

بررسی انطباق‌پذیری محیط شهری با شاخص‌های شهر انرژی پلاس (مطالعه موردی: حوزه جنوب غرب کلان‌شهر مشهد)

دنیا صبری مقدم^۱، حسن وحدانی چرزه خون^۲، علیرضا حسینی^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۱۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۱/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۲۷

نوع مقاله: پژوهشی

صفحه ۴۵ تا ۶۸

چکیده

رشد سریع شهرنشینی و افزایش مصرف انرژی، شهرها را به منابع اصلی آلودگی و گرمایش زمین تبدیل کرده است. این روند به‌ویژه در کلان‌شهرهایی مانند مشهد که با توسعه نامتوازن و مشکلات زیست‌محیطی روبه‌رو است، چالش‌های متعددی ایجاد کرده است. منطقه جنوب غرب مشهد، به دلیل دارا بودن عناصر طبیعی ارزشمند و موقعیت خاص مسکونی، تفریحی و زیست‌محیطی، ظرفیت بالایی برای توسعه پایدار دارد. پژوهش حاضر باهدف ارزیابی میزان انطباق این منطقه با شاخص‌های شهر انرژی پلاس انجام شده است. این مطالعه که ماهیتی کیفی و استقرایی دارد، از روش‌های کاربردی، توصیفی - تحلیلی و موردی بهره گرفته است. داده‌های پژوهش به‌صورت کتابخانه‌ای و اسنادی جمع‌آوری شده و با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) و ابزارهای Arc GIS و Expert Choice تحلیل و رتبه‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد که برخی محلات از جمله سرافرازان، کوثر، آب و برق، دانشجو و رضا شهر، بیشترین میزان انطباق را با شاخص‌های شهر انرژی پلاس دارند. عوامل کلیدی مؤثر در این انطباق شامل سرانه و تنوع کاربری‌ها، توزیع بهینه فضای سبز و باز، تراکم مناسب، جهت‌گیری مطلوب توده‌های ساختمانی و هماهنگی کاربری‌ها است. این پژوهش تأکید دارد که برنامه‌ریزی شهری بر اساس اصول انرژی پلاس، نقشی اساسی در کاهش آلودگی، بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش کیفیت زندگی شهروندان ایفا می‌کند. توسعه شهری همسو با این اصول می‌تواند بهره‌وری منابع را افزایش داده و محیطی پایدارتر برای نسل‌های آینده فراهم سازد. از این‌رو، اجرای سیاست‌های هوشمندانه در طراحی شهری، از جمله استفاده بهینه از انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه زیرساخت‌های پایدار، می‌تواند گامی مؤثر در جهت تحقق شهرهای سبز و کارآمد باشد.

واژگان کلیدی: توسعه پایدار، شهر انرژی پلاس، انطباق‌پذیری، محیط شهری، حوزه جنوب غرب کلان‌شهر مشهد

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، گروه شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

vahdani_h@uma.ac.ir

^۲ استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (نویسنده مسئول)

^۳ استادیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران.

۱. مقدمه

طبق گزارش سازمان ملل، تا سال ۲۰۵۰ حدود ۷۰ درصد جمعیت جهان در شهرها ساکن خواهند بود (عشقی چهاربرج و نظم فر، ۱۳۹۷: ۲). این روند رشد سریع شهرنشینی، علاوه بر افزایش تقاضا برای منابع انرژی، منجر به آلودگی محیطی، افزایش تولید گازهای گلخانه‌ای و تشدید اثرات گرمایش جهانی شده است. مطالعات نشان می‌دهند که دمای زمین از سال ۱۸۸۰ تاکنون به طور میانگین در هر دهه ۰,۰۸ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است (Adamo, et al., 2021). انرژی در توسعه شهری و تمدن بشری نقشی اساسی دارد و مدیریت بهینه آن می‌تواند هزینه‌ها و میزان مصرف را کاهش دهد. شهرها، به‌عنوان مراکز اصلی فعالیت‌های اقتصادی، بالغ بر ۷۰ درصد از انرژی را مصرف می‌کنند (Li, et al., 2012: 3)، این میزان بالای مصرف، همراه با وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی، موجب شکل‌گیری پدیده‌هایی همچون جزایر حرارتی شهری، افزایش آلودگی هوا و آسیب‌های زیست‌محیطی شده است. استفاده گسترده از خودروهای شخصی، فعالیت صنایع آلاینده و توزیع نادرست کاربری‌های شهری، چالش‌های متعددی را در مسیر توسعه پایدار ایجاد کرده و برنامه‌ریزان شهری را به اتخاذ راهکارهای جدید برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی سوق داده است (Kameni, Nematchoua, et al., 2021: 2). بحران ناشی از وابستگی به انرژی‌های تجدیدناپذیر، نیاز به تغییر در سیاست‌های شهری و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را بیش از پیش ضروری ساخته است. با توجه به چالش‌های زیست‌محیطی پیش‌رو، بنابراین نیاز است مناطق شهری به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی و طراحی شوند که از فناوری‌های نوین انرژی تجدیدپذیر بهره ببرند و به سمت مدل‌های انرژی پلاس حرکت کنند تا به ایجاد سکونتگاه‌های پایدار کمک نمایند. نسل جدیدی از شهرهای سبز-هوشمند شامل مناطق صفر انرژی (NZED) یا شهرهای بدون کربن هستند که به کاهش گرمایش جهانی، ارتقای پایداری زیست‌محیطی، ایجاد محیط‌های پاک و سالم کمک می‌کنند و راهی برای مقابله با تهدیدات محیطی همچون تغییرات آب‌وهوایی، گرمای شدید خشکسالی و سیل فراهم می‌آورند (Komninos, 2022: 2). برنامه‌ریزی شهری مبتنی

بر اصول شهرهای انرژی پلاس، با تأکید بر بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، توسعه زیرساخت‌های هوشمند و بهینه‌سازی مصرف انرژی، می‌تواند به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، کنترل دمای شهری و بهبود کیفیت محیط‌زیست کمک کند. این در حالی است که سازمان ملل، توسعه شهرهای سبز و انرژی پلاس را به‌عنوان یکی از راهبردهای کلیدی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار معرفی کرده است (Ascione, et al., 2017: 3). با اتخاذ سیاست‌های صحیح و بهره‌گیری از راهکارهای نوین، می‌توان میانگین دمای شهرها را کاهش داده، اختلاف دمای شب و روز را متعادل ساخت و میزان انتشار کربن را به حداقل رساند، به‌گونه‌ای که محیط شهری به‌جای مصرف انرژی، بتواند بخشی از انرژی مورد نیاز خود را به‌صورت پایدار تولید کند (Cui, Shahzadb.Fatima, & , 2020: 4). با برنامه‌ریزی صحیح و اصول شهرهای انرژی پلاس، می‌توان میانگین دمای شهرها را کاهش داد، اختلاف دمای شب و روز را متعادل کرد و تولید کربن را به صفر رساند، تا محیط شهری به‌جای مصرف انرژی‌های ذخیره‌شده، انرژی مورد نیاز خود را تولید کند. این پژوهش باهدف ارزیابی انطباق‌پذیری منطقه جنوب غربی کلان‌شهر مشهد با شاخص‌های شهر انرژی پلاس، به بررسی ظرفیت این محدوده برای گذار به توسعه پایدار شهری پرداخته و راهکارهایی برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی ارائه می‌دهد. این منطقه، شامل نواحی ۹، ۱۱ و ۱۷، با برخورداری از ساختارهای نسبتاً جدید، زیرساخت‌های در حال گسترش و کاربری‌های متنوع، بستر مناسبی برای پیاده‌سازی اصول مدیریت انرژی پایدار فراهم کرده است. این محدوده، با مساحت ۵۷۳۴,۲ هکتار، بیشترین مساحت را در میان سایر حوزه‌های شهری مشهد داراست و همین امر، اهمیت برنامه‌ریزی دقیق برای توسعه پایدار آن را دوچندان می‌کند. علاوه بر این، وجود کاربری‌های متنوع سکونت، تجاری و تفریحی، همراه با عناصر طبیعی تأثیرگذار، این منطقه را به گزینه‌ای منحصربه‌فرد برای بررسی میزان انطباق‌پذیری با شاخص‌های شهرهای انرژی پلاس تبدیل کرده است. تحلیل این منطقه می‌تواند مدلی دقیق برای سایر بخش‌های شهر مشهد ارائه داده و به تصمیم‌گیران شهری در اجرای سیاست‌های توسعه پایدار، بهینه‌سازی مصرف انرژی

به دلیل چالش‌های اجرایی، ضرورتی ندارد. در عوض، ارزیابی این مناطق باید بر پیامدهای اجتماعی، زیست‌محیطی و اقتصادی مثبت تأکید داشته باشد تا ارتقای عملکرد انرژی در مقیاس شهری محقق شود (Gondeck, 2024). در راستای یکپارچه‌سازی مناطق انرژی مثبت (PED) در شهرهای هوشمند، پژوهش‌ها بر لزوم سیاست‌های حمایتی، هماهنگی میان ذینفعان، و توسعه فناوری‌های دیجیتال مانند اینترنت اشیا (IoT) و سیستم‌های مدیریت انرژی هوشمند تأکید دارند. همچنین، تدوین چارچوب‌های استاندارد طراحی و اجرای PEDها، همراه با مشارکت شهروندان و بهره‌گیری از فناوری‌های نوین، نقش کلیدی در تحقق شهرهای پایدار ایفا می‌کند (Maestosi, 2020). مناطق انرژی مثبت (PED) به‌عنوان پاسخی نوین به تغییرات اقلیمی و ضرورت گذار به مدل‌های کم‌کربن از سال ۲۰۱۸ مطرح شده‌اند. با این حال، اجرای آن‌ها با چالش‌هایی نظیر محدودیت‌های فنی، کمبود سیاست‌های حمایتی، و موانع مالی و اجتماعی همراه است. رفع این موانع مستلزم اتخاذ رویکردهای یکپارچه، توسعه سیاست‌های حمایتی و تقویت همکاری میان ذینفعان است (Sassenou, 2024). ارتقای کیفیت زندگی شهری از طریق ایجاد شهرهای سازمان‌یافته، پاک و زیست‌پذیر موجب بهبود زندگی شهروندان و افزایش احساس رضایت می‌شود. این محیط‌های باکیفیت بر امنیت، سلامتی، توسعه اجتماعی و اقتصادی تأثیر دارند و به حفظ محیط‌زیست کمک می‌کنند (حیدری سورجانی و همکاران، ۱۴۰۲). کیفیت محیط شهری در برنامه‌ریزی معاصر به‌عنوان عاملی مهم برای توسعه هوشمند و پایدار مورد تأکید است. با این حال، رشد سریع و بی‌رویه شهرها در کشورهای در حال توسعه باعث بروز بحران‌های محیطی و کاهش کیفیت محیط شهری شده است. به طور کلی، هرچه کیفیت محیط شهری بیشتر باشد، توانایی توسعه پایدار شهر نیز افزایش می‌یابد (محمد ابراهیمی جهرمی و اشنویی نوش آبادی، ۱۴۰۲). هرچقدر میزان کیفیت یک محیط شهری بیشتر باشد، آن شهر توانایی توسعه هوشمند و پایدار را دارد.

۳. روش تحقیق

تحقیق حاضر از نوع کیفی است؛ به این دلیل که شاخص غیرقابل اندازه‌گیری همچون اصول شهرهای انرژی پلاس را در

و ارتقای کیفیت زندگی شهروندان کمک کند. افزون بر این، بررسی این محدوده می‌تواند مبنای علمی و اجرایی ارزشمندی برای طراحی و توسعه شهرهای هوشمند و پایدار در سطح ملی فراهم آورد.

