فصلنامه شهـر پایـدار، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸
صص. ۱۲۲-۱۰۹

بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی در بخش مسکونی
مطالعه موردی: شهر همدان

صدیقه لطفی[۱]– استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
عامر نیک‌پور – دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران
محمد سلیمانی – دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۰/۲۳ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۲۱**

چکیده
رشد شتابان و فزاینده شهرنشینی و در پی آن افزایش جمعیت شهرها، پیامدهای مختلفی را در زمینه‌های گوناگون به دنبال داشته است. یکی از این پیامدها، رشد صعودی حدود ۲۰ درصدی میـزان مصـرف و تقاضـای انـرژی در شهرها در سه دهه اخیر بوده است. طبق آمار منتشرشده از سوی آژانس بین‌المللی انـرژی، ایـران نهمـین کشـور تولیدکننده انرژی و دهمین کشور مصرف‌کننده انرژی در جهان است. به این‌گونه که متوسط مصـرف انـرژی بـه ازای هر مترمربع در ایران ۲/۶ برابر متوسط مصرف در کشورهای صنعتی است که در بعضی از شـهرهای کشـور، این رقم به حدود ۴ برابرمی رسد. با روند چنین شرایطی شاید باگذشت چند سال و اندی دیگر قـادر بـه صـادرات نفت نباشیم. پژوهش حاضر باهدف بررسی تأثیر فرم و بافت شهر بر الگوی مصرف انرژی در شهر همدان صورت گرفته است. پژوهش ازنظر ماهیت توصیفی – تحلیلی و بنا بر هدف کاربردی است. روش گردآوری اطلاعات نیـز به‌صورت اسنادی و پیمایشی می‌باشد. جامعه آماری پژوهش شهر همدان می‌باشد. تعداد نمونه‌های موردنظر جهت بررسی میزان مصرف انرژی، ۳۸۸ واحد مسکونی موجود در محلات منتخب می‌باشد. جهت تعیـین فـرم محـلات شهر از ۵ متغیر و ۳ شاخص اصلی تراکم، اتصال و اختلاط کاربری در محیط نرم‌افزار GIS استفاده شد. در ادامـه به بررسی وجود ارتباط بین متغیرهای تحقیق (مشخصه‌های فرم شهری و سـاختمانی بـه‌عنوان متغیـر مسـتقل و اطلاعات میزان مصرف گاز و برق خانوارها به‌عنوان متغیر وابسته) با استفاده از نرم‌افزار SPSS اقدام شـده اسـت. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که بین فرم شهر و میزان مصرف انرژی رابطه معناداری وجـود دارد. به‌گونـه‌ای که فرم‌های فشرده شهری با میانگین ۱۳۴۲۲۲۹۸/۶۶ کیلوژول مصرف انرژی، کارآمـدترین فـرم ازنظـر مصـرف انرژی هستند. در مقابل فرم‌های پراکنده با میانگین ۱۸۲۸۹۸۴۸/۱۰ کیلوژول مصرف انـرژی، ناکارآمـدترین نـوع فرم شهری هستند.

واژگان کلیدی: فرم شهر، الگوی مصرف انرژی، محلات شهری، شهر همدان.

۱. نویسنده مسئول

مقدمه

رشد شتابان و فزاینده شهرنشینی و در پی آن افزایش جمعیت شهرها، پیامدهای مختلفی را در زمینه‌های گوناگون به دنبال داشته است (سیفی،۱۳۹۴: ۱). یکی از این پیامدها، رشد صعودی حدود ۲۰ درصدی میزان مصرف و تقاضای انرژی در شهرها در سه دهه اخیر بوده است (رفیعیان و همکاران،۱۳۹۰: ۸). به‌طورکلی ساکنین شهرها ۸۰-٪۶۰ انرژی جهانی را مصرف می‌کنند (Grubler,1012:1310). که خود از دو جنبه محدود بودن منابع انرژی مورد مصرف و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی قابل‌تأمل است (سیفی،۱۳۹۴: ۱). استفاده از منابع تجدید پذیر انرژی و کارا ساختن مصرف انرژی دو راهکار اصلی تحقق پایداری انرژی بوده که منظور از کارایی انرژی، مصرف بهینه و کارآمد انرژی است و هدف کاهش رشد تقاضای انرژی، کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن، افزایش عرضه انرژی سالم می‌باشد. مطالعاتی که در جهان آغازشده، نشان می‌دهد که ویژگی‌های کالبدی محیط در میزان مصرف انرژی مؤثر خواهد بود. با توجه به نقش الگوی طراحی و برنامه‌ریزی شهری در بهینه‌سازی مصرف انرژی، ضوابط و مقررات در سایر کشورها تهیه‌شده که در کنار مسائل فنی مربوط به ساختمان، حوزه شهرسازی را نیز در برمی‌گیرد (سیفی،۱۳۹۴: ۱). طبق آمار منتشرشده از سوی آژانس بین‌المللی انرژی، ایران نهمین کشور تولیدکننده انرژی و دهمین کشور مصرف‌کننده انرژی در جهان است (خداکرمی و قبادی، ۱۳۹۵: ۱۳). مصرف انرژی کل ایران ۳/۵ برابر بیشتر از ترکیه، ۱۴/۵ برابر بزرگ‌تر از ژاپن و ۵ برابر بالاتر از میانگین انرژی سالانه جهانی است (Soltani,2012:44). به این‌گونه که متوسط مصرف انرژی به ازای هر مترمربع در ایران ۲/۶ برابر متوسط مصرف در کشورهای صنعتی است که در بعضی از شهرهای کشور، این رقم به حدود ۴ برابرمی رسد (زارع شاه‌آبادی و همکاران،۱۳۹۲: ۱۸). این در حالی است که بخش ساختمان نیز بیش از یک‌سوم انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص داده است و سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، بزرگ‌ترین مصرف‌کنندگان انرژی ساختمان به شمار می‌روند (نیک‌پور و همکاران،۱۳۹۷: ۷۲). با روند چنین شرایطی شاید باگذشت چند سال و اندی دیگر قادر به صادرات نفت نباشیم (فتحیان پور،۱۳۸۱: ۲). با توجه اقلیم سرد و خشک شهر همدان و بالا بودن میزان مصرف انرژی‌بخش مسکونی به‌خصوص در فصل سرد سال، لزوم دستیابی به فرم پایدار (فرم شهر و فرم ساختمان) در بهینه‌سازی مصرف انرژی ضروری به نظر می‌رسد. تاکنون موارد مختلفی در ارتباط بین فرم شهر و میزان مصرف انرژی موردبررسی قرارگرفته است، که همگی بر روی بخش حمل‌ونقل یا در جهت کاهش وابستگی ساختمان‌ها به مصرف انرژی جهت تأمین آسایش موردنیاز ساکنین (یعنی تأمین نور، دما، تهویه هوا) صورت گرفته است. لذا در این پژوهش، تلاش بر آن بوده تا تأثیر فرم شهر و ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های (فرم ساختمان) مسکونی بر میزان مصرف انرژی در سطح محله و شهر صورت پذیرد. بنابراین این سؤال به وجود می‌آید: آیا رابطه‌ای بین فرم شهر و میزان مصرف انرژی در بخش مسکونی وجود دارد؟

در ارتباط بافرم شهر و مصرف انرژی مطالعاتی انجام گرفته که به آنها اشاره می‌شود.

