند که نقش طراحی شهری زیست‌دوست را در

ارتقای کارایی انرژی این شهر با رویکرد علّی و مدل‌سازی معادلات ساختاری بررسی کند، انجام نشده است (Sarboland & Abedini, 2025). این مسئله ضرورت انجام تحقیق حاضر را به‌طور روشن برجسته می‌سازد.

پژوهش حاضر با هدف ارزیابی نقش طراحی شهری و معماری زیست‌دوست در ارتقای کارایی انرژی در کلان‌شهر ارومیه انجام می‌شود و تلاش دارد با بهره‌گیری از مدل‌سازی معادلات ساختاری، روابط میان مؤلفه‌های کلیدی شامل پوشش سبز، خرداقلیم، نور و تهویه طبیعی و شاخص‌های کارایی انرژی شهری را تبیین کند. پرسش اصلی تحقیق آن است که مؤلفه‌های طراحی شهری زیست‌دوست چگونه و تا چه میزان بر بهینه‌سازی مصرف انرژی اثرگذارند و فرض می‌شود این مؤلفه‌ها از طریق بهبود شرایط خرداقلیمی و ارتقای کیفیت محیطی، تأثیر مثبت و معناداری بر کارایی انرژی شهری دارند.

۲.پیشینه پژوهش

طراحی شهری زیست‌دوست در سال‌های اخیر به‌عنوان رویکردی نوین برای ارتقای تاب‌آوری محیطی، بهبود کیفیت زندگی شهری و افزایش کارایی انرژی مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. پژوهش‌ها در این حوزه عمدتاً بر سه محور اصلی متمرکز بوده‌اند:

(۱) مؤلفه‌های طراحی زیست‌دوست و تأثیر آن بر شرایط محیطی–اقلیمی،
(۲) نقش زیست‌دوست در ارتقای سلامت انسانی و رفاه، و
(۳) تعامل زیست‌دوست با سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری.

این دسته‌بندی مفهومی امکان تحلیل دقیق ارتباط بین مؤلفه‌های طراحی زیست‌دوست و شاخص‌های کارایی انرژی را فراهم می‌کند و چارچوبی مناسب برای مدل مفهومی پژوهش حاضر ارائه می‌دهد.

در محور اول، مطالعات مرتبط با مؤلفه‌های محیطی–اقلیمی نشان داده‌اند که عناصر طبیعی شهر، شامل پوشش گیاهی، آب، نور طبیعی و تهویه، نقش مؤثری در تعدیل خرداقلیم و کاهش نیاز به مصرف انرژی دارند. برای نمونه، نادری و همکاران (۲۰۲۳) با اندازه‌گیری دما و رطوبت در فضاهای دارای مولفه‌های زیست‌دوست، تأثیر مثبت این عناصر بر آسایش حرارتی و کاهش بار انرژی ساختمان‌ها را نشان دادند. رئیسی و همکاران (۲۰۲۵) نیز با شبیه‌سازی اقلیمی و مصاحبه با خبرگان، کاهش مصرف انرژی تا ۳۰٪ و بهبود عملکرد انرژی تا ۲۰٪ را در نمونه‌های شهری مختلف گزارش کردند. یافته‌های ملکی و همکاران (۲۰۲۱) مبین اهمیت حفاظت از فضای سبز و برنامه‌های سبزسازی در کاهش گرمایش شهری و سیلاب است. این پژوهش‌ها متغیرهای مستقل (پوشش سبز، آب، نور طبیعی، تهویه) و متغیر وابسته (کارایی انرژی شهری) را مشخص کرده و پایه تجربی محکمی برای مدل

مفهومی تحقیق حاضر فراهم می‌کنند، در حالی که پژوهش حاضر با رویکرد SEM به بررسی روابط علّی این مؤلفه‌ها در کلان‌شهر ارومیه می‌پردازد، امری که در مطالعات پیشین کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

در محور دوم، پژوهش‌های مرتبط با سلامت انسانی و رفاه نشان می‌دهند که طراحی زیست‌دوست نه‌تنها شرایط محیطی را بهبود می‌بخشد، بلکه اثرات روانی و رفتاری قابل توجهی دارد. (Yassein & Ebrahiem.,2018; Agboola et al.,2024) نشان دادند که نور طبیعی، چشم‌انداز و تجربه طبیعت موجب ارتقای سلامت روان، افزایش رفاه و تقویت پیوند انسان–طبیعت می‌شوند. بیطرف احسان و همکاران (۲۰۱۸) نیز در سطح مجتمع‌های مسکونی، بهبود کیفیت سکونت و پاسخ به نیازهای روانی ساکنان را به‌عنوان نتیجه مستقیم پیاده‌سازی اصول زیست‌دوست گزارش کردند. وجه اشتراک این پژوهش‌ها با مطالعه حاضر، تأکید بر نقش مؤلفه‌های طبیعی در بهبود کیفیت زندگی و کاهش مصرف انرژی است، اما تفاوت اصلی در این است که پژوهش حاضر اثر این مؤلفه‌ها را در مقیاس کلان‌شهر و با مدل‌سازی ساختاری بررسی می‌کند.

در محور سوم، مطالعات سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی شهری نشان می‌دهند که پیاده‌سازی طراحی زیست‌دوست نیازمند همگرایی با سیاست‌های شهری و برنامه‌ریزی انرژی است. (Littke,2016; Sadick et al.,2023) محدودیت‌های نهادی و بودجه‌ای را از مهم‌ترین موانع اجرای راهبردهای زیست‌دوست معرفی کرده‌اند، در حالی که سربلند و عابدینی (۲۰۲۵) و انیهکان و همکاران (۲۰۲۴) نشان دادند که تلفیق زیست‌دوست با حمل‌ونقل سبز و انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند کارایی انرژی شهری را بهبود دهد. این یافته‌ها وجه اشتراک مهمی با مدل پژوهش حاضر دارند، زیرا مدل مفهومی تحقیق به تعامل مؤلفه‌های محیطی–فضایی و سیاست‌گذاری شهری در ارتقای بهره‌وری انرژی توجه دارد، اما پژوهش حاضر با تأکید بر کلان‌شهر ارومیه و تحلیل SEM ، شکاف‌های تجربی و کاربردی پیشین را پر می‌کند.

به طور کلی، تحلیل ادبیات نشان می‌دهد که در حالی که مطالعات گذشته به‌طور جداگانه به مؤلفه‌های محیطی، اثرات انسانی و سیاست‌گذاری پرداخته‌اند، یکپارچگی میان این مؤلفه‌ها و تأثیرات علّی آن‌ها بر کارایی انرژی شهری هنوز کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. این شکاف پژوهشی، ضرورت انجام تحقیق حاضر را روشن می‌سازد، زیرا با مدل‌سازی ساختاری، امکان سنجش اثرات مستقیم و غیرمستقیم مؤلفه‌های طراحی زیست‌دوست بر شاخص‌های انرژی در مقیاس کلان‌شهر فراهم شده و به تصمیم‌گیری‌های شهری مبتنی بر طبیعت و انرژی کارآمد کمک می‌کند.

۳.مدل نظری

تحلیل نظری ارتباط میان طراحی شهری زیست‌دوست و کارایی انرژی مستلزم بهره‌گیری از مجموعه‌ای از رویکردهای میان‌رشته‌ای است که در تقاطع نظریه‌های شهرسازی پایدار، روان‌شناسی محیطی، اقلیم‌گرایی شهری و نظریه‌های عملکرد انرژی شکل گرفته‌اند. در ادبیات معاصر، هیچ نظریه واحدی به‌تنهایی قادر به تبیین جامع روابط پیچیده میان انسان، طبیعت، فرم شهری و مصرف انرژی نیست؛ از این‌رو، پژوهش حاضر با رویکردی تلفیقی و نقادانه، به بازخوانی و گزینش عناصر کلیدی نظریه‌های مرتبط می‌پردازد تا چارچوبی منسجم و قابل عملیاتی‌سازی برای تحلیل تجربی فراهم آورد.

