

تبیین تأثیر فرم معماری بر بهره‌وری انرژی ساختمان‌های بلند مسکونی در اقلیم سرد و خشک (نمونه موردی: شهر اردبیل)

چکیده

فرم معماری ساختمان‌های بلند، موضوعی پر اهمیت در تحلیل‌های مربوط به افزایش بهره‌وری به‌شمار می‌رود. همواره تلاش شده است فرمی برای ساختمان‌های بلند طراحی شود که این فرم از بیشترین بهره‌وری انرژی برخوردار باشد، از این‌رو پژوهش حاضر، ضمن محاسبه زاویه تابش خورشید در تابستان و زمستان و میزان چرخش آن در پلان و مقطع، فرم بهینه را به‌گونه‌ای به‌دست می‌آورد که بیشترین مساحت را رو به خورشید در فصل زمستان و کمترین مساحت را رو به خورشید در فصل تابستان داشته باشد. روش تحقیق، کتابخانه‌ای و به روش تحلیلی-توصیفی است. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش شبیه‌سازی در نرم‌افزارهای اعتبارسنجی شده، استفاده می‌شود. به‌منظور شناخت شرایط اقلیمی از نرم‌افزار کلاسیک کانسالتنت جهت تحلیل اطلاعات اقلیمی شهر اردبیل و جهت شبیه‌سازی پارامترهای تأثیرگذار بر اهداف پژوهش، از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر استفاده شده است. در این پژوهش شهر اردبیل به‌عنوان نمونه مورد مطالعه انتخاب شده است. از این‌رو زاویه خورشید و آزمون زمستانه و تابستانه براساس نمونه اردبیل در نظر گرفته شده است. نتیجه اینکه با شناخت شاخص‌های فرم معماری مؤثر بر مصرف و بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های بلند مسکونی در اقلیم سرد و خشک، می‌توان میزان کارایی انرژی را از نقطه‌نظر شاخص‌های کالبدی و محیطی تعیین کرد.

اهداف پژوهش:

۱. تبیین تأثیر فرم معماری ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی بر بهره‌وری انرژی با تکیه بر انرژی خورشیدی.
۲. راهکارهایی جهت افزایش میزان بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی.

سؤالات پژوهش:

۱. فرم معماری ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی چه تأثیری بر میزان بهره‌وری انرژی دارد؟
۲. میزان زاویه تابش خورشید در فصل تابستان و زمستان در طراحی و تحلیل سازه‌ها بلندمرتبه چه نقشی در بهره‌وری دارد؟

کلیدواژه‌ها: فرم معماری، انرژی، ساختمان‌های بلند مسکونی، اقلیم سرد و خشک.

مقدمه

امروزه پیامدهایی مانند تغییر اقلیم و گرم شدن کره زمین بر اثر انتشار بالای گازهای گلخانه‌ای سبب شده تا بهره‌وری انرژی از اجزای مهم تدابیر و برنامه‌ریزی‌ها در زمینه انرژی باشد. این مهم علاوه بر کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی، افزایش امنیت عرضه انرژی را به دنبال خواهد داشت. از طرفی افزایش جمعیت در سال‌های اخیر، طراحی و ساخت برج‌های مسکونی را مورد توجه قرار داده است. ساختمان‌های بلند مصرف‌کنندگان بزرگ انرژی هستند. آن‌ها باتوجه به مقیاس و هدفشان عناصر غالب در معماری شهری بوده و باید به لحاظ طراحی انرژی کارا مورد بررسی قرار گیرند. بسیاری از معماران معتقدند، خطری که از جانب بلندمرتبه‌ها محیط‌زیست را تهدید می‌کند، به مراتب خطرناک‌تر از آلودگی هواست. ساختمان‌های بلندمرتبه که به منظور ایجاد توازن بین رشد جمعیت و فضای مورد نیاز ساخته می‌شوند، در مراحل ساخت و پس از آن در زندگی روزمره، مقدار قابل توجهی انرژی فسیلی مصرف کرده، همچنین باعث آلودگی محیط‌زیست شده‌اند و در مجموع ساکنان خود را از نور و هوای طبیعی محروم می‌کنند (یانگ،^۱ ۲۰۰۷). لذا کاربرد راهکارهای طراحی معماری در ساختمان‌های جدید و به خصوص ساختمان‌هایی مسکونی، با هدف کاهش انرژی مصرفی و آلودگی‌های زیست‌محیطی، ضروری است (نصراللهی و اکرمی‌ابرقویی، ۱۳۹۵).