۲. پیشینه تحقیق

باتوجه به ضرورت کاهش مصرف انرژی در محیط شهری، پژوهش‌ها نشان داده‌اند که بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر و طراحی متناسب ساختمان‌ها نقش مؤثری در ارتقای بهره‌وری انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی دارد. به‌عنوان نمونه، مطالعاتی که به بررسی نقش هم‌افزایی انرژی‌های تجدیدپذیر (RE)^۱ در توسعه ساختمان‌های با انرژی خالص صفر (NZEB)^۲ پرداخته‌اند، تأکید کرده‌اند که تعریف و پیاده‌سازی این ساختمان‌ها باید بر اساس ویژگی‌های محلی و اقلیمی تنظیم شود تا انطباق‌پذیری بهتری با شرایط موجود داشته باشند (Noh, et al., 2024). همچنین، بهینه‌سازی مصرف انرژی و مدیریت ساختمان‌های انرژی پلاس (ZEB)^۳ در اقلیم‌های مختلف، همچون تهران، نشان می‌دهد که با استفاده از فناوری‌های نوین مانند بام سبز، می‌توان به کاهش مصرف انرژی و آلودگی کمک کرد (Shaterabadi, et al., 2023). محله‌های انرژی پلاس پایدار با رویکردی کل‌نگر و بهره‌گیری از شاخص‌هایی چون کیفیت محیط داخلی، عملکرد انرژی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، بستر مناسبی برای توسعه محیط‌های شهری پایدار و هوشمند فراهم می‌کنند (Salmon, et al., 2021). همچنین، طراحی زیرساخت‌هایی نظیر پارکینگ‌های مجهز به شارژر خودروهای برقی با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بیانگر نقش فناوری‌های نوین در ارتقای زیرساخت‌های شهری است. نتایج مطالعات نیز نشان می‌دهد که سکونتگاه‌های انرژی پلاس، از طریق تمرکز بر بهره‌وری انرژی و تولید از منابع تجدیدپذیر، می‌توانند نقش مؤثری در تحقق توسعه پایدار شهری ایفا کنند (Verma, et al., 2019). در زمینه ارزیابی و استانداردسازی مناطق انرژی پلاس، مطالعات متعددی صورت گرفته است. یکی از این پژوهش‌ها با بررسی سه پروژه‌ی مناطق انرژی مثبت (PED) در اروپا، نشان می‌دهد که تمرکز صرف بر تعادل انرژی مثبت،

باتوجه به ویژگی‌های خاص خود دارای عملکرد متفاوت است. از سوی دیگر شهر انرژی پلاس شهری است که بیشتر انرژی تجدیدپذیر تولید می‌کند تا مصرف کند و در نتیجه خالص صادرکننده انرژی است. این رویکرد به‌ویژه در مورد توسعه مناطق نوساخت در یک شهر مرتبط است که حوزه جنوب غرب به واسطه جدیدالاحداث بودن و وجود عناصر طبیعی زیاد در این حوزه، از این قابلیت برخوردار است. این رویکرد پیشگیرانه می‌تواند به مزایای بلندمدت در زمینه کارایی انرژی، تولید انرژی تجدیدپذیر و ایجاد جوامع قابل سکونت و دوستدار محیط‌زیست منجر شود و به پایداری و تاب‌آوری انرژی محیط شهری کمک می‌کند.

۵. مبانی نظری

جنبش‌های مختلف شهرسازی از دهه ۱۹۶۰ به‌منظور پاسخ به بحران‌های محیط‌زیستی شکل گرفتند و به دنبال ایجاد محیط زندگی سالم‌تر و باکیفیت‌تر بودند. تعریف دقیقی برای "شهر انرژی پلاس" وجود ندارد، اما رویکردهایی که به این مفهوم نزدیک هستند، در جدول ۱ ارائه شده‌اند.

توانمندی‌های خود دست یابند (نظام
فر و همکاران، ۱۳۹۷).

۴	۱۹۹۰	نوشهرسازی ^۷	نوشهرسازی واکنشی به پراکندگی شهری و یک رویکرد مؤثر برای مقابله با جوامع وابسته به اتومبیل است، جایی که هر سفر با ماشین انجام می‌شود (گلشاهی و همکاران، ۱۴۰۰).
۵	۱۹۹۰	توسعه نوستی محلات (TND) ^۸	این رویکرد باهدف احیای محلات شهری و بازگرداندن پویایی به ساختار شهر، نیازهای مدرن و پسمادرن را رد نکرده و تلاش می‌کند تا با ارائه راه‌حل‌های کالبدی و فنی هم‌راستا با حیات انسانی و محیط‌زیست به این نیازها پاسخ دهد (متقی و همکاران، ۱۴۰۱).
۶	اواخر ۱۹۹۰	شهر سبز ^۹	ایده شهر سبز به‌عنوان راه‌حلی برای مشکلات زیست‌محیطی و در راستای توسعه پایدار مطرح شده و به مدیریت اکولوژیکی می‌پردازد (یزدانی و همکاران، ۱۴۰۰).

محیط شهری انطباق می‌دهد و با بررسی محیط شهری در نهایت به یک کلیت و قانون می‌رسد و از آنجایی که از جزء به کل بررسی می‌شود استراتژی تحقیق استقرایی است؛ همچنین این تحقیق از نوع تحقیقات اجرایی و عملی است و با تولید دانش سروکار ندارد و با استفاده از یافته‌های تحقیقات بنیادی درصدد حل مشکلات گوناگون برمی‌آید پس به لحاظ هدف کاربردی است بر اساس ماهیت و روش، توصیفی و تحلیلی است و چون در این تحقیق انطباق‌پذیری اصول شهرهای انرژی پلاس در محیط شهری حوزه جنوب غرب کلان‌شهر مشهد مورد بررسی قرار می‌گیرد. روش تحقیق از نوع موردی هم نیز است. گردآوری داده‌ها بر بستر روش کتابخانه‌ای اسنادی صورت‌گرفته و با استفاده از روش‌های تحلیل نظام‌مند و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و ابزاری همچون ARC GIS استفاده شده است.

۴. معرفی نمونه موردی

کلان‌شهر مشهد واقع در استان خراسان رضوی که پس از تهران دومین شهر بزرگ ایران است. بر اساس تقسیم‌بندی اسناد فرادست، دارای ۷ حوزه برنامه‌ریزی است و هر حوزه جدول ۱. تعاریف و ویژگی‌های رویکردهای مختلف در حوزه توسعه پایدار (نگارنده)

ردیف	سال	رویکرد	تعریف
۱	۱۹۷۰	شهر پایدار ^۴	هدف اصلی شهرهای پایدار، برقراری تعادل بین فعالیت‌های اجتماعی، اقتصادی و حفاظت از محیط‌زیست برای ارتقای جوامع کم‌کربن و زندگی پایدار است (Abubaka & Alshammari, 2023).
۲	۱۹۶۰- ۱۹۷۰	شهر هوشمند ^۵	شهر هوشمند به‌عنوان یک سیستم جامع از زیرسیستم‌های شهری، به‌منظور توسعه سبز و بهبود مسائل مختلفی مانند ترافیک، مصرف انرژی و آلودگی فعالیت می‌کند (et .Hu, 2021.al).
۳	۱۹۸۴	شهر سالم ^۶	این مفهوم به شهرهایی اشاره دارد که به طور مداوم در حال بهبود شرایط محیطی و اجتماعی و توسعه منابع اجتماعی هستند، به‌طوری که افراد بتوانند به طور مشترک به حداکثر

امنیت انرژی و سازگاری با محیط‌زیست (صادقی و همکاران، ۱۳۹۵).	این رویکرد به دو چالش جهانی، یعنی رشد سریع شهرنشینی و تغییرات آب‌وهوایی، پاسخ می‌دهد و سعی دارد با استفاده از اکوسیستم، تأثیرات خود را کاهش دهد و توانمندی در حمایت از موجودات را افزایش دهد (یزدانی و همکاران، ۱۴۰۰).	۷	اوایل قرن ۲۰	شهر اکولوژیک ^{۱۰}
شهر کم‌کربن به‌عنوان بخشی از رویکرد شهر پایدار، بر کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای و دی‌اکسید کربن در مناطق شهری تمرکز دارد (جمعه پور و معتدل، ۱۴۰۱). همچنین، اصطلاح "کربن صفر" به کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی ساختار انرژی اشاره دارد و به افزایش استفاده از منابع کم‌کربن و تجدیدپذیر در شرایط کنونی بحران انرژی تأکید دارد (2023, et al. Peng).	کارایی انرژی به‌عنوان یکی از روش‌های مقرون‌به‌صرفه‌تر برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی، افزایش امنیت انرژی، ارتقای رقابت‌پذیری صنعت و کاهش گازهای گلخانه‌ای در چارچوب توسعه پایدار، نقش حیاتی در دستیابی به سه هدف اساسی انرژی دارد: رقابت اقتصادی،	۸	۲۰۰۶	کارایی انرژی ^{۱۱}

به انتقال مازاد انرژی تولیدی به سایر بخش‌های شهر هستند. این رویکرد در بسیاری از پروژه‌های شهری اروپا به‌عنوان ابزاری برای کاهش انتشار کربن و ارتقای پایداری محیط‌زیستی مورد استفاده قرار می‌گیرد (2022, et al. Derkenbaeva).

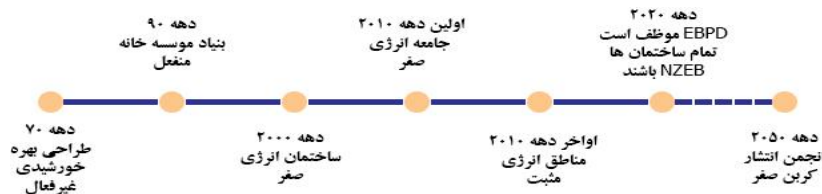
بخش ساخت‌وساز با تولید سالانه یک میلیارد تن زباله سالانه و سهم یک‌سومی در انتشار گازهای گلخانه‌ای، نقش حیاتی در کاهش تغییرات آب‌وهوایی ایفا می‌کند. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۵۰ با افزایش ۶۰ درصدی محیط شهری، اهمیت این بخش بیشتر خواهد شود (Koc Andric, Al. & 2019: 8, Ghamdi).

کربن را نسبت به سال ۱۹۹۰ به میزان ۸۰ تا ۹۵ درصد کاهش دهد. دستورالعمل‌های مرتبط با انرژی ساختمان‌ها و بهره‌وری انرژی بر کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از مصرف انرژی و نگهداری ساختمان‌ها تمرکز دارند (et. Gallego-Schmida, 2020: 2, al.).

شهر انرژی پلاس به شهری اطلاق می‌شود که ضمن کاهش تولید کربن و بهینه‌سازی مصرف انرژی، توانایی تأمین مستقل انرژی مورد نیاز خود را دارد. این شهرها با بهره‌گیری از فناوری‌های تجدیدپذیر، سامانه‌های ذخیره‌سازی انرژی و ابزارهای هوشمند، در پی ایجاد تعادل پایدار میان تولید و تقاضای انرژی بوده و باهدف حفظ محیط‌زیست، وابستگی به منابع انرژی سنتی را کاهش می‌دهند (et al. Salom, 2021: 2).

مفهوم منطقه انرژی مثبت (PED)^{۱۳} و محله‌های انرژی مثبت (PENS)^{۱۴} به‌عنوان ابزارهای کلیدی برای کاهش انتشار کربن در ساختارهای شهری اروپا مطرح شده‌اند. منطقه انرژی مثبت به‌عنوان ناحیه‌ای است که می‌تواند انرژی بیشتری از نیازهای خود از منابع تجدیدپذیر تولید کرده و مازاد آن را به بخش‌های دیگر شهر منتقل کند (et al. Moreno, 2021: 2).

مناطق انرژی مثبت به نواحی تعریف می‌شوند که با استفاده از فناوری‌های انرژی تجدیدپذیر، بهینه‌سازی مصرف انرژی، و سیستم‌های هوشمند، علاوه بر تأمین نیازهای انرژی خود، قادر



تصویر ۱. فرایند شکل‌گیری به سمت مفهوم مناطق انرژی مثبت (4, 2022, et al. Casamassima)

همراه است؛ چراکه اقتصاد قوی‌تر نیازمند انرژی بیشتری است (آشنا و حسن‌آبادی، ۱۳۹۹: ۱۴۶).