نقطه عزیمت نظری این پژوهش، فرضیه زیست‌دوست است که نخستین‌بار توسط ویلسون مطرح شد و بر گرایش فطری انسان به برقراری ارتباط با طبیعت تأکید دارد (Wilson, 2017). این نظریه، مبنای شناختی و زیستی طراحی زیست‌دوست را شکل می‌دهد و توضیح می‌دهد که حضور عناصر طبیعی در محیط‌های ساخته‌شده می‌تواند پیامدهای مثبتی بر سلامت، ادراک محیطی و رفتار انسان داشته باشد. با وجود اهمیت بنیادین این نظریه، نقد اصلی وارد بر آن، ماهیت نسبتاً انتزاعی و انسان‌محور آن است؛ به‌گونه‌ای که در شکل اولیه خود، ارتباط مستقیمی با متغیرهای عینی نظیر مصرف انرژی یا عملکرد اقلیمی فضاهای شهری برقرار نمی‌کند. از این‌رو، فرضیه زیست‌دوست در پژوهش حاضر نه به‌عنوان مدل تبیینی نهایی، بلکه به‌مثابه زیربنای مفهومی برای درک اهمیت تعامل انسان–طبیعت در شهر در نظر گرفته می‌شود.

در ادامه این چارچوب، نظریه طراحی زیست‌دوست که توسط کلرت و همکاران توسعه یافته، تلاش می‌کند این گرایش فطری را به اصول و الگوهای قابل‌کاربرد در معماری و شهرسازی ترجمه کند (Kellert et al., 2011; Browning & Ryan, 2020). این نظریه با معرفی الگوهایی نظیر حضور مستقیم طبیعت، تجربه غیرمستقیم طبیعت و شرایط فضایی الهام‌گرفته از سیستم‌های طبیعی، گامی مهم در جهت عملیاتی‌سازی مفهوم زیست‌دوست برداشته است. با این حال، نقد اساسی به این رویکرد آن است که تمرکز غالب آن بر پیامدهای روان‌شناختی و کیفی محیطی بوده و تأثیرات انرژی‌محور آن، اغلب به‌صورت ضمنی یا ثانویه مورد توجه قرار گرفته است. پژوهش حاضر با بازتفسیر این الگوها، آن‌ها را به‌عنوان متغیرهای پنهان قابل اندازه‌گیری در ارتباط با کارایی انرژی شهری بازتعریف می‌کند.

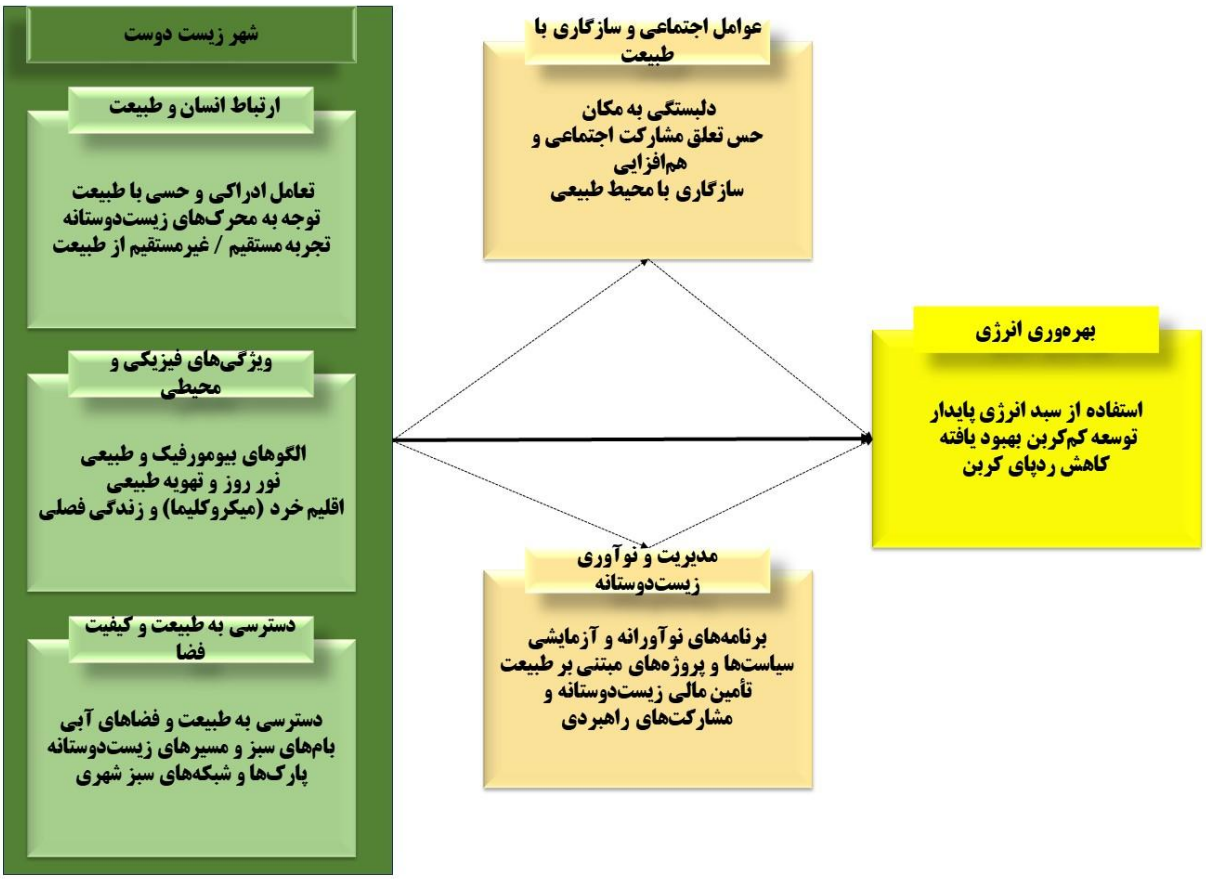
از منظر شهرسازی و مقیاس کلان، نظریه شهر پایدار و توسعه کم‌کربن چارچوبی فراهم می‌آورد که در آن، کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی عملکرد زیست‌محیطی شهرها به‌عنوان اهداف محوری مطرح می‌شوند (Beatley & Newman, 2013; Zhu et al., 2022). این نظریه‌ها بر نقش فرم شهری، تراکم، کاربری زمین و زیرساخت‌های سبز در کاهش تقاضای انرژی تأکید دارند. با وجود این، رویکردهای کلاسیک پایداری شهری غالباً به شاخص‌های

کالبدی و عملکردی پرداخته و بعد تجربی–ادراکی تعامل انسان با فضا را کمتر وارد مدل‌های تحلیلی خود کرده‌اند. از این منظر، طراحی شهری زیست‌دوست می‌تواند به‌عنوان حلقه واسطی میان پایداری کالبدی و کیفیت تجربه انسانی عمل کند؛ حلقه‌ای که در بسیاری از مدل‌های پایداری شهری مغفول مانده است.

در سطح عملکردی، نظریه‌های اقلیم‌گرایی شهری و طراحی پاسخ‌گو به اقلیم، پیوند مستقیمی میان عناصر طبیعی، فرم کالبدی و مصرف انرژی برقرار می‌کنند. این نظریه‌ها نشان می‌دهند که مولفه‌هایی نظیر پوشش گیاهی، سایه‌اندازی، تهویه طبیعی و دسترسی به نور روز، از طریق تعدیل خرداقلیم شهری و بهبود آسایش حرارتی، می‌توانند به کاهش نیاز به انرژی‌های فسیلی منجر شوند (Santamouris et al., 2017; Bevilacqua, 2021). نقطه قوت این رویکردها، قابلیت اندازه‌گیری و ارتباط مستقیم آن‌ها با شاخص‌های انرژی است؛ اما محدودیت آن‌ها در نگاه تک‌بعدی و تمرکز بر عناصر منفرد طراحی نهفته است. پژوهش حاضر با تلفیق این دیدگاه با رویکرد زیست‌دوست، تلاش می‌کند تأثیر هم‌زمان و شبکه‌ای این مولفه‌ها را در قالب یک ساختار علّی تحلیل کند.

برآیند نقد و تلفیق نظریه‌های فوق نشان می‌دهد که برای تبیین رابطه طراحی شهری زیست‌دوست و کارایی انرژی، لازم است مدلی نظری اتخاذ شود که سه سطح مکمل را به‌صورت یکپارچه دربر گیرد: نخست، سطح ادراکی–انسان‌محور که ریشه در نظریه زیست‌دوست دارد؛ دوم، سطح کالبدی–فضایی که از اصول طراحی زیست‌دوست و شهرسازی پایدار استخراج می‌شود؛ و سوم، سطح عملکردی–انرژی که مبتنی بر نظریه‌های اقلیم‌گرایی و عملکرد انرژی شهری است. در این چارچوب، طراحی شهری زیست‌دوست به‌عنوان سازه‌ای چندبعدی در نظر گرفته می‌شود که از طریق بهبود کیفیت محیطی و آسایش حرارتی، به‌طور مستقیم و غیرمستقیم بر کارایی انرژی شهری اثر می‌گذارد.