ساختمان‌ها به عنوان رکن اساسی در فرآیند مصرف انرژی در حوزه شهری و انتشار گازهای گلخانه‌ای، در تعیین الگوهای مصرف انرژی مؤثر هستند. از این نظر، توجه به مسائل مربوط به آب‌وهوا و انرژی در حوزه ساختمان و شهر در تحقیقات اخیر، حائز اهمیت بوده است. در ایران نیز علی‌رغم قوانین مصوب و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته و همچنین اهمیت اقتصاد مقاومتی حال حاضر، مصرف انرژی بیش از پنج برابر متوسط رشد مصرف در جهان است. ساختمان‌های مسکونی ایران بزرگ‌ترین بخش از مصرف انرژی کشور را به خود اختصاص داده‌اند (حسینی^۲ و ریاض^۳، ۲۰۱۱) اما کاهش مصرف انرژی در این بخش ساده‌تر و با سرمایه‌گذاری کمتری نسبت به بخش‌های دیگر قابل حصول است.

این پژوهش با ارائه روش تحقیق و مبانی نظری به یکسری اصول و مبانی دست خواهد یافت که با استفاده از استراتژی طراحی فرم ساختمان و مؤلفه‌های تأثیرگذار در فرم بنا به بهره‌وری بیش‌ازپیش ساختمان از انرژی‌های طبیعی دست پیدا کرده و تأثیر فرم ساختمان بر عملکرد انرژی و رفتار حرارتی ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی شهر اردبیل را در جهت بهره‌وری بیشتر انرژی با تکیه بر انرژی خورشیدی مشخص خواهد نمود، تا پیشنهادات، توصیه‌ها و راهکارهایی در طراحی ساختمان‌های بلندمرتبه مسکونی شهر اردبیل به منظور تصمیم‌گیری‌های طراحان و معماران ارائه نماید.

در خصوص پیشینه تحقیقات انجام‌شده باید گفت تحقیق‌های گوناگونی صورت گرفته از جمله: کازاناسماز و همکاران در نمونه پژوهشی که در شهر ازبیر ترکیه در سال ۲۰۱۴ انجام شده به بررسی عملکرد حرارتی ساختمان براساس

^۱ Yeang

^۲ Hosseini

^۳ Riaz

فرم معماری پرداخته‌اند. نتایج این پژوهش نشان داده که در حدود نیمی از تفاوت‌های مصرف انرژی در دو ساختمان کاملاً مشابه از نظر سیستم‌های تأمین انرژی، متفاوت بودن فرم معماری آن‌ها بوده است. در این پژوهش، عوامل مرتبط با فرم که مستقیماً بر میزان مصرف انرژی اثرگذار هستند، نسبت سطح به حجم و جهت‌گیری بیان شده‌اند. احمدزاده و کردجمشیدی (۱۳۹۷)، در پژوهشی با عنوان «بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری معماری پایدار با تأکید بر فرم بنا (نمونه موردی شهرستان سوادکوه)» فرم و جهت‌گیری مناسب ساختمان‌های مسکونی در منطقه سرد سوادکوه بررسی شده است. این پژوهش با فرض این مسئله که معماران بومی اصولی هم‌راستا با اهداف معماری پایدار به کار می‌برده‌اند به بررسی معماری بومی و اقلیمی منطقه مورد مطالعه با تأکید بر فرم پرداخته‌اند. بدین منظور سه نمونه فرم پرتکرار در معماری بومی شامل خطی، U و L شکل در نرم‌افزار شبیه‌سازی انرژی دیزاین بیلدر مدل و تحلیل انرژی شده است. در پژوهشی حبیب و همکاران (۱۳۹۳) به رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر میزان نیاز انرژی ساختمان به کمک فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی پرداخته‌اند. پارامترهای مورد بررسی در این پژوهش شامل تعداد ساکنین، مساحت ساختمان، تعداد طبقات، میزان همسایگی، نسبت سطح پنجره به دیوار، نسبت طول به عرض پلان و تعداد جبهه‌های آزاد ساختمان بوده است. در فرآیندی که در این پژوهش استفاده شده است به هر پارامتر یا راهکار بر اساس میزان اثرگذاری وزنی داده شده و در نهایت براساس آن، پارامترها رتبه‌بندی شده‌اند.