آسوریو[1] و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان " درک رابطه بین مصرف انرژی و فرم شهری" به این نتیجه رسیدند که انواع ویژگی‌های فرم شهری بر مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد. بااین‌وجود برخی از معیارها تأثیر کمتری بر مصرف انرژی دارند، درحالی‌که شاخص‌های تراکم مانند تراکم جمعیت رابطه قابل‌توجهی را بر مصرف انرژی نشان می‌دهد. به این‌گونه که بهره‌وری انرژی، توسط مناطقی با تراکم جمعیتی بالا حاصل می‌شود. اوکایل[2](۲۰۱۰) در زمینه فرم بهینه ساختمان و کارایی ازنظر میزان مصرف انرژی تحقیق نموده است. وی در این تحقیق، با تأکید بر تفاوت‌های موجود درزمینه فرم‌های متناسب برای ساختمان‌ها در عرض‌ها و اقلیم‌های متفاوت جغرافیایی، فرم پیشنهادی خود را برای

1 .Osorio
2 .Okeil

بلوک‌های مسکونی ارائه می‌نماید. فرم پیشنهادی وی، بیشترین میزان جذب نور خورشید در زمستان را فراهم آورده و همچنین از میزان اثر جزیره حرارتی در شهرها می‌کاهد. به‌طورکلی، تأکید اصلی و ویژه این تحقیق بر ساختمان و فرم آن به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی می‌باشد. نیک‌پور و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان "تحلیل رابطه میان فرم شهر و مصرف انرژی در بخش مسکن، موردمطالعه: بابلسر: به این نتیجه رسیدند که رابطه معناداری بین مصرف انرژی و فرم ساختمان وجود دارد. همچنین یافته‌های دیگر پژوهش آن‌ها نشان داده است که اگر در فرم‌های فشرده شهری، بافت فرسوده غالب نباشد میزان مصرف انرژی بسیار کمتر از سایر فرم‌ها است. حاجی پور و فروزان (۱۳۹۳) در مقاله" بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی در شهر شیراز" به این نتیجه رسیدند که بین الگوی سکونت و میزان مصرف انرژی عملکردی، رابطه همبستگی قوی وجود دارد. بین کیفیت بنای ساختمان، نوع سازه و مساحت با میزان مصرف انرژی عملکردی رابطه همبستگی با شدت متوسط برقرار است. همچنین خانه‌های حیاط مرکزی با ۶۵ گیگا ژول بر مترمربع دارای بیشترین سرانه مصرف انرژی عملکردی در بین سایر الگوهاست.

مبانی نظری

در تعریف کلی فرم آمده، الگوی توزیع فضایی فعالیت‌های انسان، در برهه‌ای خاص از زمان (Anderson,1996:8). لینچ (۱۹۸۱) نیز، فرم شهری را الگوی فضایی عناصر کالبدی بزرگ، ساکن و دائمی در شهر تعریف می‌کند. درمجموع می‌توان گفت، فرم شهری نتیجه گرد هم آمدن مفاهیم و عناصر متعددی از ساختار شهر است، عناصر این مفاهیم ممکن است مواردی مانند، الگوی خیابان، اندازه و شکل بلوک، طراحی خیابان، شکل‌بندی قطعه، پارک‌ها و فضاهای عمومی و مانند این باشد (رستگار،۱۳۹۶: ۲۲). تعیین الگوی توسعه شهر، ازجمله مواردی می‌باشد که در فرآیند برنامه‌ریزی شهری در مورد آن تصمیم گرفته می‌شود (عباسی و حاجی پور،۱۳۹۳: ۲۴). درواقع الگوی توسعه هر شهر به‌طور مستقیم با میزان گسترش شهر، نحوه مکان‌یابی ساختمان‌های مسکونی، ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌ها ارتباط داشته، که با کمی دقت به ماهیت موارد مذکور، تأثیرگذاری آن‌ها را در میزان مصرف در بخش‌های متخلف انرژی به‌خصوص بخش ساختمان مشخص می‌گردد (frey,2005:4). جنبش نوشهرسازی، یکی از مبانی فکری پشتیبان موضوع انرژی در حیطه شهرسازی می‌باشد. شهرسازی نوین یا نوشهرسازی، جنبشی در ایالات‌متحده است که در اوایل دهه ۸۰ ظهور کرد و با بحث درباره رشد حومه شهری در قالب خلق شهرها و مجتمع‌های کوچک، گسترش بی‌رویه شهرها را به چالش کشید. این جنبش به‌هیچ‌وجه نیازهای حیات مدرن و پسامدرن را رد نمی‌کند، بلکه می‌کوشد در جهت رفع آن‌ها راه‌حل‌هایی کالبدی، فنی و... متناسب با حیات انسانی و حفظ محیطزیست با تأکید بر جایگاه فراموش‌شده انسان و نه اتومبیل، بیابد (caves,2005:332). بررسی منشور نوشهرسازی نشان می‌دهد که این جنبش به‌طور مستقیم بر پایداری و استفاده کمتر از منابع انرژی محدود و تجدید ناپذیر تأکید داشته و توجه به این مهم را در زمره اصول اساسی شکل‌دهی شهرها و اجتماعات زیستی قرار داده است (رفیعیان و همکاران،۱۳۹۰: ۱۰۹). برای نمونه در بریتانیا برآورد می‌شود که مصرف انرژی در ساختمان‌ها شامل حدود ۲۹ درصد از کل مصرف انرژی است. این واقعیت، انگیزه‌ای اساسی در تدوین سیاست‌های پایدار بریتانیا محسوب می‌شود که دولت طی آن از بخش ساخت‌وساز و نظام برنامه‌ریزی کشور انتظار دارد که تمامی ساخت‌های جدید را به‌گونه‌ای طراحی و اجرا کند که فاقد هرگونه انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از مصارف خانگی باشند (نیک‌پور و همکاران،۱۳۹۷: ۷۴). درواقع یکی از روش‌های کم و یا حتی بی هزینه کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها، روش شهرسازی و معماری می‌باشد. روش‌های شهرسازی و معماری کاهش‌دهنده مصرف انرژی، روش‌های پایداری بوده و چه ازنظر اقتصادی و چه ازنظر زیست‌محیطی مناسب‌تر از دیگر روش‌های می‌باشند

(نصراللهی،۱۳۹۰: ۴). به‌طورکلی می‌توان اذعان کرد که مطالعات مرتبط با سنجش ارتباط میان فرم شهری و الگوی مصرف انرژی هنوز در سطح آنچه می‌توان آن‌ها را جنبه‌های محلی مؤثر بر الگوی فرم شهری نامید، مانند فرم فیزیکی ساختمان‌ها هم چون اندازه زیربنا و عرصه بنا، تعداد طبقات و نوع واحدهای مسکونی مانند خانه‌های مستقل، نیمه‌مستقل و ردیفی و غیره همچنان در مراحل اولیه قرار دارند چنین جنبه‌هایی در کل به ابعاد تراکم و مورفولوژی شهری نیز مرتبط می‌باشند. با توجه به این‌که ساختمان‌ها هیچ‌وقت صد در صد عایق‌بندی نیستند، مصرف انرژی و کارایی ساختمان‌ها نیز بی‌شک به فرم فیزیکی آن‌ها مرتبط است. مصرف انرژی با توجه به از دست رفتن گرما به دلیل نوع اسکلت ساختمان، مسئله‌ای کاملاً شناخته‌شده و در صورت یکسان بودن تأثیر دیگر عوامل، مبانی بالقوه مفیدی برای پیش‌بینی و مقایسه الگوی مصرف انرژی در ساختمان‌ها می‌باشد(نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷: ۷۴).

روش پژوهش

در پژوهش حاضر ترکیبی از روش‌های توصیفی – تحلیلی و مطالعه میدانی استفاده‌شده است. در ابتدای کار با استفاده از اطلاعات بلوک‌های آماری مرکز آمار ایران و شیپ‌فایل شبکه معابر شهر همدان که در محیط Gis طبقه‌بندی شدند، به تعیین فرم محلات ازنظر پراکندگی و فشردگی پرداخته شد. درواقع برای تعیین فرم محلات از ۷ متغیر و چهار شاخص اصلی تراکم، اتصال، تمرکز و اختلاط کاربری استفاده شد و برای بی مقیاس سازی شاخص‌ها از روش بهنجار سازی فازی در نرم‌افزار Excel بهره گرفته شد. در بخش دوم به نمونه‌گیری و تعیین محدوده مطالعاتی در شهر همدان پرداخته شد. سپس به‌منظور تکمیل پایگاه داده به انجام مطالعات میدانی برای گردآوری کیفیت ساختمان و میزان مصرف انرژی بر اساس قبوض برق و گاز خانوار در سطح محلات منتخب پرداخته شد. روش نمونه‌گیری در این پژوهش، به‌صورت خوشه‌بندی چندمرحله‌ای بدین‌صورت که پرسشنامه‌ها به‌صورت تصادفی در بین شهروندان هر محله بر اساس تعداد مساکن هر محله، پخش‌شده است. برای تعیین حجم نمونه با توجه به نامحدود بودن جامعه آماری از فرمول کوکران استفاده‌شده است و حجم نمونه برابر با ۳۷۸ واحد مسکونی به دست آمد ولی برای جلوگیری از ریزش اقدام به برداشت اطلاعات مربوط به ۳۸۸ واحد مسکونی شد. روایی پرسشنامه بر اساس اعتبار صوری و پایایی آن از طریق ضریب آلفای کرونباخ برابر با ۰/۷۲۳ محاسبه گردید. همچنین برای تبدیل واحدهای برق و گاز برداشت‌شده از قبوض (برق و گاز) خانوار به واحد انرژی از رابطه: هر یک کیلووات ساعت برابر است با $3/6 \times 10^6$ ژول برای مصرف برق و برای مصرف گاز، با توجه به این‌که هر یک مترمکعب گاز طبیعی ۸۲۰۰ کیلوکالری انرژی دارد و هر کیلوکالری انرژی مقدار ۳۴۳۰۸/۸ کیلوژول انرژی دارد، از این رابطه بهره گرفته شد. در ادامه کار برای تحلیل رابطه میان فرم و انرژی از آزمون‌های آماری ضریب همبستگی پیرسون، اِتا و آزمون t دونمونه‌ای مستقل در نرم‌افزار SPSS استفاده شد.

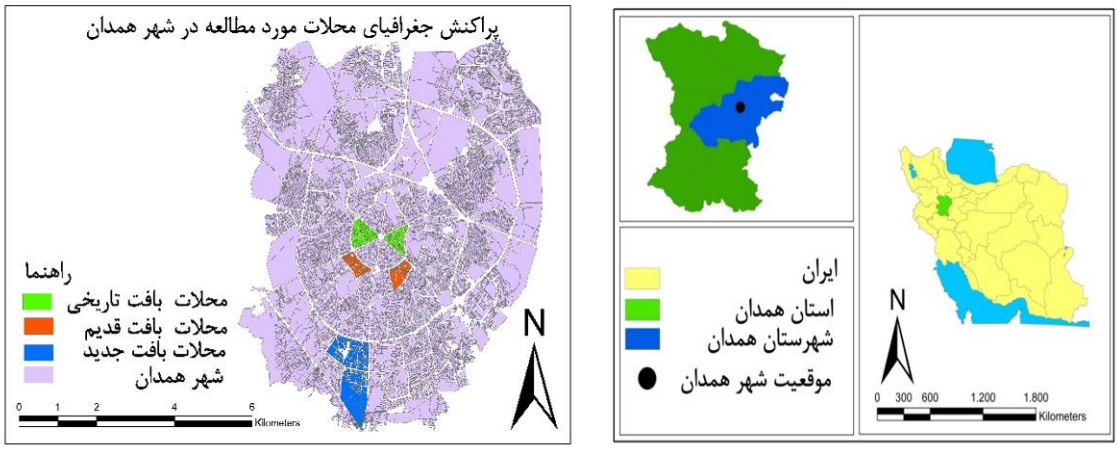
جدول شماره۱. شاخص‌های تعیین فرم محلات شهر

شاخص	زیر شاخص	نحوه محاسبه	توضیحات	منبع
تراکم	تراکم ناخالص مسکونی	$PD=\frac{\text{جمعیت منطقه}i}{\text{مساحت منطقه}i}$	به معنای جمعیت در واحد سطح و معمولاً نفر در هکتار است. به‌طورمعمول این شاخص را در قلمرو شهر یا مناطق درون‌شهری تراکم ناخالص مسکونی نیز می‌گویند. این شاخص حاصل تقسیم جمعیت بر مساحت جغرافیایی موردنظر (ناحیه، شهر، محله) می‌باشد.	(نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) (رضازاده و همکاران، ۱۳۹۵) (ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵)
	تراکم کلی مسکونی	$TRD=\frac{\text{تعداد واحدهای مسکونی منطقه}i}{\text{مساحت منطقه}i}$	این شاخص، حاصل تقسیم تعداد واحدهای مسکونی منطقه موردنظر بر مساحت جغرافیایی همان منطقه می‌باشد.	(نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۶)
	تراکم ساختمانی	$FAR=\frac{\text{مساحت زیربنا(طبقات در)}}{\text{مساحت منطقه}i}$	تراکم ساختمانی برابر است با نسبت سطح زیربنای ساختمان (در تمام طبقات) به مساحت قطعه زمین.	(نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۶)

اتصال	نسبت شبکه ارتباطی کل	$C=\frac{\text{مساحت شبکه ارتباطی منطقه‌ای}}{\text{کل مساحت شبکه ارتباطی}}$	منظور، نسبت مساحت خیابان منطقه، به‌کل مساحت خیابان شهر می‌باشد. هرچقدر مقدار این مساحت بالاتر باشد سهم منطقه از کل شبکه ارتباطی شهر بیشتر است.	(نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۶)
اختلاط	اختلاط کاربری	آنتروپی شانون $H1=\frac{-\sum i=1(Pi)*\ln(pi)}{\ln(m)}$	روش نسبت مساحت کاربری‌ها با استفاده از شاخص آنتروپی شانون استفاده‌شده است. شاخص آنتروپی روشی برای اندازه‌گیری تغییرات، پراکندگی یا تنوع است و نشان‌دهنده مقداری است که کاربری‌ها به‌صورت ناهمگن دریک محله توزیع یا پخش‌شده‌اند. مقدار صفر نشان‌دهنده همگونی است و وقتی اتفاق می‌افتد که تمام کاربری‌های در منطقه از یک نوع باشند. مقدار یک به معنی ناهمگونی کامل است؛ یعنی منطقه موردنظر دارای توزیع یکنواختی ازنظر کاربری‌ها مختلف است.	(پورمحمدی و همکاران، ۱۳۹۴) (حکمت نیا و موسوی، ۱۳۹۰) (لطفی و همکاران، ۱۳۸۷)

محدوده مورد مطالعه

محدوده مکانی تحقیق، شهر همدان است. این شهر با وسعتی حدود ۷۲۵۳ هکتار (ساعد نیا و همکاران، ۱۳۹: ۶). در سال ۱۳۹۵ دارای جمعیتی بالغبر ۵۴۸۳۷۳ نفر می‌باشد (مرکز آمار ۱۳۹۵). این شهر از شمال با کبودرآهنگ و رزن، از شرق با استان مرکزی و از جنوب با ملایر و تویسرکان و از غرب هم با بهار هم‌مرز است (صفی و نظریان، ۱۳۹۳: ۵۶). محدوده موردمطالعه تمام نواحی شهر همدان است. که دربرگیرنده ۴ منطقه، ۱۲ ناحیه و ۷۵ محله می‌باشد. با توجه گستردگی محدوده موردمطالعه، از میان محلات شهر همدان ۶ محله به‌عنوان محلات منتخب برای مطالعه انتخاب گردیدند. ذکر این نکته نیز ضروری که سعی گردید که با توجه به بافت شعاعی شهر همدان، پراکنش محلات به‌گونه‌ای باشد که ۲ محله از بافت تاریخی، ۲ محله از بافت قدیمی و درنهایت ۲ محله از بافت جدید انتخاب شوند. درمجموع می‌توان گفت این محلات منتخب به‌عنوان نماینده‌ای از محلات واقع دریافت‌های مختلف اعم از بافت مرکزی (تاریخی)، میانی (قدیمی)، و بافت پیرامونی (جدید) هستند. شکل شماره (۱)



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

بحث و یافته‌ها

در پژوهش حاضر برای مشخص کردن فرم محلات منتخب از ۳ شاخص اصلی فرم، یعنی اختلاط کاربری، تراکم و اتصال استفاده‌شده است. درمجموع هرکدام از این شاخص‌های موردنظر به زیرشاخه‌هایی تقسیم شدند که در ادامه به‌تفصیل وضعیت هر یک از این شاخص‌ها در سطح محلات منتخب پرداخته‌شده است.