ویژگی‌های فیزیکی مناطق شهری، مانند برنامه‌ریزی کاربری زمین و تراکم، تأثیر زیادی بر مصرف انرژی دارند. این برنامه‌ریزی با بهبود فرم شهر، حمل‌ونقل و ساختمان‌ها می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و اثرات تغییرات اقلیمی کمک کند (زنگنه شهرکی و منصوری اطمینان، ۱۴۰۲). یکی از عوامل کلیدی برای کاهش مصرف انرژی و دستیابی به پایداری، درک و اصلاح فرم شهر است. مطالعات انجام‌شده از ۱۹۷۴ تا ۲۰۱۹ در هفت حوزه مانند ساختمان، کاربری زمین، حمل‌ونقل و جزایر حرارتی نشان می‌دهند که اصلاح فرم شهرها می‌تواند به کاهش اثرات منفی زیست‌محیطی کمک کند (امیر فخریان و سفالگر، ۱۴۰۲: ۱۰۶). در کشورهای جهان سوم، بخش‌های حمل‌ونقل و سکونت بیشترین مصرف انرژی را دارند، به‌ویژه ساختمان‌ها که ۴۰ درصد انرژی و گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کنند. این امر انرژی را به اولویت سیاست‌های مسکن و توسعه شهری پایدار تبدیل کرده است. عوامل کلیدی در مدیریت انرژی شامل کاربری مسکونی، اختلاط کاربری‌ها، پیکربندی خیابان‌ها و رشد عمودی هستند (امیر فخریان و سفالگر، ۱۴۰۲). بنابراین، برنامه‌ریزی شهری دقیق و طراحی‌های پایدار می‌تواند مصرف انرژی و آلودگی محیطی را کاهش دهد.

۵-۱. نظریه‌های مرتبط با شهر انرژی پلاس

نظریه گیدنز^{۱۵} محیط‌زیست را به‌صورت جهانی و سیستمی تبیین می‌کند و ابعاد اقتصاد، سیاست و فرهنگ را یکپارچه‌سازی می‌کند تا تصویری جامع از تمدن جدید ارائه دهد. کشورهای کمتر توسعه‌یافته با مشکلاتی مانند جنگل‌زدایی، آلودگی و بیابان‌زایی مواجه هستند (محرّم نژاد و تهرانی، ۱۳۸۹). بکیو و همکاران بر تعریف شهر "پساگرایی" تمرکز دارند و تأکید می‌کنند که ساختمان‌های با صفر انرژی (ZEB) نقش مهمی در کاهش انتشار کربن در مناطق شهری دارند. انتقال این مفهوم از ساختمان‌های فردی به مجتمع‌های ساختمانی می‌تواند محدودیت‌های کاربری، اندازه، و دسترسی به انرژی تجدیدپذیر را کاهش دهد (et al. Mavrigiannaki, 2021: 2).

گسترش مناطق شهری منجر به تبدیل زمین‌های کشاورزی به ساختمان‌ها و افزایش انتشار CO₂ می‌شود، درحالی‌که حفظ فضاها سبز به جذب CO₂ کمک می‌کند. همچنین، بی‌نظمی و فشردگی در مناطق شهری بر انتشار CO₂ تأثیر دارد (Zhi, et al. 2024: 2). تغییر کاربری زمین ناشی از شهرنشینی حدود ۳۰٪ از کل انتشار CO₂ انسانی را تشکیل می‌دهد و در کشورهای درحال توسعه عامل مهمی در این زمینه است. این تغییرات، ظرفیت طبیعی جذب کربن را کاهش داده و موجب افزایش انتشار کربن ناشی از مصرف انرژی می‌شود (et al. 2024). آژانس بین‌المللی انرژی پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۳۰، حدود ۷۳ درصد از مصرف انرژی جهان مربوط به کلانشهرها خواهد بود. ساختار شهری تأثیر مستقیمی بر الگوی سفر ساکنان و میزان مصرف انرژی آن‌ها دارد. عواملی مانند سطح استفاده، تراکم جاده‌ها و فاصله تا محل کار در این تأثیرگذاری نقش مهمی ایفا می‌کنند، چرا که حمل‌ونقل ۳۰ درصد از مصرف انرژی جهانی را به خود اختصاص می‌دهد (Winkler, et al. 2023). نبود توازن میان نیازهای سفر و زیرساخت‌های حمل‌ونقل باعث مشکلاتی از قبیل حوادث جاده‌ای، ترافیک سنگین، آلودگی هوا و صدا، مصرف غیر بهینه انرژی و کاهش کیفیت زندگی افراد می‌شود (et al. Demir, 2022). بنابراین، توسعه زیرساخت‌های حمل‌ونقل عمومی و بهینه‌سازی سیستم‌های حمل‌ونقل شهری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

شهرها بیشترین نرخ انتشار گازهای گلخانه‌ای را دارند و با افزایش جمعیت، این نرخ بیشتر می‌شود. رشد ساخت‌وساز و بهره‌برداری نادرست از منابع انرژی منجر به کاهش کیفیت هوا، افزایش مرگ‌ومیر و تسریع تغییرات آب‌وهوایی می‌شود (Zavadskas, et al. 2017: 2). شهرنشینی اگرچه باعث رشد اقتصادی می‌شود، اما مشکلاتی مانند تراکم ترافیک، آلودگی هوا و مصرف بالای انرژی نیز ایجاد می‌کند. عوامل مختلفی بر میزان مصرف انرژی و آلودگی هوا تأثیرگذارند. یکی از این عوامل، رشد جمعیت است که باعث افزایش تقاضا برای مواد غذایی و سایر کالاها شده و منجر به بهره‌برداری گسترده‌تر از منابع طبیعی و افزایش آلودگی می‌شود. عامل دیگر، رشد اقتصادی است که با افزایش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها

جدول ۲. مدل‌ها، رویکردها و معیارهای شهر کم‌کربن (قائم و همکاران، ۱۳۹۵)

شاخص	مدل یکپارچه سیستم‌های	در اندازه‌گیری پایداری، کاهش کربن، تکنیک‌های مدل‌سازی، تجزیه و تحلیل سود و هزینه برای بهینه‌سازی در پایدار
	مدل طرح کاربردی انرژی	این مدل به کاهش انتشار کربن‌دی‌اکسید و مصرف انرژی توسط کاربران می‌پردازد و از نتایج پرسش‌نامه برای شناسایی پایدار زمینه‌های عمل و فرصت‌ها استفاده می‌کند.
رویکرد	مدل مفهومی برنامه‌ریزی شهر کم‌کربن	تأکید بر پنج معیار شهر کم‌کربن: هماهنگی با سیستم طبیعی، سلامت انسان، آسایش روحی و ذهنی، محیط ساخته‌شده قابل‌زندگی و جامعه عدالت‌محور، رعایت اصول محیط‌زیستی و حفظ تعادل
	رویکرد فرمی	توجه به چیدمان فضایی محله، تراکم ارتفاعی و الگوی ساخت به‌منظور تحقق محله کم‌کربن
معیارها	رویکرد کاربردی/فعالیتی	توجه به مقررات کاربری اراضی و اختلاط کاربری به‌منظور تحقق محله کم‌کربن
	رویکرد فرهنگی	مشارکت حداکثری مردم و آموزش و فرهنگ‌سازی و توجه به تغییر سبک زندگی
	رویکرد زیست‌محیطی	زیست مسالمت‌آمیز با طبیعت به‌منظور تحقق محله کم‌کربن
	برخورداری از اقتصادی متکی به منابع منطقه‌ای و محلی	به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر و کم‌کربن در الگوی تولید انرژی در سطوح شهری و منطقه‌ای
	برخورداری از سیستم حمل‌ونقل نوین و نیز تسهیل‌کننده فرایندهای پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری، و حمل‌ونقل عمومی	مدیریت منابع آب و طراحی چرخه بازیافت منابع طبیعی و تولیدات صنعتی - مصنوعی
	برخورداری از الگوی مدیریت هدفمند پسماندهای شهری و جلوگیری از تلفات انرژی با استفاده از افزایش کارایی تکنولوژی	بازیابی خدمات زیست‌محیطی احتمالی ناشی از الگوهای غلط تولید و مصرف انرژی
	تضمین حقوق شهروندی برای تمامی اقوام و آحاد جامعه، به‌منظور ارتقای حس مسئولیت‌پذیری در جامعه شهری	

دیجیتالی‌سازی محله‌های هوشمند مبتنی بر فناوری اطلاعات و ارتباطات، مدیریت بهینه‌ای برای شهروندان فراهم می‌کنند.	طراحی محله‌های شهری با طراحی جذاب و یکپارچه انرژی، معماری و فضاهای بیرونی، جذابیت بازار را افزایش می‌دهند.
--	--

نمودار زیر به بررسی اهداف، اصول، و ابعاد کلیدی شهر انرژی پلاس می‌پردازد و بیانگر آن است که چگونه اهدافی مانند ارتقای کیفیت زندگی شهروندان، ایجاد فضاهایی با کاربری مختلط، تشویق حمل‌ونقل عمومی، آگاهی از موضوعات سلامت، ایجاد جوامع قابل زیست و پاک و ایجاد فرصت‌های شغلی می‌توانند در راستای اصولی مانند ذخیره‌سازی انرژی و افزایش کارایی انرژی در بخش کاربری زمین و حمل‌ونقل، ایجاد الگوهای متنوع حمل‌ونقلی و ساختمان‌های سبز ایجاد ساختارهای شهری فشرده قرار دارند.

طبق گفته سالمون و همکاران، مفهوم محله انرژی پلاس پایدار (SPEN)^{۱۶} به مجموعه‌ای از ساختمان‌های متصل اشاره دارد که تنها به ساختمان‌ها و سیستم‌های فنی معمول محدود نمی‌شود، بلکه هدف اصلی آن کاهش مصرف انرژی اولیه به صفر در طول یک سال و افزایش استفاده و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر است. SPEN باید در پنج حوزه به نام مناطق ۵ بعدی متمرکز شود:

جدول ۳. حوزه‌های محله‌های پایدار انرژی پلاس

(Salom, et al., 2021)

حوزه	توضیحات
تمرکززدایی	محله‌ها با ارائه انعطاف‌پذیری، امکان نفوذ بیشتر منابع انرژی تجدیدپذیر به شبکه را فراهم می‌کنند.
دموکراسی	کاربران توانمند و آگاه به خانه‌های مقرون‌به‌صرفه و محله‌های باکیفیت دسترسی دارند.
کربن‌زدایی	مناطق کارآمد با حداقل مصرف انرژی و تولید انرژی مازاد از منابع تجدیدپذیر، به آب‌وهوای خنثی کمک می‌کنند.

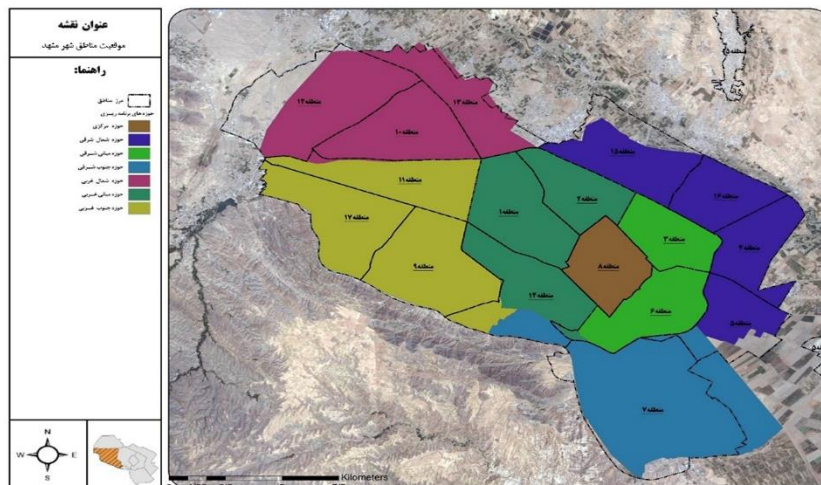


نمودار ۱. اهداف، اصول، ابعاد و معیارهای شهر انرژی پلاس (نگارنده)

۶. بحث و یافته‌های پژوهش

تعامل میان پهنه‌های خدماتی، سکونتی و اراضی طبیعی، مورد استقبال است. در این محدوده کاربری‌های عمده همچون آموزشی، درمانی، نظامی وجود دارد و نقش مهمی در سازمان‌دهی فضایی آن دارند.