بر این اساس، مدل نظری پژوهش حاضر بر این فرض استوار است که مولفه‌های طراحی شهری زیست‌دوست نه‌تنها به‌صورت مستقیم، بلکه از طریق متغیرهای میانجی نظیر بهبود خرداقلیم و ارتقای آسایش حرارتی، قادر به تبیین تغییرات در کارایی انرژی شهری هستند. این مدل نظری، زمینه لازم برای تدوین مدل مفهومی و آزمون تجربی روابط علّی میان متغیرهای پنهان را از طریق مدل‌سازی معادلات ساختاری فراهم می‌آورد و به‌طور مستقیم در راستای تحقق اهداف پژوهش عملیاتی می‌شود.



شکل ۱- مدل مفهومی پژوهش

۴.روش تحقیق

پژوهش حاضر از منظر فلسفه علمی بر مبنای رئالیسم منتقد قرار دارد که فرض می‌کند واقعیت اجتماعی و محیطی، مستقل از مشاهده‌کننده وجود دارد، اما شناخت آن تنها از طریق تعامل بین مشاهده‌کننده و محیط ممکن است. این رویکرد فلسفی امکان تحلیل روابط علی میان طراحی شهری زیست‌دوست و کارایی انرژی را فراهم می‌آورد و در عین حال به تاثیر متغیرهای میانجی مانند ابعاد روانی و اجتماعی انسان و مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی توجه دارد. از منظر رویکرد پژوهشی، تحقیق از نوع کمی و تحلیلی است و بر داده‌های عددی و مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) برای آزمون روابط علی بین متغیرها متمرکز شده است. در سطح استراتژی، پژوهش به‌صورت توصیفی-تحلیلی و همزمان همبستگی و علی به کار گرفته شده است تا علاوه بر شناسایی مولفه‌ها و شاخص‌های طراحی شهری زیست‌دوست، شدت اثرگذاری آن‌ها بر کارایی انرژی شهری نیز ارزیابی شود. در لایه انتخاب روش‌ها، پژوهش حاضر در زمره مطالعات تک‌روشی کمی قرار می‌گیرد و داده‌های آن از نوع دسته اول بوده که از طریق پرسشنامه تخصصی گردآوری شده‌اند. بازه زمانی پژوهش از بهار ۱۴۰۳ تا پایان ۱۴۰۳ است.

جدول ۱- لایه‌های پژوهش بر اساس پیاز ساندرز

لایه پیاز	محتوا / جزئیات	توضیح مرتبط با پژوهش حاضر
فلسفه پژوهش	رئالیسم منتقد	فرض بر وجود واقعیت عینی اجتماعی و محیطی، و امکان شناخت آن از طریق تعامل انسان با محیط. امکان تحلیل روابط علّی و نقش متغیرهای میانجی.
رویکرد پژوهش	قیاسی، کمی	فرضیه‌ها بر اساس مدل مفهومی استخراج شده از پیشینه تدوین و با داده‌های عددی آزمون شد؛ تحلیل همبستگی و SEM برای سنجش روابط علّی.
راهبرد پژوهش	توصیفی–تحلیلی، همبستگی و علی	شناسایی مولفه‌ها و شاخص‌های طراحی شهری زیست‌دوست و ارزیابی شدت اثرگذاری آن‌ها بر کارایی انرژی.
انتخاب روش‌ها	تک‌روشی کمی	داده‌های دسته اول از پرسشنامه تخصصی جمع‌آوری شد؛ جامعه آماری شامل متخصصان و کارشناسان شهری مرتبط با طراحی زیست‌دوست و انرژی در ارومیه. نمونه‌گیری گلوله‌برفی (N=360) .
افق زمانی	مقطعی	داده‌های میدانی و آماری از اردیبهشت ۱۴۰۳ تا پایان ۱۴۰۳ جمع‌آوری شد.
تکنیک‌ها و رویه‌ها	پرسشنامه لیکرت، تحلیل عامل تأییدی، SEM	پرسشنامه تخصصی شامل شاخص‌های مستقل، میانجی و وابسته؛ پایایی با آلفای کرونباخ 0.7<؛ تحلیل داده‌ها با SPSS وAMOS ؛ بررسی نرمال بودن داده‌ها پیش از SEM .

جامعه آماری پژوهش شامل متخصصین دانشگاهی، پژوهشگران حوزه شهر زیست‌دوست و انرژی، کارشناسان ادارات راه و شهرسازی، شهرداری ارومیه، اداره محیط زیست و اداره نیرو ارومیه است. حجم نمونه پرسشنامه با استفاده از نرم افزار قدرتمند G-power، ۳۶۰ نفر تعیین شد و روش نمونه‌گیری به شیوه گلوله‌برفی انجام گرفت، زیرا تعداد متخصصان حوزه طراحی شهری زیست‌دوست محدود بوده و دسترسی مستقیم به تمامی افراد جامعه امکان‌پذیر نبود. این روش همچنین امکان دستیابی به افراد واجد شرایط و مطلع از مسائل تخصصی حوزه طراحی زیست‌دوست و کارایی انرژی را افزایش می‌دهد و تضمین می‌کند نمونه شامل افراد با تجربه و دانش کاربردی کافی باشد. ویژگی‌های جمعیت نمونه شامل تحصیلات مرتبط با معماری، طراحی شهری، محیط زیست، انرژی و برنامه‌ریزی شهری، تجربه کاری در پروژه‌های شهری و سابقه مشارکت در پروژه‌های پژوهشی مرتبط است.

ابزار گردآوری داده‌ها در پژوهش حاضر پرسشنامه تخصصی طراحی شده است. پرسشنامه شامل سوالات بسته در قالب مقیاس لیکرت پنج درجه‌ای طراحی شد و شاخص‌های آن مستقیماً از جدول متغیرها، معیارها و شاخص‌ها استخراج گردید. پرسشنامه به‌گونه‌ای طراحی شده است که تمامی مولفه‌های طراحی شهری زیست‌دوست (ارتباط انسان با طبیعت، ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی، فضاهای سبز و دسترسی)، متغیرهای میانجی (ابعاد روانی و اجتماعی انسان، مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی) و متغیر وابسته (کارایی انرژی) را پوشش دهد. داده‌های پرسشنامه به صورت حضوری جمع‌آوری شد و با هماهنگی سازمان‌ها و افراد متخصص توزیع گردید.