❖ تراکم

تراکم جمعیت

در رابطه با تراکم جمعیت می‌توان گفت طبق تجزیه‌وتحلیل انجام‌شده، تراکم جمعیت در سطح محلات منتخب متوسط تا زیاد است؛ پرتراکم‌ترین محلات، محله حمام قلعه است که ۲۷۳ نفر در هکتار جمعیت دارد. و محله برج قربان کم تراکم‌ترین محله، از بین محلات منتخب است که مقدار تراکم آن ۱۳۰ نفر در هکتار می‌باشد.

تراکم کلی مسکونی

طبق محاسبات انجام‌شده محلات حمام قلعه و سعیدیه هرکدام به ترتیب با ۸۶/۲۳ و ۷۷/۰۱ واحد مسکونی در هر هکتار بیشترین تراکم کلی مسکونی را در بین محلات منتخب دارا می‌باشند که این امر گویایی این است که این محلات بافت متراکم‌تری نسبت به سایر محلات منتخب دارند. همچنین محله برج قربان با ۴۰/۴۰ واحد مسکونی در هر هکتار، پایین‌ترین تراکم را در بین محلات سایر محلات دارد.

تراکم ساختمانی

در این پژوهش درصد تراکم ساختمانی مسکونی بررسی‌شده ارزیابی‌شده است. با توجه به جدول شماره ۲ محله حمام قلعه با رقم ۹۰/۰۱ در رتبه نخست قرار دارد که نشان‌دهنده تراکم بیشتر و فشرده‌تری از ساختمان‌های مسکونی در سطح این محله می‌باشد. همچنین محله سعیدیه با رقم ۸۵/۴۰ در رتبه دوم قرار دارد. و محله برج قربان با ۳۶/۴۳ دارای کمترین درصد از تراکم ساختمانی می‌باشد که نشان‌دهنده تراکم پراکنده‌تری از ساختمان‌های مسکونی می‌باشد.

جدول شماره ۲. توزیع تراکم در سطح محلات منتخب

ردیف	نام محلات	تراکم جمعیت	تراکم کلی مسکونی	درصد تراکم ساختمانی
۱	حاجی	۲۲۰/۹۴	۶۹/۴۱	۶۵/۰۲
۲	حمام قلعه	۲۷۳/۳۲	۸۶/۲۳	۹۰/۰۱
۳	برج قربان	۱۳۰/۹۴	۴۰/۴۰	۳۶/۴۳
۴	چرچره	۱۶۴/۰۵	۵۵/۳۱	۶۰/۶۷
۵	سعیدیه	۲۳۶/۲۱	۷۷/۰۱	۸۵/۱۴
۶	استادان	۱۷۶/۶۷	۵۵/۵۳	۵۶/۲۱

❖ اتصال

مفهوم عینی اتصال به معنی ارتباط فضایی است؛ بدین معنا که هر چه مقدار اتصال بیشتر باشد، تعداد ارتباطات فضای مدنظر و دیگر فضاها بیشتر است. و همچنین هرچقدر میزان اتصال بیشتر باشد به معنی این است که در سطح محلات بلوک‌های ساختمانی بیشتری گنجانده‌شده است، که این خود یکی از رهیافت‌های مهم در فرم‌های فشرده شهری است که در نتیجه به کاهش میزان مصرف انرژی منجر می‌شود.

نسبت شبکه ارتباطی کل

همان‌گونه که از جدول شماره ۳ مشخص است، محله سعیدیه با رقم ۰/۲۱۴ بیشترین سهم از شبکه ارتباطی محلات را دارا می‌باشد، در مقابل محله چرچره با عدد ۰/۱۱۷ کمترین سهم از شبکه ارتباطی کل محلات را به خود اختصاص داده است.

جدول شماره ۳. انواع اتصال در سطح محلات منتخب

ردیف	نام محلات	نسبت شبکه ارتباطی کل	ردیف	نام محلات	نسبت شبکه ارتباطی کل
۱	حاجی	۰/۱۴۱	۴	چرچره	۰/۱۱۷
۲	حمام قلعه	۰/۱۵۵	۵	سعیدیه	۰/۲۳۸
۳	برج قربان	۰/۱۳۲	۶	استادان	۰/۲۱۴

❖ اختلاط کاربری

به مکان‌یابی انواع مختلف کاربری‌ها (مسکونی، تجاری، اداری، تفریحی، و غیره) در کنار همدیگر اشاره دارد که می‌تواند در مقیاس‌های متنوعی شامل اختلاط در درون ساختمان‌ها (مانند خرده‌فروشی در طبقه همکف و ادارات و ساکنان در طبقات بالا)، یا اختلاط در درون خیابان‌ها و یا در داخل محلات مسکونی قابلیت اجراشدن داشته باشد. (قدمی و همکاران،۱۳۹۶: ۴۸). در این پژوهش برای ارزیابی اختلاط کاربری از شاخص کثرت یا تراکم کاربری‌ها، نشان‌دهنده حجم یا مقدار اختلاط کاربری‌ها، استفاده‌شده است. همچنین برای این پژوهش از میان روش‌های تعیین کثرت یا تراکم، روش نسبت مساحت کاربری‌ها با بهره‌گیری از شاخص آنتروپی شانون در نظر گرفته شد. شاخص آنتروپی شانون، روشی برای اندازه‌گیری تغییرات، پراکندگی یا تنوع (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۶: ۹۵).

$$\text{آنتروپی شانون} = -\sum_{i=1}^{n} p \times \text{Ln}(pi).\mathbf{G} = \frac{H}{Ln\ k}$$

در این فرمول Pi، نسبت مساحت هر کاربری از مساحت کل کاربری‌های محله و K، تعداد کاربری‌ها در محله است. با توجه به محاسبات انجام‌شده در سطح محلات منتخب، میزان اختلاط کاربری فقط در سطح محله استادان دارای توزیع یکنواخت‌تری از کاربری‌ها در مقایسه با دیگر محلات است. جدول شماره ۴ اختلاط کاربری در سطح محلات منتخب را نشان می‌دهد.

جدول شماره ٤. اختلاط کاربری در سطح محلات منتخب

ردیف	نام محلات	اختلاط کاربری	ردیف	نام محلات	اختلاط کاربری
۱	حاجی	۰/۲۵۴	۴	چرچره	۰/۲۷۴
۲	حمام قلعه	۰/۲۸۷	۵	سعیدیه	۰/۳۰۵
۳	برج قربان	۰/۲۵۳	۶	استادان	۰/۳۶۴

تعیین فرم محلات

برای تعیین فرم محلات منتخب ۵ شاخص به‌کاررفته و با بهره‌گیری از روش بهنجار سازی فازی امتیازات هر محله بر اساس شاخص‌های بالا محاسبه‌شده است.

$$Positive = \frac{Xij - Min(xij)}{Max(xij) - \min(xij)}$$

$$Negitive = \frac{Max(xij) - xij}{Max(xij) - Min(xij)}$$

در این فرمول Xij، مقدار هر شاخص در محله موردنظر

Max (Xij)، ماکزیمم مقدار هر شاخص در سطح کل محلات

Min (Xij)، مینیمم مقدار هر شاخص در سطح کل محلات

برای استفاده از رابطه بالا، بسته به جهت هر شاخص (مثبت یا منفی)، از رابطه مثبت یا منفی روش بهنجارسازی فازی استفاده می‌شود. بر اساس امتیازات به‌دست‌آمده در جدول شماره ۵، محله سعیدیه با امتیاز ۰/۵۶۱ در رتبه نخست قرار

دارد.