همان‌طور که در تصویر ۲ مشاهده می‌شود این حوزه در جنوب غربی مشهد و دارای سه منطقه ۹، ۱۱ و ۱۷ است و یکی از هسته‌های توسعه‌ی اخیر مشهد محسوب می‌شود که به دلیل



تصویر ۲. نقشه موقعیت مناطق شهر مشهد (نگارنده)

۸	۰					
۱۰۲	۷۳۳,۸	۰,۰۲۰	۲۰,۴	۰,۷	۱,۴	
۵	۰					
منطقه ۱	۱۱۷۳,۶	۰,۰۴۸	۲۲۲,۶	۰,۹	۶,۹	
۵	۸					
۱۰۰	۷۹۷,۲	۰,۱۳۳	۲۳,۷	۰,۸	۱,۲	
۳						
منطقه ۷	۱۵۴۰,۵	۰,۰۳۳	۱۵۴۰,۰	۱,۴	۱۷,۲	
۷	۰	۹	۲			
۷۱۳	۷۱۷,۳	۰,۰۵۶	۲۴,۳	۰,۹	۱,۳	

ضوابط ساختمانی: این شاخص به بررسی تراکم و سطح اشغال ساختمان ها در هر محله می پردازد که وضعیت محلات بر اساس تراکم در تصویر ۳ و نمودار ۲ آورده شده است و سپس طبق طرح تفصیلی حوزه جنوب غرب، متوسط تراکم ساختمانی در سال ۱۴۰۰ برابر ۱۴۴ بوده که نسبت به سال ۸۵ که ۸۴ درصد بوده افزایش یافته است. این افزایش تراکم مصرف انرژی را بالا می برد، زیرا فاصله کم بین ساختمان ها تهویه و نورگیری را کاهش می دهد.

باتوجه به معیارهای ذکر شده متناظر با هر بعد در تصویر ۲ در این بخش به بررسی محلات حوزه جنوب غرب پرداخته شده است.

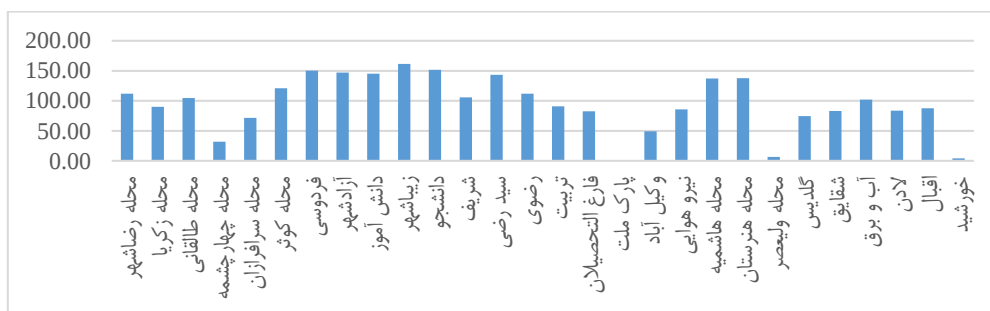
۶-۱. معیار الگوی ساخت و ضوابط

این معیار شامل شاخص هایی مانند الگوی ساخت و ضوابط ساختمانی است:

شکل و اندازه بلوک: باتوجه به ویژگی های حوزه جنوب غربی و عوامل طبیعی مانند ارتفاعات و مسیل ها، کاربری های خدماتی بزرگ مقیاس مانند دانشگاه فردوسی و پارک ملت در اطراف میدان آزادی مستقر شده اند. در ادامه همان طور اطلاعات بلوک ها به تفکیک هر منطقه در جدول ۴ قابل مشاهده است.

جدول ۴. بلوک بندی مناطق مورد بررسی (نگارنده)

منطقه	تعداد بلوک ها	مجموع مساحت (هکتار)	کثرت	تثبیت	میانگین بلوک ها	انحراف معیار
منطقه ۹	۱۲۰	۱۶۵۸,۱	۰,۰۱۰	۵۰۲,۸	۱,۴	۱۷,۴



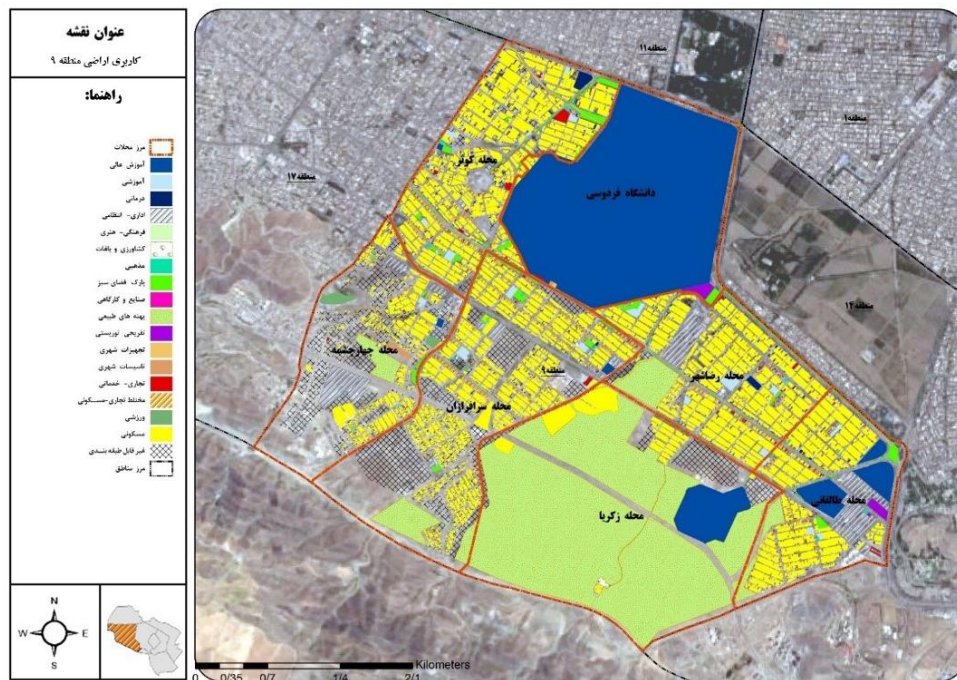
نمودار ۲. رتبه بندی محلات بر اساس تراکم ساختمانی (نگارنده)

می کنند. این منطقه همچنین دارای کاربری های خدماتی و نظامی است، و پارک های بزرگ و مراکز تجاری مانند آزادشهر بر مصرف انرژی تأثیر می گذارند که وضعیت کاربری ها در منطقه ۱۱ در تصویر ۵ قابل مشاهده است. الگوی کاربری منطقه ۱۷ به سه بخش تقسیم می شود: همان طور که در تصویر ۶ قابل مشاهده است بخش شمالی با کاربری مسکونی، بخش جنوبی با اراضی باز در محله نیرو هوایی و گلپس و بخش غربی

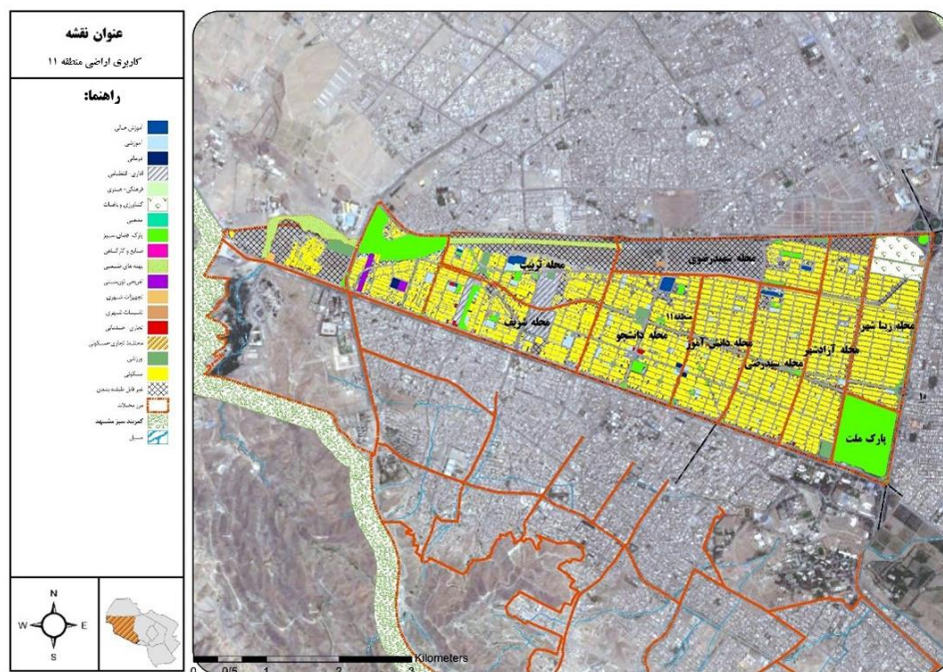
۶-۲. معیار کاربری زمین

منطقه ۹ دارای کاربری های آموزشی و درمانی قابل توجهی است، از جمله دانشگاه فردوسی و بیمارستان های اکبر، ولایت و فارابی. همچنین، پهنه های سکونت و اراضی طبیعی نیز در این منطقه وجود دارند که موقعیت هر یک از این کاربری ها در تصویر ۴ نمایش داده شده است. در منطقه ۱۱ مشهد، معابر شریانی مانند بلوار آزادی و بزرگراه امام علی وجود دارند که محلاتی چون رضوی، تربیت و فارغ التحصیلان را به هم متصل

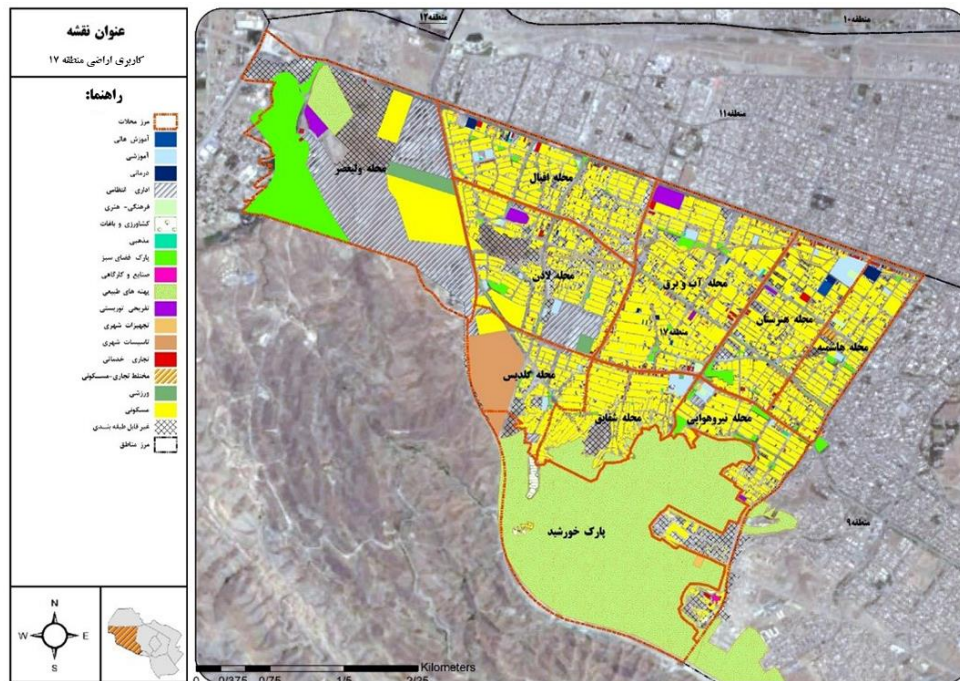
با فضای سبز در محله ولیعصر که تحت تأثیر وجود یک پادگان نظامی قرار دارد.



تصویر ۳. کاربری اراضی منطقه ۹ (نگارنده)



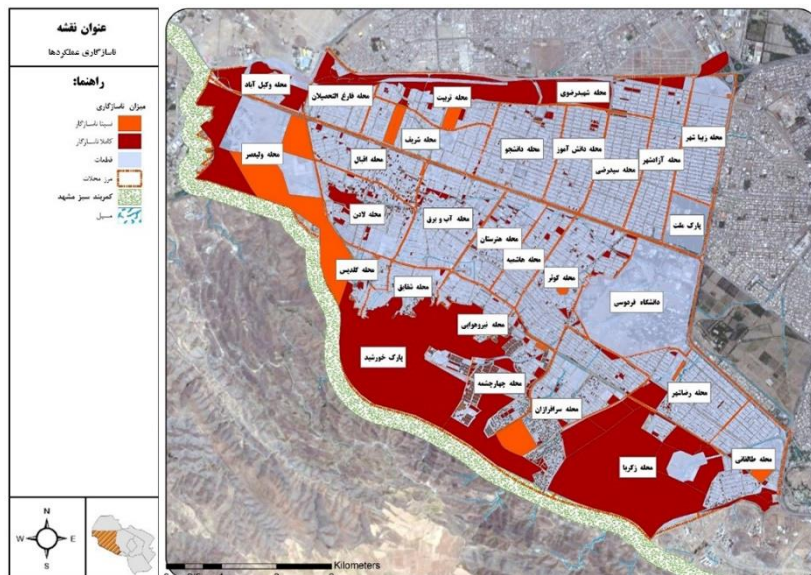
تصویر ۴. کاربری اراضی منطقه ۱۱ (نگارنده)



تصویر ۵. کاربری اراضی منطقه ۱۷ (نگارنده)

اما پارک فراشهری در حال احداث ممکن است تأثیر مثبت داشته باشد. کاربری های صنعتی در بلوارهای پیروزی، صیاد شیرازی و لادن و همچنین لکه های نظامی در محله های تربیت و ولیعصر هم ناسازگار شناخته شده اند.