juep.net

جدول ۲- معرفی متغیرها و شاخص‌های پژوهش

نوع متغیر	متغیر	معیار	آلفای کرونباخ	تعریف عملیاتی معیار	شاخص‌ها
مستقل	طراحی شهری زیست‌دوست	ارتباط انسان با طبیعت	۰/۸۵۹	میزان توجه و ادراک انسان به عناصر طبیعی و تعامل حسی و روانی با طبیعت در محیط طراحی‌شده	توجه به عناصر زیست‌دوست، توجه به عناصر زیست‌دوست مشوق عملکرد و سلامت، توجه به عناصر زیست‌دوست در جلوگیری از اثرات نامطلوب محیطی، توجه به محرک‌های حسی طبیعی، توجه به بسترهای تاثیرگذار در تجربه مستقیم طبیعت، توجه به بسترهای تاثیرگذار در تجربه غیرمستقیم طبیعت، تجربه «اصیل» از طبیعت، توجه به تجربه فضا و مکان، توجه به ارتباط بصری و غیربصری با طبیعت
مستقل		ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی	۰/۸۱۶	میزان در نظر گرفتن الگوها، ریزاقلیم، بافت، رنگ، نور و عناصر طبیعی در طراحی برای ارتقای تجربه انسان-طبیعت	توجه به جریان هوا و تغییرات حرارتی، توجه به اشکال و الگوهای بیومورفیک، توجه به عناصر طبیعت ناشناخته، توجه به عنصر آتش، توجه به بافت/تصاویر/رنگ طبیعی، توجه به محیط‌های مرتبط و یکپارچه، توجه به تقویت طیف گسترده‌ای از ارزش‌های طبیعت، توجه به نور، میزان توجه به پناهگاه، میزان توجه به استفاده از حیوانات
مستقل		دسترسی و کیفیت فضاهای طبیعی	۰/۸۴۳	میزان دسترسی و کیفیت فضاهای سبز، داخلی و خارجی، بام‌های سبز و مسیرهای عبوری در طراحی شهری	توجه به قابلیت دسترسی به فضاهای زیست‌دوست، توجه به بام‌باغ/بام سبز/باغ معلق/دهلیز سبز، توجه به مجموعه فضاها و مناظر داخلی، خارجی و انتقالی، توجه به شبکه‌های اکولوژیک/گونه‌های بومی، توجه به پارک‌ها و فضای سبز، توجه به طبیعت بکر و نیمه‌بکر، توجه به پوشش گیاهی/جنگلی، توجه به نماهای سبز شهری، توجه به مسیرهای پیاده راه/متحرک، توجه به وجود آب، توجه به مواد طبیعی، توجه به چشم‌انداز و مناظر، توجه به فضاهای انتقالی زیست‌دوست محور، توجه به باغ‌های عمومی و پارک‌ها
میانجی		دلبستگی، تعامل اجتماعی و سازگاری با طبیعت	۰/۷۶۹	میزان وابستگی روانی، احساس تعلق، مشارکت اجتماعی و توانایی سازگاری انسان با محیط طبیعی	وابستگی عاطفی به سازه‌ها، مناظر و مکان‌ها، احساس عضویت در جامعه، تمایل به مشارکت در کشاندن طبیعت به درون شهر، توجه به تقویت رابطه انسان با سیستم‌های طبیعی، توجه به فعالیت‌های باغداری و ترمیم طبیعت، آموزش و اطلاعات محیط زیستی، توجه به روح تعلق/مکان دلبستگی، توجه به هم‌افزایی اجتماعی، میزان سازگاری انسان با طبیعت

juep.net

میانجی	مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی	برنامه‌ریزی، سیاست‌ها و پروژه‌های خلاق	۰/۸۳۷	میزان وجود برنامه‌های راهبردی، بودجه، پروژه‌های نوآورانه و استفاده از الگوهای طراحی مبتنی بر طبیعت	توجه به پروژه‌های آزمایشی و خلاق زیست‌دوستی، توجه به وجود برنامه‌های راهبردی زیست‌دوستی، سازمان‌های زیست‌دوستی یا حامی طبیعت، بودجه برای فعالیت‌های زیست‌دوستی، تعداد پروژه‌های آزمایشی و ابتکاری زیست‌دوستی، توجه به پروژه‌های استفاده شده از الگوهای بیومیمیکری، توجه به الگوی طراحی با معیار پیچیدگی و نظم، توجه به الگوی طراحی با معیار رمز و راز
وابسته	کارایی انرژی	انرژی، مصرف و توسعه پایدار	۰/۷۹۹	میزان توجه و بهره‌گیری از روش‌های پایدار در طراحی محیطی و کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی	توجه و استفاده از انرژی‌های ترکیبی، توجه به بهبود مصرف/بازیافت، توجه به توسعه اقتصاد پایدار، پروژه‌های کاهش رد پای کربن (رد پای کم کربن)

برای اطمینان از روایی و پایایی ابزارها، پرسشنامه پیش‌آزمون شد و تحلیل عامل تاییدی (Confirmatory Factor Analysis) برای سنجش ساختار عاملی شاخص‌ها استفاده شد تا اطمینان حاصل شود که سوالات هر معیار واقعاً ابعاد مرتبط با آن را اندازه‌گیری می‌کنند. باتوجه به نتایج تحلیل عامل تاییدی، تمامی آماره‌ها در سطح مطلوب است که نشان از برازش مطلوب دارد.

جدول ۳- شاخص‌های برازندگی مدل

	P	CMIN/DF	GFI	CFI	RMSEA	NFI	TLI	SRMR
آماره	۰/۴۳۹	۱/۲۷	۰/۹۶۸	۰/۹۹۴	۰/۰۱۷	۰/۹۷۸	۰/۹۶۷	۰/۰۰۹

علاوه بر آن، ضریب آلفای کرونباخ برای سنجش پایایی درونی هر مقیاس محاسبه شد و تمامی مقیاس‌ها ضریب بالاتر از ۰/۷ را داشتند که نشان‌دهنده همگنی کافی سؤالات و قابلیت تکرار نتایج است. روایی صوری و محتوا نیز توسط متخصصین حوزه طراحی شهری و محیط زیست تأیید شد تا اطمینان حاصل شود تمامی مولفه‌های نظری مدل مفهومی پوشش داده شده‌اند.

روش تجزیه و تحلیل داده‌ها شامل دو بخش اصلی است: نخست تحلیل آماری توصیفی برای بررسی توزیع، میانگین و پراکندگی شاخص‌ها و دوم تحلیل همبستگی و مدل‌سازی معادلات ساختاری (SEM) برای آزمون روابط علّی بین متغیرهای مستقل، میانجی و وابسته. آزمون نرمال بودن داده‌ها (کولموگروف–اسمیرنوف و شاپیرو–ویلک) پیش از تحلیل انجام شد و طبق نتایج جدول شماره ۴ نمونه‌های پژوهش دارای توزیع نرمال بوده. مدل SEM این امکان را فراهم می‌کند که تأثیر مستقیم و غیرمستقیم متغیرهای طراحی شهری زیست‌دوست بر کارایی انرژی و

نقش میانجی متغیرهای روانی-اجتماعی و مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی به‌طور دقیق مورد ارزیابی قرار گیرد. علاوه بر آن، شدت اثرگذاری هر شاخص در چارچوب مدل مفهومی و توان تفکیک متغیرها در تعیین اولویت‌های اجرایی طراحی شهری زیست‌دوست مشخص می‌شود.

جدول شماره ۴- ارزیابی توزیع داده‌های پژوهش

آزمون	آماره	درجه آزادی	سطح معناداری	تفسیر
کولموگروف–اسمیرنوف	۰/۰۹۸	۳۵۵	۰/۴۲۸	چون Sig > ۰.۰۵ است، فرض نرمال بودن داده‌ها رد نمی‌شود.
شاپیرو–ویلک	۰/۷۶۴	۳۵۵	۰/۶۴۴	چون Sig > ۰.۰۵ است، فرض نرمال بودن داده‌ها رد نمی‌شود.

برای تحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای SPSS و AMOS استفاده شد. SPSS برای تحلیل توصیفی، آزمون‌های همبستگی، بررسی نرمال بودن داده‌ها و محاسبه ضریب آلفای کرونباخ کاربرد داشت. AMOS به منظور تحلیل مدل‌سازی معادلات ساختاری و اجرای تحلیل عامل تاییدی مورد استفاده قرار گرفت. انتخاب این نرم‌افزارها به دلیل قابلیت مدل‌سازی روابط پیچیده چندمتغیره، ارائه شاخص‌های برازش مدل و امکان ارزیابی مسیرهای مستقیم و غیرمستقیم متغیرها انجام شد.

۱.۴.محدوده مورد مطالعه

ارومیه، با نام سابق رضاییه، مرکز استان آذربایجان غربی و شهرستان ارومیه در شمال غرب ایران، طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ دارای جمعیتی بالغ بر ۷۳۶،۲۲۴ نفر است و دهمین شهر پرجمعیت ایران و دومین شهر پرجمعیت منطقه شمال‌غرب کشور به‌شمار می‌آید. این شهر در ارتفاع ۱۳۳۲ متری از سطح دریا، در غرب دریاچه ارومیه و در دامنه کوه سیر و میان دشت ارومیه واقع شده است، که این موقعیت جغرافیایی باعث شکل‌گیری شرایط اقلیمی نیمه‌مرطوب با تابش خورشیدی قابل توجه و اختلاف دمایی بین فصول می‌شود. تابستان‌های ارومیه عمدتاً خنک و دلپذیر است، هرچند گاه دما به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد نیز رسیده و زمستان‌ها دارای سرمای شدید با دماهای منفی ۱۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارش بلندمدت در این شهر حدود ۲۳۸ میلی‌متر بوده و میانگین سرعت باد ۵/۱۰ متر بر ثانیه است (Tarh-o-Kavosh, 2019).