جدول شماره ۵. امتیاز بهنجار سازی فازی در سطح محلات منتخب

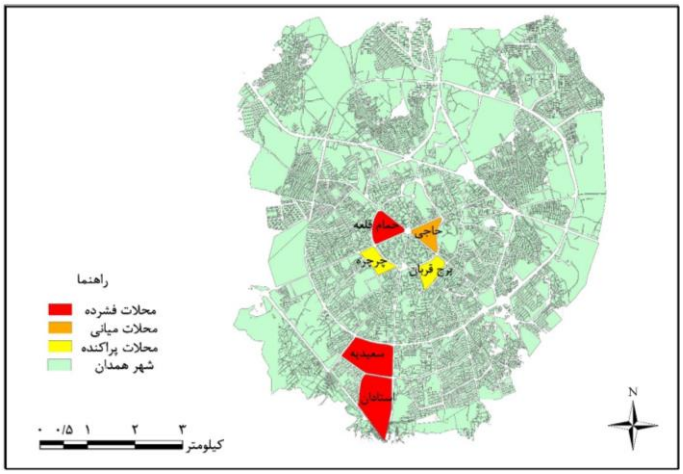
ردیف	نام محلات	امتیاز بهنجار سازی فازی	ردیف	نام محلات	امتیاز بهنجار سازی فازی
۱	حاجی	۰/۲۹۱	۴	چرچره	۰/۱۴
۲	حمام قلعه	۰/۵۱۸	۵	سعیدیه	۰/۵۶۱
۳	برج قربان	۰/۰۲۵	۶	استادان	۰/۴۰۲

برای طبقه‌بندی نهایی فرم از فرمول فاصله تعیین طبقات استفاده شد. بر اساس این فرمول ابتدا بزرگ‌ترین عدد هر طبقه تراکم را منهای کوچک‌ترین عدد همان طبقه نموده و سپس آن را بر تعداد طبقات تقسیم می‌نماییم. همان‌گونه که از جدول شماره ۶ مشخص است، محلات به ۳ نوع فرم (پراکنده، میانی، فشرده) تقسیم شدند. که در این میان محلات برج قربان و چرچره دارای بافت پراکنده، محله حاجی دارای بافت میانی و نهایتاً محلات سعیدیه، استادان و حمام قلعه دارای بافت فشرده هستند. شکل شمار (۲) طبقه‌بندی فرم محلات.

$$\text{فاصله تعیین طبقات} = \frac{MAX-MIN}{K}$$

جدول شماره ٦. طبقه‌بندی فرم محلات منتخب

محلات	دامنه تغییرات	دامنه طبقاتی	نوع فرم
برج قربان، چرچره	۰/۱۷۸	۰/۰۲۵ – ۰/۲۰۳	پراکنده
حاجی	۰/۱۷۸	۰/۲۰۳ – ۰/۳۸۱	میانی (نیمه پراکنده، نیمه فشرده)
سعیدیه، استادان، حمام قلعه	۰/۱۷۸	۰/ ۳۸۱ – ۰/۵۶۱	فشرده



شکل شماره ۲. طبقه‌بندی فرم محلات منتخب از شهر همدان

در رابطه با تحلیل همبستگی باید گفت که با توجه به ماهیت متغیرهای دخیل در محاسبات، از ۳ نوع ضریب همبستگی پیرسون، آزمون t تک نمونه‌ای مستقل و اتا کمک گرفته‌شده است. با مبنا قرار دادن جدول شماره (۷)، می‌توان در مورد تحلیل ضرایب همبستگی جدول شماره (۸ و ۹) قضاوت کرد.

جدول شماره ۷. تفسیر ضرایب همبستگی

تفسیر	ضریب همبستگی
خیلی اندکی و قابل‌چشم‌پوشی	۰/۰ – ۰/۱
اندک	۰/۱ – ۰/۳

متوسط	۰/۵ –۰/۳
زیاد	۱/۰ –۰/۵

همان‌گونه که در جدول شماره ۸ مشاهده می‌شود مؤلفه‌های مربوط به فرم ساختمان در محلات منتخب از طریق آزمون پیرسون مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که بین متغیر مساحت زیربنا (متغیر مستقل) و متغیرهای وابسته مصرف برق (۰/۱۴۷)، مصرف گاز (۰/۳۴۰) و مصرف انرژی (۰/۲۲۸) همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. همچنین بین متغیر عمر ساختمان (متغیر مستقل) و متغیرهای وابسته مصرف برق (۰/۱۳۱)، مصرف گاز (۰/۳۵۰) و مصرف انرژی (۰/۱۸۲) همبستگی مثبت و معناداری وجود دارد. یعنی اینکه با افزایش عمر ساختمان میزان مصرف برق، گاز و مصرف انرژی افزایش می‌یابد. از سوی دیگر همبستگی منفی و معنی‌داری میان مصرف انرژی (متغیر وابسته) و متغیر تعداد طبقات (۰/۱۰۸–) وجود دارد. یعنی با افزایش تعداد طبقات مصرف انرژی کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که بین تعداد اتاق در واحد مسکونی (۰/۱۹۱)، تعداد پنجره در واحد مسکونی و مصرف انرژی همبستگی مثبت و معنی‌داری وجود دارد. (جدول ۸).

جدول شماره ۸ . نتایج حاصل از تفسیر ضرایب همبستگی پیرسون (متغیرهای مساحت، عمر ساختمان، تعداد طبقات، و تعداد پنجره)

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب همبستگی	Sig	تفسیر			
				قابل‌چشم‌پوشی	اندک	متوسط	زیاد
مساحت زیر بنا	میانگین مصرف برق	۰/۱۴۷	۰/۰۰۴		*		
	میانگین مصرف گاز	۰/۳۴۰	۰/۰۰۰			*	
	میانگین مصرف انرژی	۰/۲۲۸	۰/۰۰۰		*		
عمر ساختمان	میانگین مصرف برق	۰/۱۳۱	۰/۰۱۰		*		
	میانگین مصرف گاز	۰/۳۵۰	۰/۰۰۰			*	
	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۸۲	۰/۰۰۰		*		
تعداد طبقات	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۰۸–	۰/۰۳۴		*		
تعداد اتاق	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۹۱	۰/۰۳۳		*		
تعداد پنجره	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۰۹	۰/۰۳۳		*		

نتایج آزمون اِتا نشان می‌دهد که هر یک از متغیرهای ارتباط ساختمان با فضای اطراف، مصالح ساختمانی، نوع اسکلت، جهت‌نما، نوع واحد مسکونی، نوع پنجره، عایق‌بندی دیوار، نوع دیوار و فرم شهر رابطه همبستگی اندک با میزان مصرف انرژی دارند، در مقابل متغیر عایق پشت‌بام با میزان مصرف انرژی رابطه همبستگی متوسط دارد (جدول ۹).

جدول شماره ۹ . نتایج حاصل از تفسیر ضرایب همبستگی آزمون اِتا (متغیرهای مصالح ساختمانی، نوع اسکلت، عایق پشت‌بام و ...)

متغیر مستقل	متغیر وابسته	ضریب همبستگی	Sig	تفسیر			
				قابل‌چشم‌پوشی	اندک	متوسط	زیاد
ارتباط ساختمان با فضای اطراف	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۸۶	۰/۰۱۰		*		
مصالح ساختمانی	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۶۳	۰/۰۲۷		*		
نوع اسکلت	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۳۴	۰/۰۱۸		*		
نوع عایق پشت‌بام	میانگین مصرف انرژی	۰/۴۶۴	۰/۰۰۰			*	
جهت‌نما	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۶۱	۰/۰۴۲		*		
نوع واحد مسکونی	میانگین مصرف انرژی	۰/۲۰۳	۰/۰۰۰		*		
نوع پنجره (دوجداره یا معمولی)	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۷۰	۰/۰۰۱		*		
عایق‌بندی دیوار	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۳۶	۰/۰۰۷		*		
نوع دیوار (دوجداره یا معمولی)	میانگین مصرف انرژی	۰/۲۱۴	۰/۰۰۰		*		
فرم شهر	میانگین مصرف انرژی	۰/۱۲۲	۰/۰۵۱		*		