ناسازگاری کاربری ها منجر به افزایش مصرف و کاهش کارایی انرژی می شود در همین راستا در تصویر ۷ نقشه کاربری ها به لحاظ سازگاری و ناسازگاری آورده شده است که پهنه های باز در جنوب مناطق ۹ و ۱۷ باعث جذب دما و گرم شدن محیط هستند. حریم مسیل چهل بازه در منطقه ۱۱ نیز ناسازگار است؛

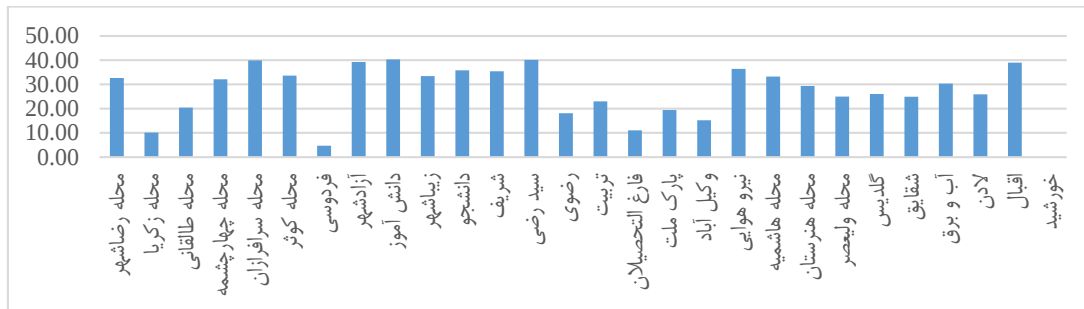


تصویر ۶. نقشه کاربری های ناسازگار (نگارنده)

۳-۶. معیار دسترسی و حمل‌ونقل

یکی از عوامل مهم در طراحی اقلیمی، توجه به جهت‌گیری معابر و بناها نسبت به تابش آفتاب و وزش باد است. برای کنترل گرمای تابش، باید شدت تابش روی سطوح معابر کاهش یابد و

سپس مصالح مناسب انتخاب شود. در تابستان، معابر عمیق و در زمستان معابر کم‌عمق بهترین عملکرد را دارند. جهت‌گیری دیوارها به سمت جنوب گرمای بیشتری جذب می‌کند و به سمت شمال، کمتر. همچنین وزش باد مؤثر موازی یا با انحراف تا ۳۰ درجه با معبر است.



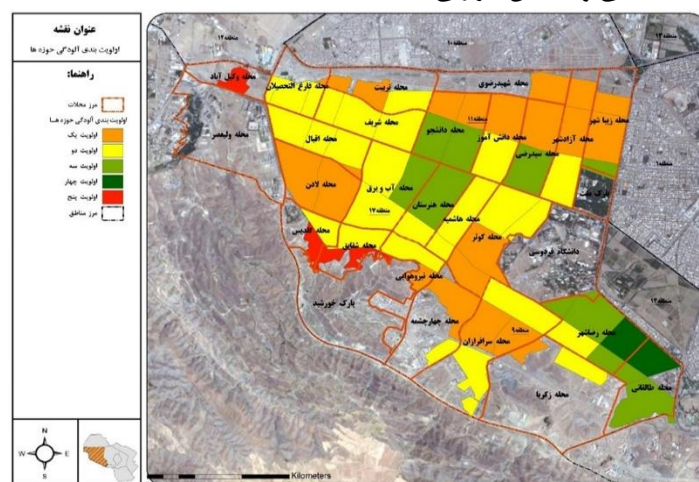
نمودار ۳. سهم معابر از محلات (نگارنده)

– حمل‌ونقل پاک: توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی مانند قطار شهری، اتوبوس و تاکسی با جابه‌جایی بیشتر مسافر و مصرف انرژی کمتر مؤثر است. در این حوزه، به دلیل پتانسیل و جمعیت، انواع سیستم‌های حمل‌ونقل فعال هستند. از ۶۲ ایستگاه مترو شهر، ۲۵ درصد آنها در این حوزه واقع شده‌اند. بر اساس سالنامه آماری ۱۴۰۱، ۳۳ ایستگاه از ۱۲۶ ایستگاه دوبرخه در این حوزه واقع شده‌اند که نسبت به سال‌های گذشته افزایش یافته است.

سرانه فضای سبز در شهر مشهد ۱۹,۰۸ مترمربع است که در منطقه ۹ و ۱۷ میزان فضای سبز ۸۱,۸۰ مترمربع و در منطقه ۱۱، ۹,۸۲ مترمربع است. پارک‌های منطقه ۹، مانند پارک کوهستانی وفا و خورشید، فضای سبز گسترده‌ای دارند؛ ولی تأثیر محدودی بر تغییرات اقلیمی داشتند. در مقابل، پارک‌های منطقه ۱۱ مانند پارک چهل بازه و ملت و همچنین پارک جنگلی وکیل‌آباد در منطقه ۱۷، به دلیل حجم بالای فضای سبز و وجود منابع آبی، تأثیر بیشتری بر کاهش مصرف انرژی و دمای محیط دارند. پارک‌های خطی که به دنبال سیلاب‌ها در مناطق ۹ و ۱۷ پراکنده شده‌اند، در سطح محلی تأثیرگذارند که اولویت‌بندی آلودگی در تصویر ۸ آورده شده است.

۴-۶. معیار عملکرد زیست محیطی

از ابعاد مهم شاخص‌های مرتبط با عملکرد زیست محیطی، فضاهای سبز و باز، آلاینده‌های محیطی و آسایش حرارتی است.



تصویر ۷. نقشه اولویت‌بندی آلودگی در حوزه جنوب غرب (نگارنده)

۵-۶. معیار مدیریت شهری

زیرساخت های هوشمند مانند شبکه فیبر نوری، اینترنت اشیاء، کنتورهای هوشمند و حمل و نقل هوشمند که بخشی از برنامه های شهر انرژی پلاس هستند، به بهبود کارایی شهری و کاهش مصرف انرژی کمک می کنند که به صورت مشخص وجود هر یک از این زیرساخت ها به تفکیک مناطق در جدول ۵ آورده شده است.

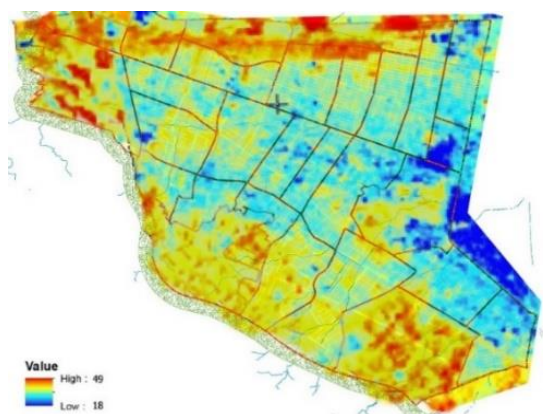
جدول ۵. مدیریت هوشمند در مصرف انرژی (نگارنده)

زیرساخت	منطقه ۹ و ۱۷	منطقه ۱۱
فیبر نوری	بخش هایی به تازگی به شبکه فیبر نوری متصل شده اند	۹۵ درصد تحت پوشش شبکه فیبر نوری قرار دارد
حمل و نقل هوشمند	به دلیل استفاده از اتوبوس ها و مترو و سیستم های دوچرخه سواری که شامل سیستم های زمان بندی هوشمند و امکان پرداخت آنلاین	
کنتورهای هوشمند	به منظور بهینه سازی انرژی خصوصا در ساختمان های نوساز اما محله وکیل آباد، گل دیس و ۹ دره فاقد این نوع خدمات می باشند	
ایستگاه های هواشناسی	مسائل اقلیمی به دلیل اهمیت شان نیازمند ایستگاه های هواشناسی دقیق هستند. ایستگاه های دانشگاه فردوسی و پارک ملت در این حوزه قرار دارند.	
اپلیکیشن های هوشمند	اپلیکشنی هوای مشهد برای مشخص شدن کیفیت هوا و اطلاعات زیست محیطی تدوین شده و نمایشگر هوا واقع در میدان استقلال	

مدیریت انرژی در شهر مشهد با اقلیم سرد و خشک، اهمیت بالایی دارد. با تمرکز بر کاهش مصرف انرژی، به ویژه در بخش گرمایش، هدایت نور به داخل ساختمان ها و استفاده از فرم های شهری متراکم می تواند مؤثر باشد. مدل آنتروپی شانون نشان می دهد که تراکم و پراکندگی شهری بر بهینه سازی مصرف انرژی تأثیر دارد؛ به طوری که مقدار آنتروپی صفر نشان دهنده تراکم بالای شهری و $\ln(n)$ بیانگر پراکندگی است. اگر آنتروپی از $\ln$ بیشتر باشد، رشد شهری بی قواره خواهد بود.

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \times \ln(p_i)$$

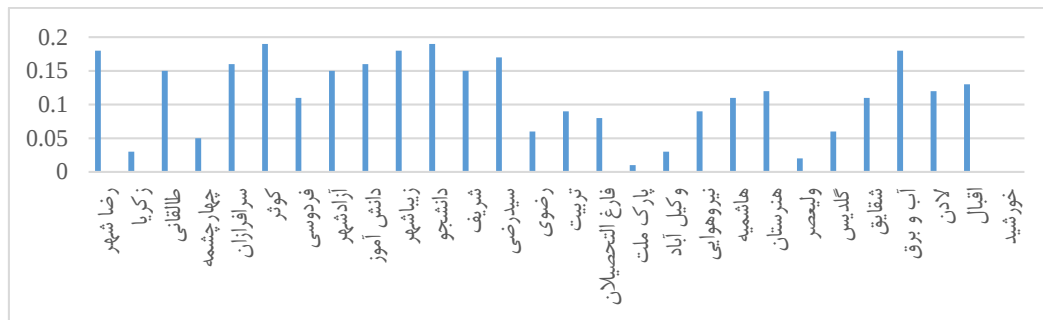
در شهر مشهد، تغییر پوشش گیاهی از ۳۸,۴ کیلومترمربع در سال ۱۳۶۶ به ۳۲,۹۷ کیلومترمربع در سال ۱۳۹۵ کاهش یافته که ناشی از تخریب باغات و اراضی کشاورزی است. عوامل مانند ارتفاع، باد، جهت شیب و پوشش گیاهی بر تشکیل جزایر حرارتی تأثیر گذارند. شیب های جنوبی دمای بالاتری و شیب های شمالی دمای کمتری دارند. میانگین دمای سطح زمین (LST) در مشهد ۳۴,۲ درجه سانتی گراد است و بین ۱۷,۹ تا ۴۹ درجه متغیر است و در تصویر ۹ میانگین دمای سطح زمین در حوزه جنوب غرب نشان داده شده است. بیشترین دما در مناطق شهری مانند کوثر و پیروزی و کمترین دما در پارک ملت و باغ ملک آباد مشاهده شده است.



تصویر ۹. میانگین دمای سطح زمین در حوزه جنوب غرب

(علی آبادی، داداشی، رودباری، ۱۳۹۶)

معابر با عرض زیاد و تردد وسایل نقلیه به دلیل حجم بیشتر آسفالت، دمای بالاتری دارند. در منطقه ۱۱ به علت وجود معابری مانند آزادشهر، استقلال و معلم و در مناطق ۹ و ۱۷ به دلیل بلوارهایی مثل فکوری و نماز، دما بالاتر است. بین سال های ۱۹۸۶ تا ۲۰۰۳ با توسعه شهر مشهد، دما افزایش یافته و جزایر حرارتی شکل گرفته اند. این پدیده بیشتر در مناطق با کاهش پوشش گیاهی و گسترش کاربری های صنعتی و پایانه های حمل و نقل مشاهده می شود.