باتوجه به اینکه در زمینه ارتباط میان طراحی معماری، اجزای ساختمان‌های مسکونی و بهره‌وری انرژی، تحقیقات متعددی صورت گرفته، لذا در این مقاله جهت مترادف‌سازی واحدهای مسکونی در شهر اردبیل و به تبع آن بلندمرتبه‌سازی تلاش بر آن بوده تا بررسی و تحلیل تأثیر ویژگی‌های فرم ساختمان‌های مسکونی بر میزان مصرف انرژی آن‌ها، نه در مقیاس واحدهای کوچک بلکه در مقیاس بلندمرتبه‌سازی ساختمان‌های مسکونی اردبیل انجام شود. همچنین مطالعه پژوهش‌های پیشین مؤید این نکته است که جهت بهره‌وری انرژی در ساختمان با روش‌های غیرفعال به هندسه بنا در مقیاس اجزای (چیدمان فضاها و چگونگی قرارگیری فضا ب اساس مدل‌های تابش خورشید) پرداخته شده است. این درحالیست که پژوهش پیش رو به مقیاس جز و کل در ارتباط با یکدیگر (بررسی تأثیرات متقابل این دو بر یکدیگر) در جهت حل موارد متضاد با «طراحی جامع انرژی» پرداخته است و تحصیل فرم مطلوب جهت بهره‌وری انرژی از نتایج این پژوهش خواهد بود. در حیطه اجرائی در زمان حاضر، عملاً کاربرد شبیه‌سازی ساختمان در پروژه‌های جاری ساختمانی، بیشتر به محاسبه بارهای حرارتی جهت انتخاب ابعاد تجهیزات مکانیکی و تأسیساتی محدود شده است. درحالی که تصمیمات طراحی در مراحل آغازین خود، در میزان صرفه‌جویی انرژی مصرفی ساختمان، بسیار تأثیرگذار است؛ لیکن فناوری شبیه‌سازی انرژی بندرت در گام‌های اولیه فرآیند طراحی نظیر مطالعات امکان‌سنجی و یا ارزیابی ایده‌های طرح، مورد استفاده قرار می‌گیرد. لذا پژوهش حاضر به سبب محاسبه بارهای حرارتی و بهره‌وری انرژی در ساختمان‌های بلند مسکونی در مرحله طراحی معماری، دارای اهمیت خاص و ویژه‌ای هست.

پژوهش حاضر به مطالعه اسناد کتابخانه‌ای به روش تحلیلی-توصیفی پرداخته شده است. در نتیجه پارامترهای زیرمجموعه فرم معماری و اهداف عملکردی پژوهش تعیین و به‌منظور پیشبرد بخش اصلی پژوهش و دستیابی به فرم بهینه به‌لحاظ کارایی انرژی در ساختمان‌های بلندمرتبه اقلیم سردوخشک، از روش تحلیلی توسط شبیه‌سازی در

نرم افزارهای اعتبارسنجی شده استفاده می شود. در این بخش به منظور شناخت شرایط اقلیمی از نرم افزار کلاسیک کانسالنت جهت تحلیل اطلاعات اقلیمی شهر اردبیل و جهت شبیه سازی پارامترهای تأثیرگذار بر اهداف پژوهش از نرم افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است.