نتایج حاصل از آزمون t میان متغیرهای پژوهش

همان‌طور که در جدول شماره ۱۰ مشاهده می‌شود ۵ مؤلفه مربوط به فرم ساختمان در بین محلات منتخب از طریق آزمون t مورد آزمون قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بین میانگین مصرف انرژی در واحدهای مسکونی آپارتمانی (میانگین ۱۲۳۱۱۹۶۲/۷۰) و غیر آپارتمان (میانگین ۱۷۷۷۱۸۲۲/۷۱) تفاوت وجود دارد یعنی این‌که میانگین مصرف انرژی در واحدهای مسکونی غیر آپارتمانی بیشتر است و این تفاوت با توجه به آزمون t معنی‌دار (سطح معنی‌داری ۰/۰۵) است. از نتایج دیگر پژوهش این بود که بین واحدهای مسکونی شخصی و استیجاری ازنظر میزان مصرف انرژی تفاوت معناداری وجود ندارد. و این دو گروه از نمونه‌ها با سطح اطمینان ۹۵ درصد در میانگین مصرف انرژی (شخصی ۱۴۲۴۲۲۹۹/۴۲ کیلوژول و استیجاری ۱۴۲۳۶۴۷۹/۸۱ کیلوژول) با هم مشابه هستند. بررسی‌های دیگر از پژوهش نشان‌دهنده آن است که میانگین مصرف انرژی در واحدهای مسکونی که دارای پنجره دوجداره هستند (با ۱۰۶۵۵۹۵۳/۶۵ کیلوژول) کمتر و پایین‌تر از واحدهای مسکونی با پنجره معمولی (۱۵۸۳۵۰۸۱/۲۱ کیلوژول) است. آزمون t نشان می‌دهد که در سطح معنی‌داری کمتر از ۰/۰۵ این تفاوت در میزان مصرف انرژی معنی‌دار است. همچنین نتایج آزمون t نشان می‌دهد که میانگین مصرف انرژی در واحدهای مسکونی با دیوارهای دوجداره پایین‌تر از واحدهای مسکونی با دیوار معمولی است که این میانگین برای دیوارهای دوجداره ۱۰۶۳۷۱۰۴/۶۵ کیلوژول و برای دیوارهای معمولی ۱۶۴۷۷۸۴۷ /۵۰ کیلوژول است. پس طبق شواهد، این آزمون وجود تفاوت در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ را تائید می‌کند. در پایان به بررسی وجود تفاوت در بین واحدهای مسکونی با دیوارهای عایق‌بندی شده پرداخته شد؛ نتایج نشان می‌دهد بین واحدهای مسکونی دارای دیوار عایق‌بندی شده و واحدهایی با دیوار بدون عایق ازنظر میانگین مصرف انرژی تفاوت معناداری وجود دارد. به‌طوری‌که میانگین مصرف انرژی در واحدهای مسکونی با دیوار عایق‌بندی شده ۵۸۳۳۷۹۵/۴۶ کیلوژول کمتر از واحدهای با دیوارهای معمولی می‌باشد.

جدول شماره ۱۰. نتایج آزمون t دو نمونه‌ای مستقل بین متغیرهای فرم و مصرف انرژی

ردیف	متغیر مستقل	متغیر وابسته	گروه‌ها	میانگین مصرف انرژی (کیلوژول)	مقدار T	Sig
۱	نوع واحد مسکونی	مصرف انرژی	آپارتمان	۱۲۳۱۱۹۶۲/۷۰	-۴/۰۶۶	۰/۰۰۰
			غیر آپارتمانی	۱۷۷۷۱۸۲۲/۷۱		
۲	نوع مالکیت	مصرف انرژی	شخصی	۱۴۲۴۲۲۹۹/۴۲	۰/۰۸۰	۰/۷۶۵
			استیجاری	۱۴۲۳۶۴۷۹/۸۱		
۳	نوع پنجره	مصرف انرژی	دوجداره	۱۰۶۵۵۹۵۳/۶۵	-۳/۳۸۴	۰/۰۰۱
			معمولی	۱۵۸۳۵۰۸۱/۲۱		
۴	نوع دیوار	مصرف انرژی	دوجداره	۱۰۶۳۷۱۰۴/۶۵	-۴/۱۱۴	۰/۰۰۰
			معمولی	۱۶۴۷۷۸۴۷/۵۰		
۵	عایق‌بندی	مصرف انرژی	دارای عایق	۹۳۳۹۷۰۲/۳۳	-۲/۶۹۸	۰/۰۰۷
			بدون عایق	۱۵۱۷۳۴۹۷/۷۹		

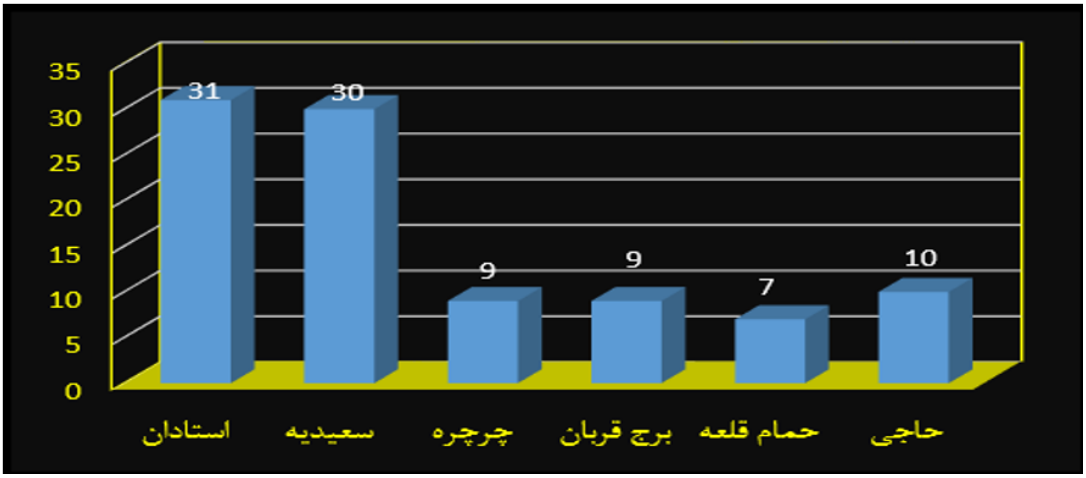
میانگین مصرف انرژی در میان فرم‌های مختلف

پژوهش حاضر نشان می‌دهد که بین فرم‌های مختلف شهری و مصرف انرژی رابطه وجود دارد. به‌طوری‌که فرم‌های فشرده شهری که شامل ۳ محله استادان، سعیدیه، و حمام قلعه است با میانگین ۱۳۴۲۲۲۹۸ کیلوژول مصرف انرژی، کمترین میزان مصرف انرژی را نسبت به سایر فرم‌های شهری به خود اختصاص داده است. به همین دلیل می‌توان این فرم را کارآمدترین گونه فرم شهری ازنظر میزان مصرف انرژی دانست. نکته‌ای که در اینجا وجود دارد این است که با توجه به جدول شماره ۵ محله استادان امتیاز کمتری را از میزان فشردگی نسبت به دو محله سعیدیه و حمام قلعه به خود

اختصاص داده است. ولی با نظر به این نکته که این محله در بافت جدید شهر قرارگرفته است و دارای ساختمان‌های بیشتری با عمر کمتر از ۱۰ سال است. (شکل شماره ۳ که عمر ساختمان‌های کمتر از ۱۰ سال نمونه‌ها را نشان می‌دهد). این محله ازنظر میزان مصرف انرژی با محله سعیدیه تا حدودی در یک سطح باشد. در مقابل محله حمام قلعه در میان سایر بافت‌های فشرده، داری بیشترین میزان مصرف انرژی است، که شاید یکی از دلایل مصرف زیاد انرژی در این محله، قرارگیری این محله در بافت تاریخی شهر باشد که اکثر ساختمان‌های مسکونی دارای بافتی فرسوده هستند. در خصوص مصرف انرژی در بافت میانی، همان‌طور که از جدول شماره ۱۱ برمی‌آید، این بافت با میانگین ۱۵۲۱۷۴۰۳ کیلوژول مصرف انرژی در رتبه دوم ازنظر میزان مصرف انرژی قرار دارد. و درنهایت بیشترین میزان مصرف انرژی به بافت پراکنده شهری اختصاص دارد. که میانگین مصرف انرژی در این فرم برابر است با ۱۸۲۸۹۸۴۸/۱۰ کیلوژول. پس می‌توان گفت که ناکارآمدترین نوع بافت شهری ازنظر میزان مصرف انرژی بافت‌های پراکنده شهری هستند.