نمودار ۴. میزان ضریب آنترپی شانون در محلات (نگارنده)

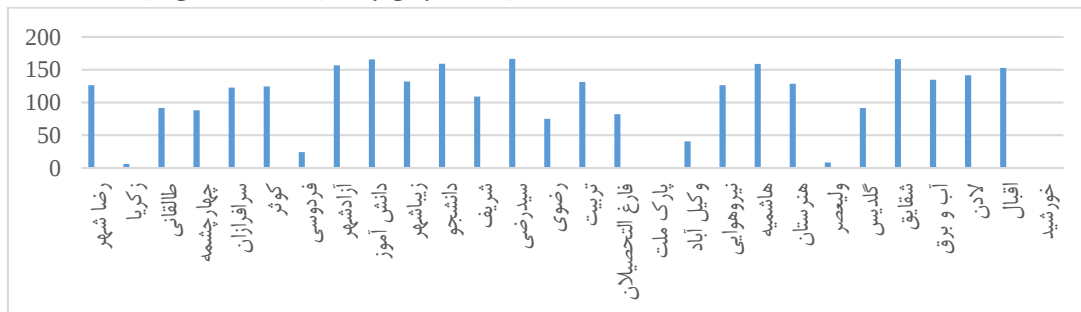
$$\text{ضریب مطلق آنترپی شانون } \ln(n) = \ln(28) = 3.332 \geq H = 2.11 \geq 0$$

$$\text{ضریب نسبی آنترپی شانون } = 2.11 / 3.332 = 0.633$$

۶-۶. معیار جمعیت

تراکم جمعیتی بر مصرف انرژی شهرها تأثیر دارد. طبق نمودار ۵ محلات پرجمعیت مانند دانش آموز، آزادشهر، دانشجو و سیدرضی در منطقه ۱۱ و هاشمیه، شقایق، لادن و اقبال در مناطق ۹ و ۱۷ بیشترین تراکم را دارند. محلات کم‌تراکم شامل زکریا، فردوسی، وکیل آباد و ولیعصر هستند که این موضوع به شرایط سکونت و کاربری‌های خدماتی مرتبط است.

پس از بررسی‌های صورت گرفته و همان‌طور که در نمودار ۴ نشان داده شده آنترپی مطلق در جنوب غربی مشهد ۳,۳۳۲ و آنترپی نسبی ۰,۶۳۳ بوده که بیانگر پراکندگی و کاهش تراکم رشد فیزیکی است. این پراکندگی به دلیل عوارض طبیعی و کاربری‌های بزرگ‌مقیاس رخ داده است. در مقابل، محلاتی مانند کوثر، دانشجو، آب و برق، زیباشهر و رضا شهر بیشترین تراکم کالبدی را دارند.



نمودار ۵. وضعیت تراکم جمعیتی (نگارنده)

۶-۷. معیار اقتصاد پایدار

گلدیس (بافت ناکارآمد) و وکیل آباد (مشکلات حقوقی و کالبدی) اختصاص دارد.

ابتدا ابعاد، معیارها و شاخص‌های مرتبط با شهر انرژی پلاس به صورت زوجی با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice مقایسه شدند. سپس هر محله بر اساس طیف لیکرت و سنج‌های مشخص، امتیازدهی شد. امتیازات به دست آمده در ضرایب ابعاد، معیارها و شاخص‌ها ضرب شده و نتایج در جداول ۷ و ۸ به تفکیک منطقه ارائه گردید. در نهایت، ضرایب

اقتصاد پایدار بر اساس خدمات و قیمت اراضی تعریف می‌شود، طوری که معیار اصلی و دسترسی به سیستم حمل و نقل عمومی تأثیر زیادی بر قیمت زمین دارند. محلات نزدیک به محور وکیل آباد ارزش بالاتری دارند. محلات کوثر، هاشمیه، هنرستان، آب و برق و رضا شهر از مناطق ۹ و ۱۷ و محلات آزادشهر، سیدرضی، دانشجو و فارغ‌التحصیلان از محله ۱۱ قیمت بالاتری دارند. کمترین قیمت اراضی به محله ولیعصر (کاربری ناسازگار)،

شاخص های هر محله جمع شده و رتبه بندی محلات بر اساس محلات با ضرایب بالاتر به این شاخص ها نزدیک تر و محلات شاخص های شهر انرژی پلاس به دست آمد، به طوری که با ضرایب پایین تر از آن ها فاصله بیشتری داشتند. جدول ۶ ضریب و جمع امتیاز محلات منطقه ۹ (نگارنده)

ابعاد	ضریب	معیار	ضریب	شاخص	ضریب	سنجه	رضاشهر	زکریا	طالبانی	چهارچشمه	سرافرازان	کوثر
کالبدی	۰.۴۷۶	الگوی ساخت و ضوابط	۰.۱۹۸	نفوذپذیری	۰.۰۴۱	مساحت بلوک وضعیت و میزان دسترسی فرم و شکل بلوک	۰.۰۳۱	۰.۰۰۴	۰.۰۲۳	۰.۰۱۲	۰.۰۲۳	۰.۰۲۳
					۰.۰۷۲	جهت گیری و توده و فضا	۰.۰۴۱	۰.۰۰۷	۰.۰۲۷	۰.۰۲۰	۰.۰۴۱	۰.۰۲۷
					۰.۰۸۵	تراکم و سطح اشغال	۰.۰۴۰	۰.۰۵۶	۰.۰۴۰	۰.۰۶۴	۰.۰۵۶	۰.۰۴۰
	۰.۲۱۸	کاربری زمین	۰.۱۱۷	مقیاس کاربری ها نوع کاربری ها	۰.۰۴۹	۰.۰۲۴	۰.۰۶۱	۰.۰۳۶	۰.۰۶۱	۰.۰۶۱		
			۰.۱۰۱	مساحت کاربری های ناسازگار	۰.۰۸۴	۰.۰۳۱	۰.۰۴۲	۰.۰۵۲	۰.۰۴۲	۰.۰۶۳		
		۰.۰۶	دسترسی و حمل و نقل	۰.۰۳۴	سلسله مراتب و نوع معابر	۰.۰۰۷	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۴	۰.۰۰۶	۰.۰۰۶	
				۰.۰۰۹	حمل و نقل عمومی	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۳	
	۰.۰۰۹			مسیر دوچرخه	۰.۰۰۰	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲		
	۰.۰۱۰			مسیر پیاده	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۰	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳		
	زیست محیطی	۰.۲۸۸	عملکرد زیست محیطی	۰.۱۰۷	پراکنش فضای باز	۰.۰۷۱	۰.۰۵۳	۰.۰۱۸	۰.۰۵۳	۰.۰۷۱	۰.۰۷۱	
۰.۰۳۹				عناصر طبیعی و کریدور	۰.۰۶۱	۰.۰۳۲	۰.۰۱۶	۰.۰۲۶	۰.۰۲۹	۰.۰۲۳		
۰.۰۳۹				آلودگی	۰.۰۰۶	۰.۰۰۳	۰.۰۱۶	۰.۰۲۶	۰.۰۲۶	۰.۰۲۹		
۰.۰۲۲				دفع آب های سطحی	۰.۰۰۱	۰.۰۰۹	۰.۰۱۱	۰.۰۱۸	۰.۰۱۸	۰.۰۱۶		
۰.۰۸۱				جزایر گرمایی	۰.۰۳۴	۰.۰۳۴	۰.۰۳۴	۰.۰۵۴	۰.۰۴۷	۰.۰۴۷		
۰.۰۶۹				قیمت	۰.۰۰۲	۰.۰۰۱	۰.۰۰۱	۰.۰۰۲	۰.۰۰۲	۰.۰۰۳		
اجتماعی	۰.۱۶۷	جمعیت	۰.۱۳۳	تراکم جمعیتی	۰.۰۰۴	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۵	۰.۰۰۴	۰.۰۰۶		
			۰.۰۳۳	ارتباطات و فناوری	۰.۰۱۵	وجود ایستگاه های هواشناسی	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	
		ذخیره انرژی		۰.۰۱۱	میزان انرژی مصرفی براساس تراکم و یا پراکندگی بافت شهر	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰		
		آموزش و فرهنگ سازی		۰.۰۰۷	برگزاری کارگاه های آموزشی	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰		
	مجموع											
						۰.۳۹	۰.۲۷۱	۰.۳۰۱	۰.۳۷۷	۰.۴۳۰	۰.۴۲۳	

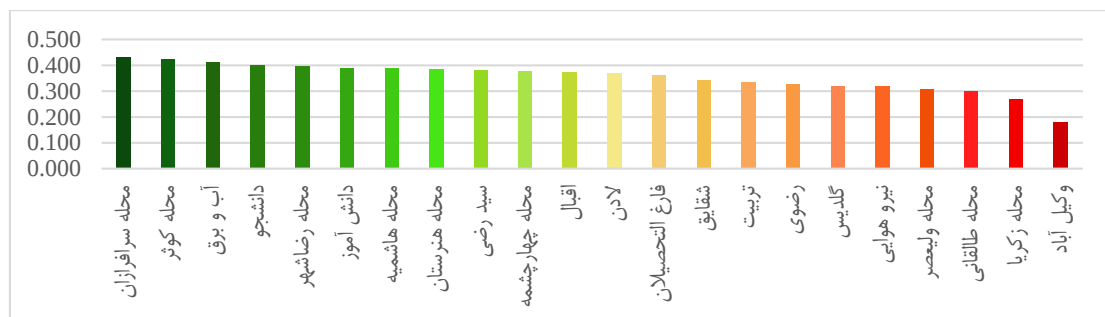
جدول ۷. ضریب و جمع امتیاز محلات منطقه ۱۱ (نگارنده)

ایجاد	ضریب	معیار	ضریب	شاخص	ضریب	مستجبه	آزادشهر	دانش‌آموز	زیاتشهر	دانشجو	شرف	سید رضی	رضوی	تربیت	فارغ التحصیلان	وکیل آباد
کالبدی	۰.۲۷۶	انگهی ساخت و ضوابط	۰.۱۹۸	تفویذیری	۰.۴۱	مساحت بلوک وضعیت و میزان دسترسی فرم و شکل بلوک	۰.۳۱	۰.۲۷	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۱۲	۰.۳۱	۰.۴۰	۰.۴۰	۰.۱۵	۰.۴۰
				جهت‌گیری و توده و فضا	۰.۷۲	جهت قطعات	۰.۳۴	۰.۳۴	۰.۴۱	۰.۳۴	۰.۲۷	۰.۴۱	۰.۳۴	۰.۲۷	۰.۴۱	۰.۴۱
				تراکم و سطح اشغال	۰.۸۵	درصد تراکم ساختمانی و میزان سطح اشغال	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۴۰	۰.۳۲	۰.۴۰	۰.۵۶	۰.۵۶	۰.۴۸
	۰.۲۱۸	کاربری زمین	۰.۱۱۷	میراث و اختلاط کاربری‌ها	۰.۱۱۷	مقیاس کاربری‌ها نوع کاربری‌ها	۰.۷۳	۰.۶۱	۰.۶۱	۰.۸۵	۰.۳۶	۰.۶۱	۰.۳۶	۰.۳۶	۰.۳۶	۰.۲۱
				ماتریس سازگاری و مطلوبیت	۰.۱۰۱	مساحت کاربری‌های ناسازگار	۰.۷۳	۰.۷۳	۰.۶۳	۰.۷۳	۰.۳۱	۰.۷۳	۰.۴۲	۰.۴۲	۰.۶۳	۰.۲۱
				سلسله‌مراتب و نوع معابر	۰.۳۴	میزان دسترسی محلات به معابر اصلی رعایت سلسله‌مراتب دسترسی	۰.۰۲	۰.۰۷	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۰۴	۰.۰۶	۰.۰۳	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۲
	۰.۰۶	دسترسی و حمل‌ونقل	۰.۰۹	حمل‌ونقل عمومی	۰.۰۹	شعاع عملکرد ایستگاه‌ها حمل‌ونقل	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۰	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۱	۰.۰۱	۰.۰۲	۰.۰۲
				مسیر دوچرخه	۰.۰۱	مسافت مسیر دوچرخه	۰.۳۶	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۰
				مسیر پیاده	۰.۰۷	مسافت و عرض پیاده‌روها اختلاط کاربری	۰.۱۶	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۰
				پراکنش فضای باز	۰.۳۹	میزان بهانه‌های باز و فضای سبز	۰.۲۶	۰.۴۴	۰.۲۴	۰.۱۷	۰.۷۱	۰.۵۳	۰.۵۳	۰.۵۳	۰.۲۶	۰.۰۹
زیست‌محیطی	۰.۲۸۸	عملکرد زیست‌محیطی	۰.۲۸۸	عناصر طبیعی و کریدور	۰.۲۲	میزان مساحت عناصر طبیعی (میل، لوتاعات و...) دید مطلوب	۰.۱۶	۰.۱۹	۰.۱۶	۰.۲۶	۰.۲۳	۰.۲۳	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۲۹	۰.۲۶
				آلودگی	۰.۸۱	میزان آلودگی حجم ترافیک عناصر زیستی	۰.۲۶	۰.۲۶	۰.۲۶	۰.۱۹	۰.۲۳	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۱۹	۰.۰۳
				دفع آب‌های سطحی	۰.۲۲	میزان شیب میزان دسترسی به میل	۰.۰۹	۰.۱۵	۰.۱۶	۰.۱۳	۰.۱۵	۰.۱۱	۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۱۱	۰.۰۵
				جزایر گرمایی	۰.۸۱	تنوع کاربری میزان تراکم جمعیتی میزان گرمای تولیدشده میزان ترافیک	۰.۳۴	۰.۴۰	۰.۱۳	۰.۱۳	۰.۰۴	۰.۲۰	۰.۳۴	۰.۳۴	۰.۴۰	۰.۳۴
				قیمت	۰.۶۹	قیمت اراضی	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۲	۰.۰۰
اجتماعی	۰.۱۶۷	مدیریت شهری	۰.۱۳۳	تراکم جمعیتی	۰.۳۳	میزان تراکم جمعیتی	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۳	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۲	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۰۵
				ارتباطات و فناوری	۰.۱۵	وجود ایستگاه‌های مواصلاتی	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۱	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
				ذخیره انرژی	۰.۱۱	میزان انرژی مصرفی براساس تراکم و یا پراکندگی بافت شهر	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۱
				آموزش و فرهنگ‌سازی	۰.۰۷	برگزاری کارگاه‌های آموزشی	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰	۰.۰۰
				مجموع			۰.۳۸۲	۰.۳۸۹	۰.۳۸	۰.۳۰۱	۰.۳۳۴	۰.۳۸۱	۰.۳۶۶	۰.۳۶۶	۰.۳۶۳	۰.۱۷۹