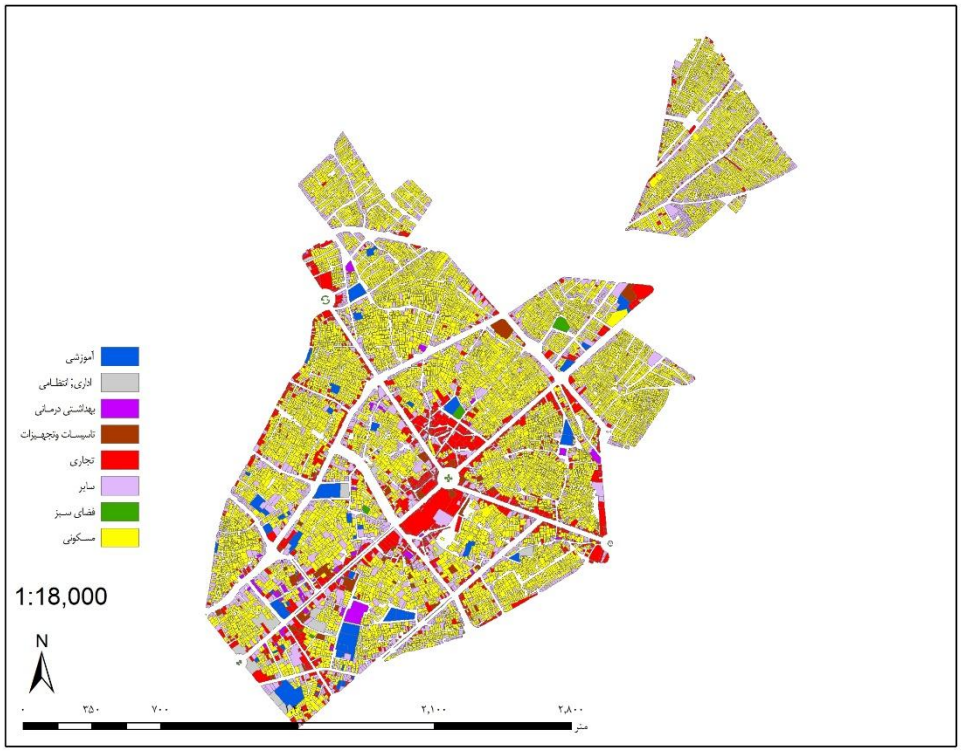
از نظر تاریخی و فرهنگی، ارومیه دارای سابقه‌ای چند هزار ساله است و در مسیر شاه‌راه‌های تجاری منطقه قفقاز و میان‌رودان قرار داشته است. این موقعیت تاریخی و تجاری باعث شده تا شهر دارای بافت شهری متنوع، کاربری‌های مختلف و فضاهای عمومی و سبز پراکنده باشد. علاوه بر این، ارومیه با برخورداری از آثار ثبت‌شده ملی و فعالیت‌های تاریخی-فرهنگی، دارای ظرفیت‌های فرهنگی و اجتماعی مناسبی است که امکان مطالعه تعامل میان طراحی شهری و کیفیت محیطی را فراهم می‌کند (Tarh-o-Kavosh, 2019).

با این حال، ارومیه با معضلاتی نیز مواجه است که بر اهمیت مطالعه طراحی شهری زیست‌دوست می‌افزاید؛ از جمله آلودگی هوا ناشی از ترافیک و وارونگی دما، تراکم بالای خودروها، چالش‌های حاشیه‌نشینی، و خشکی دریاچه ارومیه و طوفان‌های نمک .علاوه بر این، شهر با تفاوت‌های ساختاری بافت شهری شامل هسته قدیمی، بافت میانی و مناطق جدید حاصل از مهاجرت‌های اخیر مواجه است که هر یک شرایط خرداقلیمی متفاوتی دارند و بر مصرف انرژی شهری تأثیر می‌گذارند.

با توجه به ویژگی‌های ذکرشده، ارومیه به‌عنوان محدوده مطالعه انتخاب شده است زیرا:

- تنوع اقلیمی و خرداقلیمی آن امکان تحلیل اثرات مؤلفه‌های زیست‌دوست بر شرایط محیطی و مصرف انرژی را فراهم می‌کند.
- تنوع ساختاری و کاربری‌های شهری، امکان بررسی تعامل میان طراحی شهری و شاخص‌های کارایی انرژی را ایجاد می‌کند.
- دسترسی به داده‌های دقیق جمعیتی، اقلیمی و انرژی شهری باعث قابلیت مدل‌سازی معادلات ساختاری و تحلیل علمی شده است.
- وجود فضاهای سبز، رودخانه‌ها و عناصر طبیعی شهری، شرایطی مناسب برای بررسی استراتژی‌های طراحی شهری زیست‌دوست فراهم می‌کند.
- چالش‌های شهری و زیست‌محیطی مانند آلودگی هوا، تراکم ترافیک و حاشیه‌نشینی، انگیزه‌ای برای یافتن راهکارهای پایدار و بهبود کارایی انرژی ایجاد کرده است.

بنابراین، ارومیه به دلیل ویژگی‌های جغرافیایی، اقلیمی، تاریخی، ساختاری و محیطی خاص، نمونه‌ای مناسب برای بررسی تأثیر طراحی شهری زیست‌دوست بر ارتقای بهره‌وری انرژی شهری محسوب می‌شود و نتایج حاصل می‌تواند به‌عنوان الگوی قابل استفاده برای سایر کلان‌شهرهای ایران با شرایط مشابه ارائه شود.



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی شهر ارومیه (Urmia Master Plan, 2019)

۵.یافته‌ها

تحلیل توصیفی داده‌ها نشان داد که میانگین‌های متغیرهای مستقل و میانجی پژوهش در سطح مثبت قرار دارند و پراکندگی داده‌ها نسبتاً معقول است، به طوری که توزیع پاسخ‌ها برای تحلیل‌های بعدی مناسب است. «ارتباط انسان با طبیعت» با میانگین ۳/۲۰ و «فضاهای سبز و دسترسی» با میانگین ۳/۳۰ بیشترین توجه را نشان می‌دهند و بیانگر اهمیت تجربه انسانی و دسترسی به عناصر طبیعی در طراحی شهری زیست‌دوست هستند. «ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی» (میانگین ۳/۱۷) و «ابعاد روانی و اجتماعی انسان» (میانگین ۳/۰۳) نیز گرایش مثبت دارند، اما پراکندگی بیشتر پاسخ‌ها نشان‌دهنده تفاوت دیدگاه‌ها در ارزیابی جزئیات طراحی فیزیکی و تأثیرات روانی-اجتماعی است.

در مقابل، «مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی» با میانگین ۲/۹۰ و «کارایی انرژی» با میانگین ۲/۹۳ نسبت به سایر متغیرها پایین‌تر هستند، که نشان‌دهنده نیاز به تقویت برنامه‌ریزی، سیاست‌گذاری و اقدامات عملیاتی برای بهبود عملکرد انرژی و پروژه‌های نوآورانه در شهر است. مقادیر چولگی و کشیدگی در همه متغیرها نزدیک به صفر است و بنابراین توزیع داده‌ها تقریباً نرمال بوده و قابلیت انجام تحلیل‌های SEM و همبستگی را فراهم می‌کند.

این نتایج نشان می‌دهد که طراحی شهری زیست‌دوست در ارومیه ظرفیت بالایی برای ارتقای تعامل انسان با طبیعت و کیفیت فضاهای سبز دارد، اما نیازمند تقویت ابعاد مدیریتی و سیاستی برای تحقق اثر مثبت بر کارایی انرژی است. تحلیل توصیفی به طور واضح شکاف‌های موجود در برنامه‌ریزی و اجرای طراحی زیست‌دوست را مشخص می‌کند و پایه‌ای برای تحلیل علّی در مدل SEM فراهم می‌آورد.