جهت انجام فرآیند شبیه سازی فرم معماری، در ابتدا یک نمونه پلان مسکونی که به لحاظ چیدمان فضاهای داخلی بهینه است تعیین و در تناسبات متعدد ترسیم می گردد. در پلان تعیین شده مساحت کل حفظ شده و تناسبات طول و عرض پلان تغییر می نماید. پارامتر دوم مورد بررسی تعیین ارتفاع مناسب برای یک طبقه است. در این مرحله نسبت سطح به حجم هر طبقه برای پلان های تعیین شده به دست می آید. در این مرحله دو پارامتر جهت گیری و نسبت سطح پنجره به دیوار نیز بهینه یابی می گردد. پس از تعیین فرم بهینه یک طبقه از ساختمان با افزایش تعداد طبقات به بهینه سازی نسبت سطح به حجم کل ساختمان پرداخته می شود و در نهایت جهت دستیابی به فرم بهینه ساختمان بلندمرتبه، جهت گیری مجدد بررسی می گردد. سپس به چیدمان فرم های بهینه به دست آمده نسبت به هم در بافت شهری پرداخته شده است تا در صورت نیاز ارتفاع و جهت گیری ساختمان ها جهت ایجاد بافت بهینه و رعایت حق آفتاب تمامی مجموعه ها در حد ممکن تغییر یابد. لذا در این بخش مجدداً تعداد طبقات و جهت گیری ساختمان ها مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت.

همچنین به منظور ارزیابی میزان دستیابی به اهداف عملکردی پژوهش شامل کاهش نیاز انرژی گرمایشی و سرمایشی، همچنین افزایش آسایش حرارتی کاربران در فضاهای مسکونی اقلیم سرد و خشک اردبیل از کد مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران (ویرایش ۱۳۹۸) و استاندارد ۱۴۲۵۳ تحت عنوان ساختمان های مسکونی - تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی (سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۳۹۰) استفاده می شود.

این مبحث داشتن سه ویژگی زیر را برای نرم افزارهای معتبر الزامی می داند:

- امکان تعریف حداقل ۱۰ منطقه حرارتی به صورت جداگانه در نرم افزار؛
- امکان ارزیابی عملکرد انرژی ساختمان به صورت ساعتی، روزانه، ماهانه و سالانه؛
- دارا بودن قابلیت دریافت داده های اقلیمی به صورت ساعتی و در قالب فرمت های متداول نظیر tmy و epw

نرم افزار مورد استفاده در پژوهش حاضر، نرم افزار دیزاین بیلدر بوده که دارای قابلیت دریافت فایل اطلاعات اقلیمی ساعتی با فرمت epw است. این نرم افزار همچنین می تواند عملکرد حرارتی ساختمان را به صورت بازه های ساعتی، روزانه، ماهانه و سالانه ارزیابی نماید.

مختلف از جمله ایران مورد توجه قرار گرفت که در ادامه به برخی از آن ها اشاره می شود.

نتیجه گیری

فرم معماری و تناسبات زوایای ساختمان نقش مؤثری بر میزان مصرف انرژی و افزایش بهره وری در ساختمان ها دارند. هدف از پژوهش حاضر با هدف اصلی تبیین تأثیر فرم معماری بر بهره وری انرژی ساختمان های بلند مسکونی در اقلیم سرد و خشک شهر اردبیل است تا اصولی را به منظور تصمیم گیری هایی در محاسبات طراحان و معماران ارائه نماید. اهداف عملکردی و پارامترهای مورد بررسی به شرح زیر تعیین شده است:

راهکارهای پیشنهادی سایکرومتریک شهر اردبیل:

- اهداف عملکردی:

کاهش مصرف انرژی در بخش سرمایش و گرمایش و افزایش آسایش حرارتی در فضاهای داخلی.

- پارامترهای مورد بررسی:

- فرم، نسبت طول به عرض پلان، ارتفاع یک طبقه، حجم و تناسبات کشیدگی و فشردگی آن، جهت‌گیری، نسبت سطح پنجره به دیوار، تعداد طبقات، همسایگی و بافت اطراف؛
- به‌منظور بهره‌گیری از پارامترهای تأثیرگذار بر تبیین فرم بهینه جهت دستیابی اهداف عملکردی از شبیه‌سازی در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر استفاده شده است.
- قرارگیری طویل‌ترین دیوار ساختمان به سمت جنوب بوده تا بیش‌ترین گرما را در زمستان و کم‌ترین را در تابستان جذب نماید؛
- چرخش به سمت غرب تا حدود ۳۰ درجه نیز مطلوب است.