جدول ۸. ضریب و جمع امتیاز محلات منطقه ۱۷ (نگارنده)

آبعاد	ضریب	معیار	ضریب	شاخص	ضریب	سجه	نیرو هوایی	هاتمیبه	هنرستان	ولیمصر	گلدیس	شایق	آب و برق	لادن	اقبال	
کالبدی	۰.۳۶۶	انگوری ساخت و ضوابط	۰.۱۹۸	تفویذیری	۰.۰۴۱	مساحت بلوک وضعیت و میزان دسترسی فرم و شکل بلوک جهت قطعات	۰.۰۱۹	۰.۰۲۳	۰.۰۱۹	۰.۰۰۴	۰.۰۰۴	۰.۰۱۲	۰.۰۱۲	۰.۰۰۸	۰.۰۱۵	
				جهت گیری و توده و فضا	۰.۰۷۲		۰.۰۲۷	۰.۰۴۴	۰.۰۲۷	۰.۰۴۱	۰.۰۲۰	۰.۰۲۷	۰.۰۴۱	۰.۰۳۴	۰.۰۲۰	
				تراکم و سطح اشغال	۰.۰۸۵	درصد تراکم ساختمانی و میزان سطح اشغال	۰.۰۴۸	۰.۰۳۲	۰.۰۳۲	۰.۰۶۴	۰.۰۴۸	۰.۰۴۸	۰.۰۴۸	۰.۰۵۴	۰.۰۳۶	
	زمین	۰.۲۱۸	سرهانه و اختلاط کاربری ها	۰.۰۱۱۷	مقیاس کاربری ها نوع کاربری ها	۰.۰۲۴	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۳۶	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	۰.۰۲۹	
			ماتریس سازگاری و مطلوبیت	۰.۰۱۰۱	مساحت کاربری های ناسازگار	۰.۰۴۲	۰.۰۶۳	۰.۰۶۳	۰.۰۳۱	۰.۰۴۲	۰.۰۴۲	۰.۰۴۲	۰.۰۴۲	۰.۰۴۲	۰.۰۴۲	
			مسئله مراتب و نوع معیار	۰.۰۰۳۴	میزان دسترسی محلات به معیار اصلی رعایت مسئله مراتب دسترسی	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۷	
	دسترسی و حمل و نقل	۰.۰۰۶	حمل و نقل عمومی	۰.۰۰۰۹	شماره عملکرد ایستگاه ها حمل و نقلی	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	
			مسیر دوجریحه	۰.۰۰۰۹	مسافت مسیر دوجریحه	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	
			مسیر پیاده	۰.۰۰۰۱	مسافت و عرض پیاده رو ها اختلاط کاربری	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲	
	زیست محیط ی	۰.۲۸۸	عملکرد زیست محیطی	۰.۰۲۸۸	پراکنش فضای باز	۰.۰۱۰۷	میزان پهنای باز و فضای سبز	۰.۰۰۴۴	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۷۱	۰.۰۰۴۴	۰.۰۰۴۴	۰.۰۰۲۶	۰.۰۰۲۶	۰.۰۰۱۹	۰.۰۰۴۴
عناصر طبیعی و کریدور					۰.۰۰۳۹	میزان مساحت عناصر طبیعی (مسیر) ارتفاعات و... دید مطلوب	۰.۰۰۲۹	۰.۰۰۲۶	۰.۰۰۲۶	۰.۰۰۲۹	۰.۰۰۲۶	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۲۶	۰.۰۰۱۹	۰.۰۰۲۶	
آلودگی					۰.۰۰۳۹	میزان آلودگی حجم ترافیک عناصر زیستی	۰.۰۰۲۳	۰.۰۰۱۹	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۹	۰.۰۰۲۶	۰.۰۰۲۳
دفع آب های سطحی					۰.۰۰۲۲	میزان شیب میزان دسترسی به مسیر	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۵	۰.۰۰۱۱	۰.۰۰۱۱	۰.۰۰۱۱	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۱۳
جزایر گرمایی					۰.۰۰۸۱	نوع کاربری میزان تراکم جمعیتی میزان گرمای تولید شده میزان ترافیک	۰.۰۰۳۴	۰.۰۰۴۰	۰.۰۰۴۰	۰.۰۰۲۷	۰.۰۰۴۰	۰.۰۰۴۰	۰.۰۰۴۰	۰.۰۰۴۰	۰.۰۰۵۴	۰.۰۰۵۴
قیمت					۰.۰۰۶۹	قیمت اراضی	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۱	۰.۰۰۰۳	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۲
اجتماعی		۰.۱۶۷	مدیریت شهری	۰.۰۱۳۳	تراکم جمعیتی	۰.۰۰۳۳	میزان تراکم جمعیت	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۲	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۵	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۴	۰.۰۰۰۳	
					ارتباطات و فناوری	۰.۰۰۱۵	وجود ایستگاه های هواشناسی	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
					ذخیره انرژی	۰.۰۰۱۱	میزان انرژی مصرفی بر اساس تراکم و یا پراکندگی بافت شهر	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
					آموزش و فرهنگ سازی	۰.۰۰۰۷	برگزاری کارگاه های آموزشی	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰	۰.۰۰۰۰
مجموع																

در ادامه، با استفاده از روش های مذکور به بررسی و انطباق محلات حوزه جنوب غرب با شاخص های انرژی پلاس پرداخته شد. بر اساس نمودار ۶ محلات منطبق با شهر انرژی پلاس بر اساس رتبه بندی انجام شده به شرح زیر است.



نمودار ۶ رتبه بندی محلات بر اساس شاخص های شهر انرژی پلاس (نگارنده)

۷. نتیجه‌گیری

پوشش گیاهی، توسعه فضاهای عمومی پایدار و اصلاح کاربری‌های ناسازگار پیشنهاد شد. در نهایت، با بهره‌گیری از فرایند سلسله‌مراتبی و امتیازدهی بر اساس طیف لیکرت، محلات دارای بیشترین انطباق با شاخص‌های شهر انرژی پلاس شناسایی شدند که شامل محلات سرافرازان، کوثر، آب و برق، دانشجو و رضا شهر هستند. این نتایج می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای مدیران شهری در راستای برنامه‌ریزی پایدار، مدیریت بهینه انرژی و ارتقای کیفیت زندگی ساکنان باشد. پیشنهاد می‌شود سیاست‌گذاران شهری با در نظر گرفتن شاخص‌های شهر انرژی پلاس، راهکارهای مؤثری را برای کاهش مصرف انرژی و توسعه پایدار شهری در سایر مناطق نیز اجرا کنند تا از این طریق، زمینه لازم برای ایجاد شهرهای هوشمند و پایدار فراهم شود. باتوجه به یافته‌های پژوهش و تحلیل محلات منتخب حوزه جنوب غرب مشهد، راهکارهای زیر (جدول ۹) به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی، کاهش آلودگی و افزایش انطباق این محلات با شاخص‌های شهر انرژی پلاس پیشنهاد می‌شود:

جدول ۹. پیشنهادهای ویژه برای بهبود شاخص‌های محلات حوزه جنوب غرب مشهد (نگارنده)

حوزه پیشنهادی	پیشنهادهای اجرایی	اهداف و نتایج مورد انتظار
بهینه‌سازی سیستم حمل‌ونقل و کاهش مصرف سوخت	-توسعه خطوط مترو و اتوبوس‌های برقی -مسیر ویژه دوچرخه و پیاده‌راه و تشویق حمل‌ونقل پایدار -محدودیت‌های ترافیکی و مسیرهای یک‌طرفه هوشمند -توسعه پارکینگ‌های طبقاتی در مناطق پرتردد -ایجاد ایستگاه‌های شارژ برای خودروهای الکتریکی	-کاهش مصرف سوخت و آلودگی هوا -کاهش ترافیک و افزایش بهره‌وری معابر شهری -بهبود کیفیت حمل‌ونقل عمومی و افزایش رضایت -کاهش هزینه‌های حمل‌ونقل برای شهروندان
بهبود کیفیت محیط‌زیست و افزایش فضاهای سبز	-کاشت درختان مقاوم در برابر اقلیم در حاشیه معابر پرتردد -اجرای بام سبز و دیوار سبز برای ساختمان‌های عمومی -احیای اراضی بایر و مسیل‌ها و تبدیل آن‌ها به فضاهای سبز -توسعه فضاهای سبز گیاهان بومی در مجتمع‌های مسکونی	-کاهش اثر جزایر حرارتی شهری و بهبود کیفیت هوا -افزایش سرانه فضای سبز و ارتقای کیفیت زندگی شهری -کاهش دمای محیط و صرفه‌جویی در مصرف انرژی -تقویت زیرساخت‌های اکولوژیک شهری
بهبود طراحی و ساخت‌وساز شهری برای کاهش مصرف انرژی	-الزام به استفاده از مصالح ساختمانی عایق حرارتی -توسعه و نصب پنل‌های خورشیدی برای تأمین انرژی -اصلاح کاربری‌های ناسازگار و تغییر زمین‌های ناکارآمد به کاربری‌های پایدارتر مانند مراکز فرهنگی و اجتماعی -استفاده از فناوری‌های هوشمند در ساختمان‌ها برای کنترل مصرف انرژی (مانند سیستم‌های روشنایی و تهویه هوشمند)	-کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها و بهینه‌سازی هزینه‌ها -افزایش بهره‌وری انرژی و استفاده از منابع تجدیدپذیر -کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلاینده‌های زیست‌محیطی -ارتقای استانداردهای زیست‌محیطی در ساخت‌وساز
ترویج فرهنگ مصرف بهینه انرژی و مشارکت مردمی	-برگزاری کارگاه آموزشی برای کاهش مصرف انرژی -راه‌اندازی کمپین‌های آگاهی‌بخشی صرفه‌جویی در مصرف برق و -ارائه مشوق‌های مالیاتی و تخفیف‌های جهت استفاده از	-افزایش آگاهی عمومی درباره مدیریت مصرف انرژی. -کاهش مصرف بی‌رویه انرژی و کاهش هزینه‌های خانوارها -افزایش تعامل شهروندان با سیاست‌های شهری در راستای

تجهیزات کم‌مصرف و انرژی‌های تجدیدپذیر توسعه پایدار
-ایجاد اپلیکیشن‌های شهری برای رصد مصرف انرژی و -تسهیل اجرای برنامه‌های مدیریت انرژی در سطح شهر
تشویق شهروندان به بهینه‌سازی مصرف

اجرای این پیشنهادها می‌تواند تأثیر بسزایی در افزایش
انطباق‌پذیری محلات منتخب مشهد با شاخص‌های شهر انرژی
و زمینه‌ساز توسعه پایدار شهری شود.