جدول شماره ۱۱. میانگین مصرف انرژی با واحد کیلوژول، کیلووات، مترمکعب به تفکیک فرم‌های مختلف شهری

مصرف انرژی	فرم فشرده	فرم میانی	فرم پراکنده
میانگین مصرف انرژی (کیلوژول)	۱۳۴۲۲۲۹۸/۶۶	۱۵۲۱۷۴۰۳	۱۸۲۸۹۸۴۸/۱۰
میانگین مصرف انرژی برق (کیلووات)	۲۶۰/۴۸	۳۰۵/۸۶	۴۰۵/۹۳
میانگین مصرف انرژی گاز (مترمکعب)	۳۲۰/۲۸	۳۷۲/۵۷	۴۲۸/۴۸



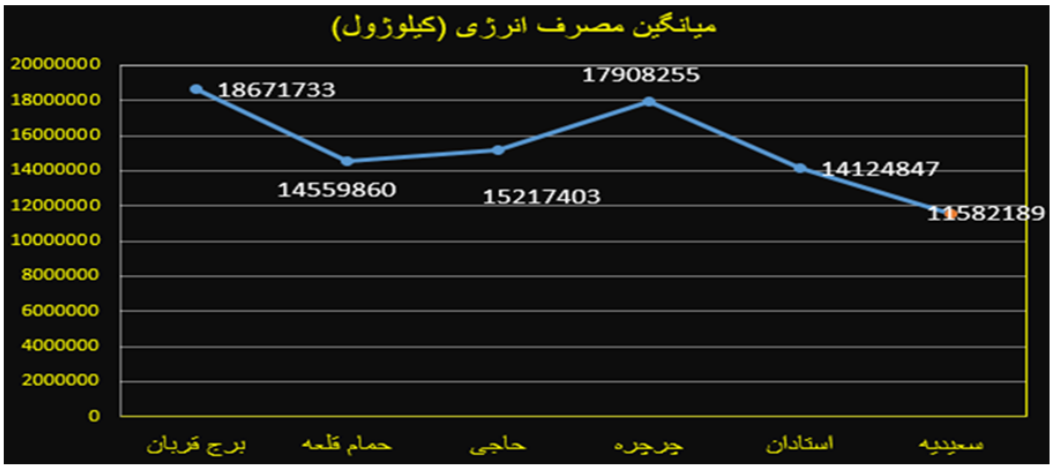
شکل شماره ۳. تعداد ساختمان‌های با عمر کمتر از ۱۰ سال در بین محلات منتخب

مقایسه میانگین مصرف انرژی در محلات منتخب

نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که میانگین مصرف انرژی در سطح محلات منتخب تا حدودی متفاوت است. سعیدیه با میانگین ۱۱۵۸۲۱۸۹ کیلوژول مصرف انرژی، پایین‌ترین میزان مصرف انرژی را در بین محلات منتخب به خود اختصاص داده است. در مقابل محله برج قربان با میانگین ۱۸۶۷۱۷۳۳ کیلوژول بالاترین میزان مصرف انرژی را داشته است.

جدول شماره ۱۲. میانگین مصرف انرژی در محلات منتخب

ردیف	نام محلات	میانگین مصرف انرژی	ردیف	نام محلات	میانگین مصرف انرژی
۱	برج قربان	۱۸۶۷۱۷۳۳	۴	چرچره	۱۷۹۰۸۲۵۵
۲	حمام قعله	۱۴۵۵۹۸۶۰	۵	سعیدیه	۱۴۱۲۴۸۴۷
۳	حاجی	۱۵۲۱۷۴۰۳	۶	استادان	۱۱۵۸۲۱۸۹



شکل شماره٤. میانگین مصرف انرژی در بین محلات منتخب

نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی مصرف انرژی، علاوه بر نقش عمده‌ای که در توسعه اقتصادی کشور خواهد داشت، باعث کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف بی‌رویه انرژی خواهد شد. در کشورهای صنعتی، با تدوین برنامه‌های درازمدت و بر اساس پشتوانه فرهنگی، کاهش مصرف انرژی مورد تأکید قرارگرفته و بدین ترتیب بخش قابل‌ملاحظه‌ای از انرژی به بخش صنعت و تولید اختصاص داده می‌شود. آمارها نشان می‌دهند که مصرف انرژی در بخش مسکن در ایران بهینه نبوده و قابلیت صرفه‌جویی در این بخش وجود دارد. در بخش ساختمان، رعایت مبحث ۱۹ مقررات ساختمانی، یکی از نکات ضروری به شمار می‌رود. علاوه بر آن، لازم است به مقیاس فراتر از ساختمان، یعنی حوزه شهرسازی نیز توجه شود. یکی از مهم‌ترین اقدامات در این زمینه توجه خاص به بازنگری مجدد فرم و عملکرد شهری است. هدف اصلی این پژوهش بررسی تأثیر فرم شهر بر الگوی مصرف انرژی بود. بدین منظور محلات منتخب بر اساس ۵ متغیر و ۳ شاخص اصلی تراکم، اتصال و اختلاط کاربری در سطح فرم فشرده، فرم میانی و فرم پراکنده طبقه‌بندی شدند سپس به انجام مطالعات میدانی در خصوص میزان مصرف انرژی خانوار در سطح محلات پرداخته شد. نتایج نشان داد فرم فضایی و شکل شهر از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان مصرف انرژی در بخش مسکونی است. به این‌گونه که محلات استادان، سعیدیه و حمام قلعه که فرم فشرده‌تری نسبت به سایر محلات داشته‌اند، با میانگین ۱۳۴۲۲۲۹۸/۶۶ کیلوژول مصرف انرژی، کارآمدترین نوع فرم شهری بوده‌اند. و محله حاجی که دارای بافت میانی بوده است میانگین میزان مصرف انرژی آن برابر است با ۱۵۲۱۷۴۰۳ کیلوژول. و درنهایت ۱۸۲۸۹۸۴۸/۱۰ کیلوژول مصرف انرژی، به محله برج قربان و چرچره اختصاص دارد. که می‌توان گفت این محلات ناکارآمدترین محله ازنظر مصرف انرژی در بین محلات موردمطالعه تحقیق بوده‌اند. همچنین بررسی رابطه بین مصرف انرژی و فرم ساختمان‌های مسکونی محلات نشان داد، استفاده از عایق‌بندی با توجه به شرایط آب و هوایی منطقه می‌تواند راهی برای کاهش مصرف انرژی در بخش مسکونی باشد. به این‌گونه که واحدهای مسکونی مجهز به عایق‌بندی با میانگین مصرف انرژی ۹۳۳۹۷۰۲/۳۳ کیلوژول جزء مساکن با مصرف پایین انرژی به شمار می‌روند. از دیگر نکاتی که در بحث انرژی و ساختمان باید به آن توجه خاص نمود استفاده از دیوار دوجداره است. نتایج بررسی در محلات منتخب نشان داد که میانگین مصرف انرژی در دیوارهای دوجداره برابر است با ۱۰۶۳۷۱۰۴/۶۵ کیلوژول. دیوارهای دوجداره در گرمایش ساختمان نقشی اساسی در کاهش مصرف انرژی دارد. همچنین انرژی مصرفی در واحدهای مسکونی که از پنجره دوجداره استفاده می‌کنند ۵۱۷۹۱۲۸ کیلوژول کمتر از واحدهای مسکونی با پنجره معمولی، انرژی مصرف نموده‌اند. بنابراین نتایج این پژوهش حاکی از وجود رابطه معنادار بین فرم شهر

و میزان مصرف انرژی می‌باشد. این نتایج همسو با مطالعات پیشین می‌باشد. همان‌طور که یافته‌های (آسوریو و همکاران، ۲۰۱۷)، (نیک‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) اثرات مثبت فرم‌های فشرده بر کاهش مصرف انرژی را نشان داده‌اند.