راهکارهای به‌منظور حفظ گرما در داخل ساختمان: در زمین‌های شیب‌دار، ساختمان در قسمت میانی شیب قرار گرفته و از ساخت در زمین‌های روبه شمال پرهیز شود.

- استفاده از فرم‌های فشرده با کم‌ترین نسبت سطح به حجم؛
 - به حداقل رساندن سطح بازشوها در تمامی جبهه‌ها به‌جز جبهه جنوب؛
 - استفاده از پنجره‌های دو یا سه جداره و بهره‌گیری از عایق‌های حرارتی خارجی بر روی آن‌ها؛
 - استفاده از دو در برای ورود به فضای داخلی ساختمان؛
 - پرهیز از ایجاد پل‌های حرارتی.
- راهکارهای جهت فراهم کردن شرایط نفوذ تابش خورشید به داخل ساختمان:
- ساخت در زمین‌های تخت؛
 - عدم قرار دادن ساختمان در محل‌های سایه‌اندازی شده؛
 - عدم کاشت درختان همیشه‌سبز در ضلع جنوبی ساختمان؛
 - کشیدگی شرقی غربی ساختمان و بهره‌گیری از پنجره‌های جنوبی و پنجره‌های سقفی رو به جنوب؛
 - قرار دادن فضاهای اصلی ساختمان در قسمت جنوبی و بهره‌گیری از پلان‌های باز جهت نفوذ نور طبیعی بیش‌تر به داخل ساختمان؛
 - فرم کلی بنا در این اقلیم به‌صورت درون‌گرا؛
 - فضاهایی با ارتفاع کم؛
 - بام‌های غالباً مسطح؛
 - بازشوهای کوچک؛
 - ایوان‌های کوچک؛

- دیوارهای نسبتاً قطور.

راهکارهای ساختمان‌های خورشیدی: ساخت ساختمان‌های خورشیدی نیز در اقلیم سرد و خشک جوابگوی اقلیم هست. در ساختمان‌های خورشیدی توجه ویژه‌ای بر دیوارهای جنوبی شده و حرارت موردنیاز ساختمان از انرژی خورشیدی تأمین می‌گردد. به‌طور کلی این ساختمان‌ها در طول روز انرژی خورشیدی را دریافت و در انباره‌های حرارتی مانند مخازن آب، جرم‌های حرارتی با ظرفیت جذب خوب ذخیره می‌نمایند. در طی شب که دما کاهش می‌یابد حرارت ذخیره‌شده در آن‌ها کم‌کم به محیط داخلی منتقل می‌گردد. همچنین پس از تحلیل اقلیم شهر اردبیل در نرم‌افزار کلاسیک کانسلتنت که در بخش مربوط به آن به تفصیل ارائه شده، این نرم‌افزار راهکارهایی را جهت طراحی در این اقلیم ارائه داده است که به شرح تصویر در ادامه آمده است. راهکارهای عملکرد حرارتی ساختمان؛ از جمله پارامترهای حرارتی که بر بار حرارتی ساختمان اثرگذارند:

- دریافت تابش مستقیم که غالباً از طریق سطوح نورگذر پوسته ساختمان صورت می‌گیرد.
- دریافت از طریق پوسته که شامل حرارت دریافتی از دیوارها، سقف، کف، پنجره و سایر اجزای پوسته است.
- دریافت از طریق تهویه و نشت ناخواسته هوا که ناشی از تعویض هوای داخل و خارج و نشت از طریق درزها و شکاف‌های پوسته است.
- دریافت حرارت از عناصر داخلی که شامل تجهیزات و انسان است.
- دریافت داخلی زون‌ها که شامل حرارت جابه‌جاشده بین زون‌های هم‌جوار است.
- دریافت پراکنده تابش که شامل تابش‌های ناشی از بازتاب سطوح است.