جدول شماره ۵- آمار توصیفی معیارهای پژوهش

متغیر	معیار	تعداد	میانگین	انحراف معیار	دامنه تغییرات	چولگی	کشیدگی
ارتباط انسان با طبیعت	تجربه مستقیم و غیرمستقیم طبیعت	۳۶۰	۳/۲۰۲۱	۰/۵۱۶۰۳	۳/۱۷	۰/۰۱۵	۰/۳۰۹
ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی	طراحی فیزیکی و محیطی	۳۶۰	۳/۱۶۹۸	۰/۴۴۲۴۶	۲/۷۵	۰/۶۰۰	۰/۷۳۱
فضاهای سبز و دسترسی	دسترسی و کیفیت فضاهای طبیعی	۳۶۰	۳/۳۰۲۹	۰/۵۴۳۹۳	۲/۸۳	۰/۴۱۳	۰/۰۴۶
ابعاد روانی و اجتماعی انسان	دلبستگی، تعامل اجتماعی و سازگاری با طبیعت	۳۶۰	۳/۰۲۵۰	۰/۷۶۱۳۹	۴/۰۰	۰/۰۹۱	-۰/۱۲۷
مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی	برنامه‌ریزی، سیاست‌ها و پروژه‌های خلاق	۳۶۰	۲/۸۹۶۳	۰/۵۷۰۹۵	۲/۷۵	-۰/۱۰۴	-۰/۵۰۷
کارایی انرژی	انرژی، مصرف و توسعه پایدار	۳۶۰	۲/۹۳۰۰	۰/۴۶۰۷۳	۲/۶۳	-۰/۰۱۳	-۰/۲۴۵

۱.۵. مدل سازی معادلات ساختاری

نتایج مدل‌سازی معادلات ساختاری نشان می‌دهد که تمامی مسیرهای فرضی بین متغیرهای مستقل و میانجی با متغیر وابسته کارایی انرژی در کلان‌شهر ارومیه از نظر آماری معنادار بوده و تایید شده‌اند. بر اساس ضرایب رگرسیون استاندارد شده، بالاترین تأثیر مستقیم بر کارایی انرژی مربوط به ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی با ضریب استاندارد ۰/۷۸۴ و ضریب رگرسیون ۱/۶۳۶ است، که بیانگر اهمیت طراحی فیزیکی، الگوهای بیومورفیک، جریان هوا، نور و بافت در ارتقای عملکرد انرژی شهری است. در رتبه بعدی فضاهای سبز و دسترسی با β_std = 0.712 و β = 1.815 قرار دارد که نشان می‌دهد دسترسی به پارک‌ها، مسیرهای پیاده‌راه، شبکه‌های اکولوژیک و فضاهای انتقالی زیست‌دوست محور نقش قابل توجهی در بهبود کارایی انرژی ایفا می‌کند. متغیر ارتباط انسان با طبیعت با ضریب استاندارد ۰/۶۵۹ و ضریب رگرسیون ۱/۷۱۰ نیز اثر معناداری بر کارایی انرژی دارد و اهمیت تجربه مستقیم و غیرمستقیم طبیعت و تعامل انسانی-طبیعی را برجسته می‌سازد.

نقش متغیرهای میانجی نیز در مدل به خوبی نمایان است. ابعاد روانی و اجتماعی انسان با β_std = 0.708 و β = 1.779، و مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی با β_std = 0.687 و β = 1.864 مسیرهای میانجی معناداری

را به کارایی انرژی ایجاد می‌کنند. این یافته‌ها نشان می‌دهد که علاوه بر اثر مستقیم طراحی شهری زیست‌دوست، عوامل روانی-اجتماعی نظیر دلبستگی، تعامل اجتماعی، احساس تعلق و توانایی سازگاری انسان با طبیعت، و همچنین مدیریت پروژه‌ها، برنامه‌های خلاقانه و نوآوری‌های مبتنی بر طبیعت، نقش مهمی در تقویت اثرات طراحی شهری بر کارایی انرژی دارند.

تمامی مسیرهای مدل دارای نسبت بحرانی (C.R) بالاتر از ۳ و سطح معناداری کمتر از ۰/۰۰۱ هستند که نشان‌دهنده معناداری آماری بالا و قابلیت اعتماد نتایج است. S.E مسیرها نیز در محدوده مناسب قرار دارد، که بیانگر دقت برآورد ضرایب و عدم وجود خطای اندازه‌گیری قابل توجه است. تمامی مسیرها وضعیت «تایید» دارند که اعتبار مدل مفهومی را تقویت می‌کند.

به طور خلاصه، نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد که برای ارتقای کارایی انرژی شهری در ارومیه، ترکیبی از سه عامل اصلی ارتباط انسان با طبیعت، ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی، و فضاهای سبز و دسترسی به همراه حمایت و برنامه‌ریزی از طریق متغیرهای میانجی ابعاد روانی و اجتماعی انسان و مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی ضروری است. این یافته‌ها اهمیت یک رویکرد یکپارچه در طراحی شهری زیست‌دوست را برجسته می‌سازد و نشان می‌دهد که اثرات مستقیم و غیرمستقیم طراحی شهری زیست‌دوست در ارتقای کارایی انرژی شهری همزمان عمل می‌کنند.

جدول ۶- نتایج مدل‌سازی معادلات ساختاری در نرم افزارAMOS

بعد	مولفه		متغیر	رتبه	ضریب رگرسیون	ضریب رگرسیون استاندارد شده	نسبت بحرانی C.R	S.E	سطح معناداری	وضعیت
متغیر مستقل	ارتباط انسان با طبیعت	<---	کارایی انرژی	۵	۱/۷۱۰	۰/۶۵۹	۳/۴۶۱	۰/۴۹۴	۰/۰۰۰	تایید
	ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی	<---		۱	۱/۶۳۶	۰/۷۸۴	۳/۵۹۷	۰/۴۵۵	۰/۰۰۰	تایید
	فضاهای سبز و دسترسی	<---		۲	۱/۸۱۵	۰/۷۱۲	۳/۵۲۴	۰/۵۱۵	۰/۰۰۰	تایید
متغیر میانجی	ابعاد روانی و اجتماعی انسان	<---		۳	۱/۷۷۹	۰/۷۰۸	۳/۳۲۱	۰/۴۹۲	۰/۰۰۰	تایید
	مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی	<---		۴	۱/۸۶۴	۰/۶۸۷	۳/۵۰۸	۰/۳۱۱	۰/۰۰۰	تایید

۲.۵. رابطه همبستگی

نتایج تحلیل همبستگی پیرسون نشان می‌دهد که بین تمامی متغیرهای پژوهش روابط مثبت و معناداری در سطح اطمینان ۹۵ درصد (sig < 0.05) وجود دارد که بیانگر انسجام درونی سازه‌ها و هم‌راستایی آن‌ها با چارچوب نظری تحقیق است. بیشترین میزان همبستگی با متغیر وابسته کارایی انرژی مربوط به ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی (r = 0.784) است که نشان می‌دهد کیفیت طراحی فیزیکی، الگوهای بیومورفیک، کنترل ریزاقلیم و عناصر محیطی نقش تعیین‌کننده‌ای در بهبود عملکرد انرژی شهری دارند. این یافته تأیید می‌کند که مداخلات کالبدی، در مقایسه با سایر ابعاد طراحی زیست‌دوست، اثر مستقیم‌تر و قوی‌تری بر شاخص‌های انرژی دارند.

در رتبه بعد، فضاهای سبز و دسترسی با ضریب همبستگی ۰/۷۱۲ و ابعاد روانی و اجتماعی انسان با ضریب ۰/۷۰۸ رابطه‌ای قوی و معنادار با کارایی انرژی نشان می‌دهند. این نتایج بیانگر آن است که دسترسی به فضاهای سبز، شبکه‌های اکولوژیک و مناظر طبیعی، در کنار ارتقای دلبستگی مکانی، تعامل اجتماعی و سازگاری انسان با طبیعت، می‌تواند به شکل غیرمستقیم اما مؤثر مصرف انرژی و رفتارهای مرتبط با آن را تحت تأثیر قرار دهد.

همچنین، مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی با ضریب همبستگی ۰/۶۸۷ رابطه معناداری با کارایی انرژی دارد که نشان‌دهنده نقش سیاست‌گذاری، پروژه‌های آزمایشی، نوآوری‌های مبتنی بر طبیعت و الگوهای بیومیمیکری در تقویت عملکرد انرژی شهری است. این یافته بر اهمیت بعد نهادی و مدیریتی در تحقق اهداف طراحی شهری زیست‌دوست تأکید دارد؛ بعدی که در بسیاری از مطالعات پیشین کمتر به‌صورت تجربی بررسی شده است.