برخی از پیشنهادهایی که در خصوص پژوهش حاضر می‌توان ارائه داد عبارت‌اند از:

۱- توجه مدیران و برنامه‌ریزان شهری به مزایای فرم فشرده و هوشمند نسبت به فرم پراکنده.

۲- رعایت ضوابط فنی ساختمان و ارتقای استانداردهای موجود جهت افزایش طول عمر مفید ساختمان‌ها.

۳- یک مطالعه جامع روی پایداری فرم شهر از منظر انرژی، زمانی کامل و جامع محسوب می‌شود که تمامی بخش‌های مصرف‌کننده انرژی در تمامی مقیاس‌های خرد، میانی و کلان در نظر گرفته شوند؛ لذا لازم است که حداقل سه بخش حمل‌ونقل، زیرساخت و مسکن در این تحقیقات در نظر گرفته شوند و هر سه این بخش‌ها در کلان‌ترین حالت تا جزئی‌ترین حالت موردمطالعه قرار گیرند.

منابع

۱) ابراهیم‌زاده آسمین، حسین؛ رخشانی نسب، حمیدرضا؛ سرگلزایی جوان، طیبه (۱۳۹۵) سنجش پراکندگی/ فشردگی شهر زاهدان طی دوره زمانی ۱۳۹۰- ۱۳۳۵، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۱۱، شماره ۴۲، صص. ۲۳۵-۲۱۳.

۲) پورمحمدی، محمدرضا؛ صدر موسوی، میرستار؛ حسین‌آبادی، سعید (۱۳۹۴) ارزیابی الگوی اختلاط کاربری زمین در محلات شهر سبزوار، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۶، شماره ۲۲، صص. ۵۳-۳۴.

۳) حاجی پور، خلیل و فروزان، نرجس (۱۳۹۳) بررسی تأثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی عملکردی در بخش مسکونی، نمونه موردی: شهر شیراز، نشریه هنرهای زیبایی - معماری و شهرسازی، دوره ۱۹، شماره ۴، صص. ۲۶- ۱۷.

۴) حکمت نیا، حسن؛ موسوی، میر نجف (۱۳۹۰) کاربرد مدل در جغرافیا با تأکید بر برنامه‌ریزی شهری و ناحیه‌ای، چاپ دوم، یزد: انتشارات علم نوین.

۵) حمزه رستگار، مجتبی (۱۳۹۶) بررسی تطبیقی تأثیر فرم شهر بر رفتار سفر شهری و مصرف سوخ وسایل نقلیه، مطالعات محیطی هفت حصار، دوره ۵، شماره ۱۹، صص. ۳۰-۱۹.

۶) خداکرمی، جمال و قبادی، پریسا (۱۳۹۵) بهینه‌سازی مصرف انرژی در یک ساختمان اداری مجهز به سیستم مدیریت هوشمند، نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت انرژی، دوره ۲، سال ۶، صص. ۲۳-۱۲.

۷) رضازاده، مرتضی (۱۳۹۵). بررسی تأثیر فرم شهر بر الگوی مصرف انرژی در شهر بابلسر، پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، به راهنمایی عامر نیک پوری، دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران.

۸) رفیعیان، مجتبی؛ فتح جلالی، آرمان؛ داداش پور، هاشم (۱۳۹۰) بررسی و امکان‌سنجی تأثیر فرم و بلوک‌های مسکونی بر مصرف انرژی شهر موردمطالعه: شهر جدید هشتگرد، آرمان‌شهر، دوره ۴، شماره ۶، صص. ۱۱۶- ۱۰۷.

۹) ساعد نیا، فاطمه؛ حسینی، هادی؛ قدرتی، حسین (۱۳۹۵) تحلیل تفاوت‌های فضایی کیفیت زندگی در شهر همدان، مطالعه موردی: شهر همدان، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۷، شماره ۲۵. صص.۱۶-۱.

۱۰) سیفی، بهاره (۱۳۹۴) تدوین راهنمای برنامه‌ریزی مصرف انرژی با تأکید بر کاربری زمین نمونه موردی: سعیدیه شمالی همدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، به راهنمایی نجما اسمعیل‌پور، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه یزد.

۱۱) صرافی، مظفر؛ توکلی‌نیا، جمیله؛ محمدیان مصمم، حسن (۱۳۹۳) اندیشه‌های نو در برنامه‌ریزی شهری، چاپ اول، تهران: انتشارات قدیانی.

۱۲) صفی، سمیه و نظریان، اصغر (۱۳۹۳) نقش ساختار مدیریت شهری در توسعه فرهنگ شهر و شهرنشینی، موردمطالعه: شهر همدان، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۸، شماره ۲۹، صص.۷۳- ۵۱.

۱۳) عباسی، حیدر و حاجی پور، خلیل (۱۳۹۳) تحلیل تجربی تأثیر فرم شهر بر رفتار سفر خانوارها در محلات مختلف شهری شیراز، مجله باغ نظر، دوره ۱۱، شماره ۲۹، صص. ۳۲- ۲۳.

۱۴) فتحیان پور، مژگان (۱۳۸۱) بررسی انرژی مقید در میزان مصرف خانوار، دومین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، صص.۱۱-۱.

۱۵) قدمی، مصطفی؛ بهرامی، یوسف؛ دیلم صالحی، مهسا (۱۳۹۶) تأثیر فرم کالبدی شهر بر شیوه سفر شهروندان، موردمطالعه: شهر ساری، نشریه برنامه‌ریزی توسعه کالبدی، دوره ۴، شماره ۲، صص.۵۶- ۴۵.

۱۶) لینچ، کوین (۱۳۸۷) سیمای شهر، مترجم: منوچهر مزینی، چاپ هشتم، تهران: موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران.

۱۷) مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵، سرشماری عمومی نفوس مسکن.

۱۸) نصراللهی، فرشاد (۱۳۹۰) ضوابط معماری و شهرسازی کاهش‌دهنده مصرف انرژی ساختمان، نشست کمیته ملی انرژی ایران.

۱۹) نیک‌پور، عامر؛ لطفی، صدیقه؛ رضازاده، مرتضی (۱۳۹۷) تحلیل رابطه میان فرم شهر و شاخص دسترسی، موردمطالعه: شهر بابلسر، فصلنامه برنامه‌ریزی فضایی (جغرافیا)، دوره ۷، شماره ۳ (پیاپی ۲۶)، صص. ۱۰۶- ۸۵.

۲۰) نیک‌پور، عامر؛ لطفی، صدیقه؛ رضازاده، مرتضی؛ الهقلی تبار نشلی، فاطمه (۱۳۹۷) تحلیل رابطه میان فرم شهر و مصرف انرژی در بخش مسکنی، موردمطالعه: بابلسر، مجله جغرافیایی و توسعه فضای شهری، دوره ۵، شماره ۱، شماره پیاپی ۸، صص. ۹۲-۷۱.

21) Anderson, W.P. & Kanaroglou, P.S. & Miller, E.I. (1996) Urban Form, Energy And The Environment, A Review Of Issues And Policy, Urban Studies, Vol.33, No.1, pp. 7-35.

22) Caves, Roger. (2005) The Encyclopedia Of The City, London: Routeldge.

23) Fery, Hildebrand. (2005) designing the City Toward a mor sustainable urban form, second edition, London: Taylor & francis Group.

24) Grubler, A. (2012) Urban Energy Systems. In G. W. Team, Global Energy Assessment (GEA) Toward a Sustainable Future, Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA and the International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria, pp 1307-1400.

25) Okeil, A. (2010) A Holistic Approach To Energy Efficient Building Forms, Energy And Buildings,Vol.42, pp.1437–1444.

26) Osorio, B. & McCullen, N. & Walker, I. & Coley, D. (2017) Understanding the Relationship between Energy Consumption and Urban Form, Athens Journal of Sciences, Vol.4, No.2, pp.115-142.

27) Soltani, A. & Mehraein, M. & Ehsan, S. (2012) Urban features and energy consumption at local level, Journal of Urban and Environmental Engineering, Vol.6, No.2, pp.43-47.

28) Weinberg, S. L. & Knapp, S. (2002) Data Analysis For The Behavioral Sciences Using Spss, Cambridge University Press, Cambridge.