فهرست منابع و مآخذ

- احمدزاده سرخکلائی، م و کردجمشیدی، م. (۱۳۹۷). «بررسی عوامل مؤثر در شکل‌گیری معماری پایدار با تأکید بر فرم بنا (نمونه موردی شهرستان سوادکوه)»، نشریه علمی انرژی ایران، دوره ۲۱، شماره ۴.
- حبیب، ف، برزگر، ز و چشمه قصابانی، م. (۱۳۹۳). «رتبه‌بندی پارامترهای مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان با کاربرد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی». نقش جهان، شماره دو، صص ۶۱-۵۵.
- سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۰). تعیین شاخص‌های آسایش حرارتی PMV و PPD و معیارهای آسایش حرارتی موضعی (۱۴۳۸۴).
- سازمان ملی استاندارد ایران. (۱۳۹۰). ساختمان‌های مسکونی - تعیین معیار مصرف انرژی و دستورالعمل معیار مصرف انرژی و دستورالعمل برچسب انرژی (۱۴۲۵۳).
- محمدی، ع، حسینی، سم، ارزنگی، ح. (۱۳۹۶). «شناسایی پهنه‌های مناسب احداث ساختمان‌های بلندمرتبه شهری، مطالعه موردی: شهر اردبیل»، فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، شماره چهارم.
- ناصری، آ و مهرگانی، آ. (۱۳۹۵). «بررسی تأثیر خصوصیات فیزیکی ساختمان‌های مسکونی بر میزان مصرف انرژی (مطالعه موردی شهر خرم‌آباد)»، نشریه علمی - پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، شماره ۱۴، صص ۷۳-۵۹.
- نصراللهی، ن و اکرمی ابرقویی، ف. (۱۳۹۵). «ارزیابی اثر بهره‌وری انرژی ساختمان‌های خاک پناه در کاربری‌های مختلف». فصلنامه علمی پژوهشی مرمت و معماری ایران، شماره ۱۱.
- وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۸۹). مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی (ویرایش ۱۳۸۹).
- وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن. (۱۳۹۸). مقررات ملی ساختمان، مبحث نوزدهم صرفه‌جویی در مصرف انرژی (ویرایش ۱۳۹۸).
- ASHRAE. (۲۰۰۱). ASHRAE Handbook - Fundamentals, Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Inc.
- Ciardiello A, Rosso F, Dellolmo J, Ciancio V, Ferrero M, Salata F., (۲۰۲۰), Multi-objective approach to the optimization of shape and envelope in building energy design, Applied Energy, ۲۸۰.
- Granadeiroa V, Correia JR, Leal VMS. (۲۰۱۳). Envelope-related energy demand: A design indicator of energy performance for residential buildings in early design stages, Energy and Buildings, Vol. ۶۱, pp. ۲۱۵-۲۲۳.
- KazanasmazT, Uygun IE, Akkurt GG. (۲۰۱۴). On the relation between architectural considerations and heating energy performance of Turkish residential buildings in Izmir, Energy and Buildings, Vol. ۷۲, pp. ۳۸-۵۰.
- Korniyenko, S. (۲۰۱۸). Complex analysis of energy efficiency in operated high-rise residential building: Case study, E³S Web of Conferences ۳۳.

Lotfabadi, P. (۲۰۱۰), Analyzing passive solar strategies in the case of high-rise building, Renewable and Sustainable Energy Reviews.

Nasrollahi, F. (۲۰۱۳). Energy efficient housing for Iran, Piolet buildings in Hashtgerd new town. Young cities research paper series, Vol ۰۴.

Nasrollahi, F. (۲۰۱۳). Green Office Buildings Low Energy Demand through Architectural Energy Efficiency, Youngtown cities research paper series, Vol ۰۸.

Nguyen AT, Truong SH, Rockwood D, Le ADT. (۲۰۱۹). Studies on sustainable features of vernacular architecture in different regions across the world: A comprehensive synthesis and evaluation. ScienceDirect.

Olgyay V. (۲۰۱۰). Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism-New and expanded Edition: Princeton university press.