در میان روابط بین متغیرهای مستقل و میانجی نیز همبستگی‌های معنادار و در برخی موارد نسبتاً قوی مشاهده می‌شود. برای مثال، فضاهای سبز و دسترسی با ابعاد روانی و اجتماعی انسان همبستگی بالایی دارد (r = 0.647) که نشان می‌دهد کیفیت و دسترسی به طبیعت شهری نقش مهمی در تقویت دلبستگی مکانی و تعاملات اجتماعی ایفا می‌کند. همچنین، همبستگی قابل توجه بین ارتباط انسان با طبیعت و مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی (r = 0.602) بیانگر آن است که تجربه و ادراک انسان از طبیعت، زمینه‌ساز حمایت از سیاست‌ها و نوآوری‌های زیست‌دوست در مقیاس شهری است.

به طور کلی، الگوی همبستگی‌ها نشان می‌دهد که متغیرهای پژوهش نه به‌صورت مستقل، بلکه در قالب یک سیستم به‌هم‌پیوسته عمل می‌کنند؛ سیستمی که در آن طراحی کالبدی، تجربه انسانی، فضاهای سبز، ابعاد روانی-اجتماعی و مدیریت شهری به‌طور هم‌زمان بر کارایی انرژی اثر می‌گذارند. این همبستگی‌های معنادار، مبنای آماری لازم برای ورود به مرحله مدل‌سازی معادلات ساختاری را فراهم می‌کند و از برازش مفهومی مدل نظری پژوهش با شرایط واقعی کلان‌شهر ارومیه حمایت می‌نماید.

جدول ۷- نتایج همبستگی میان مولفه‌ها در نرم افزارSPSS

	کارایی انرژی	ارتباط انسان با طبیعت	ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی	فضاهای سبز و دسترسی	ابعاد روانی و اجتماعی انسان	مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی
ارتباط انسان با طبیعت	۰/۶۵۹	۱				
ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی	۰/۷۸۴	۰/۴۹۳	۱			
فضاهای سبز و دسترسی	۰/۷۱۲	۰/۵۱۷	۰/۵۹۲	۱		
ابعاد روانی و اجتماعی انسان	۰/۷۰۸	۰/۳۴۴	۰/۵۳۸	۰/۶۴۷	۱	
مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی	۰/۶۸۷	۰/۶۰۲	۰/۴۲۵	۰/۵۶۶	۰/۵۱۹	۱
همه روابط در سطح معناداری (sig<۰/۰۰۱) قرار دارند.						

۶.بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که طراحی شهری زیست‌دوست در کلان‌شهر ارومیه نه به‌عنوان مجموعه‌ای از مداخلات منفرد، بلکه در قالب یک سیستم چندلایه کالبدی–اجتماعی–نهادی بر ارتقای کارایی انرژی اثر می‌گذارد. معناداری تمامی مسیرهای مدل‌سازی معادلات ساختاری و ضرایب نسبتاً بالای تأثیر مستقیم و غیرمستقیم متغیرها، بیانگر آن است که روابط میان مولفه‌های طراحی زیست‌دوست و عملکرد انرژی شهری ماهیتی شبکه‌ای و تعاملی دارند. این یافته به‌طور مستقیم شکاف مطرح‌شده در ادبیات کلان را پاسخ می‌دهد؛ جایی که اغلب مطالعات، علی‌رغم تأکید نظری بر اهمیت طراحی مبتنی بر طبیعت، فاقد شواهد تجربی درباره سازوکارهای علّی این تأثیرات بوده‌اند (Wijesooriya et al., 2021; Zhu et al., 2022; Li et al., 2024).

بر اساس نتایج SEM ، ویژگی‌های کالبدی و طراحی محیطی بیشترین اثر مستقیم را بر کارایی انرژی نشان می‌دهد (β_std = 0.784)، که بر نقش تعیین‌کننده فرم شهری، الگوهای بیومورفیک، تهویه طبیعی، نفوذپذیری بافت و بهره‌گیری از نور طبیعی در کاهش بار سرمایشی و گرمایشی تأکید دارد. این نتیجه با یافته‌های (Mihalakakou et al.,2023; Bevilacqua,2021; Santamouris et al.,2017) هم‌سو است که نشان داده‌اند کیفیت طراحی کالبدی و کنترل ریزاقلیم از مؤثرترین عوامل بهبود عملکرد انرژی در مقیاس شهری و مجموعه‌های ساختمانی محسوب می‌شود. با این حال، سهم بالاتر این مؤلفه در ارومیه را می‌توان در بستر اقلیم سرد–نیمه‌خشک شهر و نوسانات دمایی شدید آن تفسیر کرد؛ شرایطی که در آن مداخلات کالبدی مانند جهت‌گیری بناها، سایه‌اندازی، تخلخل بافت و بهینه‌سازی جریان هوا نقش پررنگ‌تری نسبت به شهرهای با اقلیم معتدل ایفا می‌کنند. از این منظر، یافته حاضر فراتر از تأیید مطالعات پیشین، بر اهمیت بومی‌سازی راهبردهای زیست‌دوست متناسب با ویژگی‌های اقلیمی تأکید می‌گذارد.

فضاهای سبز و دسترسی (β_std = 0.712) و ارتباط انسان با طبیعت (β_std = 0.659) نیز اثرات معنادار و قابل توجهی بر کارایی انرژی نشان دادند. این نتایج نشان می‌دهد که کارکرد فضاهای سبز تنها به ارتقای کیفیت بصری یا تفریحی محدود نیست، بلکه از طریق تعدیل دمای محیط، افزایش رطوبت نسبی، کاهش جزایر حرارتی و همچنین تغییر الگوهای رفتاری شهروندان می‌تواند به کاهش مصرف انرژی منجر شود. این یافته با مطالعات (Balvedi and Giglio,2023; Algarni et al.,2022) و هم‌راستا است که بر نقش شبکه‌های اکولوژیک و دسترسی پیاده‌محور به طبیعت در بهبود آسایش حرارتی و کاهش تقاضای انرژی تأکید دارند. در عین حال، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تجربه انسانی طبیعت و ادراک ذهنی از محیط نیز به‌طور مستقیم با شاخص‌های انرژی پیوند دارد؛ موضوعی که در بسیاری از پژوهش‌های میانی کمتر مورد توجه قرار گرفته و غالباً به متغیرهای فیزیکی محدود شده است.

یکی از مهم‌ترین دستاوردهای نظری این مطالعه، آشکارسازی نقش میانجی ابعاد روانی–اجتماعی انسان و مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی است. ضرایب نسبتاً بالای این دو متغیر (β_std = 0.708و β_std = 0.687) نشان می‌دهد که تأثیر طراحی زیست‌دوست بر کارایی انرژی صرفاً از مسیر کالبدی منتقل نمی‌شود، بلکه از طریق افزایش دلبستگی مکانی، تعاملات اجتماعی، سازگاری رفتاری با طبیعت و همچنین ظرفیت نهادی برای برنامه‌ریزی و اجرای پروژه‌های مبتنی بر طبیعت تقویت می‌گردد. این یافته با نتایج (Latini et al.,2024) هم‌خوانی دارد که بر نقش کیفیت محیط ادراک‌شده در تعدیل رفتارهای انرژی‌بر تأکید کرده‌اند، اما در عین حال فراتر از آن رفته و بعد مدیریتی را نیز به‌صورت تجربی وارد مدل می‌کند؛ بعدی که در ادبیات بین‌المللی و به‌ویژه مطالعات داخلی کمتر به‌طور کمی بررسی شده است.

در مقایسه با پژوهش‌های داخلی که عمدتاً بر استخراج شاخص‌ها یا امکان‌سنجی کیفی طراحی زیست‌دوست تمرکز داشته‌اند (Asadi and Khatibi, 2021; Maleki et al., 2021; Mahdavian and Parhiz, 2024; Sarboland and Abedini, 2025)، این پژوهش با بهره‌گیری از مدل‌سازی معادلات ساختاری، برای نخستین بار در بستر شهری ایران توانسته است روابط علّی مستقیم و غیرمستقیم میان مؤلفه‌های زیست‌دوست و کارایی انرژی را تبیین کند. از این منظر، تحقیق حاضر نه‌تنها به هدف کلی خود در تبیین نقش طراحی شهری زیست‌دوست در ارتقای عملکرد انرژی دست یافته، بلکه از نظر روش‌شناختی نیز گامی فراتر از رویکردهای توصیفی یا رتبه‌بندی ساده برداشته و چارچوبی تحلیلی برای سنجش هم‌زمان متغیرهای پنهان ارائه کرده است.

تفسیر زمینه‌مند یافته‌ها نشان می‌دهد که در ارومیه، ضعف نسبی مدیریت و نوآوری زیست‌دوستی و میانگین پایین‌تر کارایی انرژی نسبت به سایر مولفه‌ها، بازتابی از چالش‌های نهادی، محدودیت منابع مالی و فقدان سیاست‌های منسجم انرژی‌محور در سطح شهری است. این امر توضیح می‌دهد که چرا، علی‌رغم ظرفیت بالای

کالبدی و طبیعی شهر، تحقق کامل مزایای طراحی زیست‌دوست مستلزم تقویت سازوکارهای حکمرانی، مشوق‌های اقتصادی و پروژه‌های پایلوت مبتنی بر طبیعت است. بنابراین، پیامد کاربردی اصلی پژوهش آن است که سیاست‌گذاران شهری باید طراحی زیست‌دوست را به‌عنوان بخشی از راهبرد جامع انرژی شهری تلقی کنند و آن را در اسناد توسعه، ضوابط ساختمانی و برنامه‌های بازآفرینی بافت‌ها ادغام نمایند. اولویت‌بخشی به مداخلات کالبدی کم‌هزینه اما پربازده، توسعه شبکه‌های سبز پیوسته، ارتقای آگاهی عمومی و ایجاد بستر نهادی برای نوآوری‌های بیومیمتیک می‌تواند به‌عنوان اهرم‌های کلیدی ارتقای کارایی انرژی مطرح شود.

با وجود این دستاوردها، پژوهش حاضر با محدودیت‌هایی نیز مواجه است؛ از جمله اتکا به داده‌های ادراکی به‌جای داده‌های واقعی مصرف انرژی، تمرکز بر یک شهر خاص و عدم امکان بررسی تغییرات فصلی. این محدودیت‌ها ایجاب می‌کند که پژوهش‌های آینده با ترکیب داده‌های میدانی انرژی، شبیه‌سازی‌های اقلیمی و مطالعات تطبیقی میان‌شهری، اعتبار بیرونی مدل را تقویت کنند و پویایی زمانی اثرات طراحی زیست‌دوست را مورد بررسی قرار دهند.

در مجموع، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که طراحی شهری زیست‌دوست، در صورت تلفیق با مداخلات کالبدی هدفمند، تقویت ابعاد روانی–اجتماعی و پشتیبانی نهادی، می‌تواند به‌عنوان چارچوبی مؤثر برای ارتقای کارایی انرژی در شهرهای سرد و نیمه‌خشک عمل کند. این پژوهش با ارائه شواهد تجربی و مدل‌محور، نشان می‌دهد که گذار به شهرهای کم‌کربن صرفاً مستلزم فناوری‌های نوین نیست، بلکه نیازمند بازاندیشی در رابطه انسان، طبیعت و ساختار شهری است؛ نتیجه‌ای که می‌تواند مبنای تصمیم‌سازی آگاهانه در مسیر طراحی شهری پایدار در ایران قرار گیرد.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول ۱۰۰٪

تشکر و قدردانی

مقاله حامی مادی و معنوی ندارد.

تعارض منافع

بر اساس اظهارات نویسندگان، هیچگونه تعارض منافعی در ارتباط با این مقاله وجود ندارد.

منابع

Agboola, O. P., Nia, H. A., Findikgil, M. M., & Yildirim, S. G. (2024). Assessing the effectiveness of the biophilic design approach in contribution to sustainable architectural goals. New Design Ideas, 8(Special Issue).

Andreucci, M. B., Loder, A., Brown, M., & Brajković, J. (2021). Exploring Challenges and Opportunities of Biophilic Urban Design: Evidence from Research and Experimentation. *Sustainability*, *13*(8), 4323. https://doi.org/10.3390/su13084323

Aniekan, A. U., Peter, E. O., Onyinyechukwu, C., Bright, N., Adetomilola, V. F., & Kenneth, I. I. (2024). Incorporating energy efficiency in urban planning: A review of policies and best practices.

Asadi, Sh., & Khatibi, S. M. (2021). Developing biophilic urban design criteria for organizing the central texture of cities. Journal of Zist-Faza, 1(1), 91-115. [In Persian] https://civilica.com/doc/1573704

Bitarof, E., Habib, F., & Zabihi, H. (2018). Native ecological and ecological architecture principles in the design of residential complexes in Iran to improve their quality. Journal title 2018; 17 (52) :205-218
URL: http://ijurm.imo.org.ir/article-1-2314-fa.html

Gholamzadeh, A. (2023). Components of using biomimicry style in designing buildings compatible with climate and sustainability. New Researches in Geographical Sciences, Architecture and Urbanism, 44(5), 143-158. [In Persian]. https://civilica.com/doc/1833331 .

Kabinesh, V., Vennila, S., Baranidharan, K., Ravi, R., Krishnamoorthi, S., & Thirunavukkarasu, M. (2024). Sustainable spaces-The evolution of biophilic design in modern architecture: A review. Asian Journal of Environment & Ecology, 23(5), 64-77.

Kuponiyi, A., & Akomolafe, O. O. (2024). Biophilic design: Health, well-being, and sustainability. International Journal of Advanced Multidisciplinary Research and Studies, 1746-1753.

Lee, S., & Kim, Y. (2021). A framework of biophilic urbanism for improving climate change adaptability in urban environments. *Urban forestry & urban greening*, *61*, 127104.

Littke, H. (2016). Becoming biophilic: challenges and opportunities for biophilic urbanism in urban planning policy. Smart and Sustainable Built Environment, 5(1).

mahdavin, V. M. and Parhiz, F. (2024). Compilation of biophilic city model in Isfahan city. Human Geography Research, 56(2), 115-135. https://doi.org/10.22059/jhgr.2023.351118.1008565

Maleki, L., Majedi, H., & Zarabadi, Z. (2021). Analyzing the role of urban approaches in response to climate changes with emphasis on biophilic urbanism, a case study: Tonekabon City. Urban Planning Knowledge, 5(1), 147-163. https://doi.org/10.22124/upk.2020.13045.1211 .

Moghimi Shahri, E., & Vafamehr, M. (2024). Evaluating and ranking biophilic design principles in the residential architecture of Mashhad. Journal of Sustainable Architecture & Environment, 2(1), 79–92.

Naseri, P. , Jodeiri Abbasi, M. , Shafizadeh, A. , Mahmoodi Nezhad, H. and Babazadeh Oskoui, S. (2024). Explaining the neurobiological theoretical model of biophilic design in architecture to

conserve energy in the environment with the method of content analysis. Journal of sustainable Energy Systems, 2(4), 405-420. https://doi.org/10.22059/ses.2024.373986.1059

Raisi,E. , Davtalab,J. , Ghasemi,M. and Norouzi,M. (2025). An Analysis of the Role of Biophilic Design in Creating Climate-Responsive and Culturally Attuned Architecture in Iran. The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar, 22(145), 19-34. https://doi.org/10.22034/bagh.2025.499293.5743 .

Sadick, A. M., Kamardeen, I., & Vu, X. P. (2023). Challenges for implementing biophilic strategies in Australian building design. *Journal of Building Engineering*, *74*, 106849.

Sarboland, M.S., & Abedini, A. (2025). Evaluation and Localization of Smart Planning with Biophilic Approach in Urmia City. Urban Ecological Research, 16(3), 65-86. https://doi.org/10.30473/grup.2024.70865.2845 .

Wijesooriya, N., & Brambilla, A. (2021). Bridging biophilic design and environmentally sustainable design: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, *283*, 124591.

Wijesooriya, N., Brambilla, A., & Markauskaite, L. (2023). Biophilic design frameworks: A review of structure, development techniques and their compatibility with LEED sustainable design criteria. *Cleaner Production Letters*, *4*, 100033.

Xue, F., Gou, Z., Lau, S. S. Y., Lau, S. K., Chung, K. H., & Zhang, J. (2019). From biophilic design to biophilic urbanism: Stakeholders' perspectives. *Journal of Cleaner Production*, *211*, 1444-1452.

Yassein, G., & Ebrahiem, S. (2018). Biophilic design in the built environment to improve well-being: A systematic review of practices. *Journal of Urban Research*, *30*(1), 128-146.

Zare, G., Faizi, M., Baharvand, M., & Masnavi, M. (2021). A review of biophilic design conception implementation in architecture. *Journal of Design and Built Environment*, *21*(3), 16-36.