پی‌نوشت

۱. Renewable Energy
۲. Net-zero energy building
۳. Zero energy
۴. Sustainable city
۵. Smart city
۶. Healthy Cities
۷. New urbanism
۸. Traditional Neighborhood Development
۹. Green city
۱۰. ecological city
۱۱. Energy efficiency
۱۲. Low carbon city
۱۳. Plus Energy Zone
۱۴. Plus Energy Neighborhoods
۱۵. Anthony Giddens
۱۶. Sustainable Plus Energy Neighbourhood

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی برای اعلام ندارند.

منابع

- آشنا، م. و حسین‌آبادی، س. (۱۳۹۹). ارزیابی عوامل موثر بر تغییرات انتشار دی اکسید کربن در ایران با تاکید بر نقش شهرنشینی؛ روش تحلیل و تجزیه. جغرافیا و مخاطرات محیطی (۳۴)، ۱۴۵-۱۶۳.
- امیر فخریان، م. و سفالگر، س. (۱۴۰۲). تحلیل فضایی الگوی مصرف انرژی بخش خانگی در محلات شهر بیرجند. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۱۱(۱)، ۱۰۳-۱۲۰.
- جمعه پور، م. و معتدل، م. (۱۴۰۱). تدوین شاخص‌ها و معیارهای بومی مؤثر بر برنامه‌ریزی شهرهای کم‌کربن (مطالعه موردی: شهری ساری). مطالعات محیط انسان ساخت، ۱(۲)، ۲۲۲-۲۴۳.
- حیدری سور شجاعی، ر.، دولتیاریان، ک. و شاطریان، م. (۱۴۰۲). سنجش کیفیت محیط شهری بر مبنای رضایتمندی سکونت‌ی (مطالعه موردی: شهر نورآباد). فصلنامه علمی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی، ۱۸(۱)، ۳۷-۵۰.
- زنگنه شهرکی، س. و منصوری اطمینان، ا. (۱۴۰۲). نقش برنامه‌ریزی کاربری زمین در راستای کاهش مصرف انرژی (نمونه موردی: محله سرافرازان مشهد). جغرافیا و آمایش منطقه ای، ۱۳(۴۷)، ۱۲۷-۱۴۶.
- صادقی، ز. ا.، هاشمی، ف. ا. و اکبری فرد، ح. (۱۳۹۵). بررسی روند کارایی انرژی در بخش حمل‌ونقل. حمل‌ونقل، ۱۳(۴)، ۵۴-۷۵.
- عشقی چهار برج، ع. و نظم فر، ح. (۱۳۹۷). سنجش تاب‌آوری شهر در برابر زلزله با مدل پرومته، نمونه موردی: منطقه یک شهرداری تهران. بوم‌شناسی شهری، ۱۰(۲)، ۱۲۷-۱۴۰.
- علی‌آبادی، ک. و داداشی رودباری، ع. (۱۳۹۶). نقش مولفه‌های جغرافیایی بر چگونگی پراکندگی دمایی در سطوح شهری با استفاده از تکنیک‌های سنجش از راه دور (مطالعه موردی شهر مشهد). آمایش جغرافیایی فضا، ۷(۲۴)، ۱۳۱-۱۴۱.

- قائمی اصل، م.، سلیمی فر، م.، مهدوی عادل، م.، و رجبی مشهدی، م. (۱۳۹۵). شبیه سازی ایجاد شهر زیست محیطی کم کربن با بهره گیری از پسماندهای شهری و تکنولوژی فتوولتائیک: برنامه‌ریزی پایدار انرژی بخش شهری مشهد مقدس. فصلنامه علمی - پژوهشی اقتصاد و مدیریت شهری، ۵(۱)، ۶۷-۸۱.
- گلشاهی، م.، سرگلزایی، ش.، و قاضی، ر. (۱۴۰۰). بازآفرینی پایدار محلات مساله دار شهرهای مرزی با تاکید بر اصول نوسازسازی (نمونه مورد مطالعه محله بابائیان زاهدان). مطالعات ساختار و کارکرد شهری، ۸(۲۹)، ۱۲۵-۱۴۸.
- متقی، م.، نوروز برازجانی، و.، دهباشی شریف، م.، و منصوری، س. ا. (۱۴۰۱). نقش شبکه فضای میانوند در خلق دینامیسم درون شهری با تمرکز بر مراکز محلات شهر همدان. آرمانشهر، ۱۵(۳۹)، ۱۶۹-۱۸۶.
- محرم نژاد، ن.، و تهرانی، م. (۱۳۸۹). مروری بر نظریه های اجتماعی و مدیریت محیط زیست. انسان و محیط زیست، ۳-۱۱.
- محمد ابراهیمی جهرمی، م.، و اشنویی نوش آبادی، ا. (۱۴۰۱). اولویت بندی مولفه های موثر بر کیفیت محیط شهری (مطالعه موردی: شهر شیراز). برنامه ریزی فضایی، ۱۳(۳)، ۴۷-۶۶.
- نظام فر، ح.، سعیده، ع.، و عشقی چهاربرج، ع. (۱۳۹۷). تحلیل فضایی سکونتگاههای شهری استان گلستان از لحاظ شاخص های شهر سالم. مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۳۰(۳)، ۲۱۳-۲۲۸.
- یزدانی، م.، زارنجی، ژ. ف.، و جامی اودولو، م. (۱۴۰۰). سنجش پایداری زیست محیطی شهر اردبیل در دوران پاندمی کووید ۱۹ در راستای تحقق شهر سبز. مطالعات علوم محیط زیست، ۶(۲)، ۳۷۰۴-۳۷۰۹.
- Abubaka, I. R., & Alshammari, M. (2023). Urban planning schemes for developing low-carbon cities in the Gulf Cooperation Council region. *Habitat International*, 138.
- Adamo, N., Al-Ansari, N., & Sissakian, V. (2021). Review of Climate Change Impacts on Human Environment: Past, Present and Future Projections. *Engineering*, 13(11).
- Aliabadi, K., & Dadashi-Rodbari, A. (2017). The Role of Geographic Components on the Temperature Dispersion at Urban Area Using Remote Sensing Techniques Case Study of Mashhad City. *Quarterly Journal of Geographical Space Planning*, 7(24), 131-141. (in persian)
- Amirfakhrian, M., & Safalgar, S. (2023). Spatial analysis of the pattern of energy consumption in the domestic sector in the neighborhoods of Birjand city. *Geographical Research on Desert Areas*, 11(1), 103-120. (in persian)
- Andric, I., Koc, M., & Al-Ghamdi, S. G. (2019). A review of climate change implications for built environment: Impacts, mitigation measures and associated challenges in developed and developing countries. *Journal of Cleaner Production*, 211, 83-102.
- Ascione, F., Bianco, N., De Stasio, C., Maria Mauro, G., & Peter Vanoli, G. (2017). Artificial neural networks to predict energy performance and retrofit scenarios for any member of a building category: A novel approach. *Energy*, 118, 999-1017.
- Ashena, M., & Hosseinabadi, S. (2020). Evaluation of factors affecting changes in carbon dioxide emissions in Iran with emphasis on the role of urbanization; Analysis and decomposition method. *Geography and Environmental Hazards* (34), 145-163. (in persian)
- Casamassima, L., Bottecchia, L., Bruck, A., Kranzl, L., & Haas, R. (2022). Economic, social and environmental aspects of Positive Energy Districts-A review. *Energy and Environment*, 11(6).
- Derkenbaeva, E., van Leeuwen, E., Halleck Vega, S., & Jan Hofstede, G. (2022). Positive energy districts: Mainstreaming energy transition in urban areas. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 153.

- Demir, G., Damjanovic, M., Matovic, B., & Vujadinovic, R. (2022). Toward Sustainable Urban Mobility by Using Fuzzy-FUCOM and Fuzzy-CoCoSo Methods: The Case of the SUMP Podgorica. *sustainability*, 14(9).
- Eshghi Chahar Borj, A., & Nazmfar, H. (2019). Assessment of Urban Resilience against Earthquake by Using Promethee Model, Case Study: district 1 of Tehran Municipality. *Biannual Journal of Urban Ecology Researches*, 10(2), 127-140. (in persian)
- Fatima, T., Shahzadb, U., & Cui, L. (2020). Renewable and nonrenewable energy consumption, trade and CO2 emissions in high emitter countries: does the income level matter? *Environmental planning and manegement*, 64(7), 1227-1251.
- Gallego-Schmida, A., Chen, H.-M., Sharmina, M., & Mendoza, J. M. (2020). Links between circular economy and climate change mitigation in the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 260.
- Ghaemi-Asl, M., Salimifar, M., Mahdavi-Adeli, M., & Rajabi-Mashhadi, M. (2017). Simulation of creating a low-carbon ecological city using urban waste and photovoltaic technology: Sustainable energy planning of the urban sector of Mashhad. *Journal of Urban Economics and Management*, 5(1), 67-81. (in persian)
- Golshahi, M., Sargolzaei, Sh., & Ghazi, R. (2021). Sustainable Regeneration of Problematic Neighborhoods of Border Metropolises with an Emphasis on New Urbanism and its Promotion Strategies: A Case Study. *Urban Structure and Function studies*, 8(29), 125-148. (in persian)
- Gondeck, M., Triebel, M.-A., Steingrube, A., Albert-Seifried, V., & Stryi-Hipp, G. (2024). Recommendations for a positive energy district framework – Application and evaluation of different energetic assessment methodologies. *Smart Energy*, 15, 1-11.
- Heydari Surshojai, R., Dolatyarian, K., & Shaterian, M. (2023). Measuring the Quality of the Urban Environment on Residential Satisfaction (Case Study: Noorabad City). *Journal of Studies Of Human Settlements Planning*, 18(1), 37-50. (in persian)
- Hu, L., Liu, X., Chen, T., Le, G., Li, J., Qu, F., . . . Wang, D. (2021). Characterization of laser clad Zr–Cu–Ni–Al in-situ metallic glass matrix composite coatings with enhanced corrosion-resistance. *Vacuum*, 185.
- Jumapour, M., & Motadel, M. (2023). Compilation of Effective Indigenous Indicators and Criteria in Zero-Carbon City Planning (Case study: Sari City). *Studies on Man-Made Environment*, 1(2), 222-243. (in persian)
- Kameni Nematchoua, M., Nishimwe, A., & Reiter, S. (2021). Towards nearly zero-energy residential neighbourhoods in the European Union: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 1-11.
- Komninos, N. (2022). Net Zero Energy Districts: Connected Intelligence for Carbon-Neutral Cities. *land*, 11(2).
- Li, D. H., Yang, L., & Lam, J. C. (2012). Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones - A review. *Energy*, 42, 103-112.
- Maestosi, P. C. (2021). Smart Cities and Positive Energy Districts: Urban Perspectives in 2020. *energies*, 14(9), 1-5.

- Mavrigiannaki, A., Gobakis, K., Kolokotsa, D., Kalaitzakis, K., Pisello, A. L., Piselli, C., . . . Santamouris, M. (2021). Zero energy concept at neighborhood level: A case study analysis. *Solar Energy Advances*, 1, 1-17.
- Moharramnejad, N., & Tehrani, M. (2010). A review of social theories and environmental management. *Human and Environment*, 3-11. (in persian)
- Mohammad Ebrahimi Jahromi, M., & Oshnavii Nooshabadi, A. (2022). Prioritization of the Eelements Affecting Urban Environmental Quality in Shiraz. *Spatial Planning*, 13(3), 47-66. (in persian)
- Moreno, A. G., Vélez, F., Alpagut, B., Hernández, P., & Montalvillo, C. S. (2021). How to achieve positive energy districts for sustainable cities: A proposed calculation methodology. *Sustainability (Switzerland)*, 13(2), 1-19.
- Mottaghi, M., Nowruz Borazjani, V., Dehbashi Sharif, M., & Mansouri, S. A. (2022). The Role of In-between Space Network in Creating Intra-City Dynamism by Focusing on the Neighborhood Centers in Hamedan City. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 15(39), 169-186. (in persian)
- Nezamfar, H., Saeideh, A., & Eshghi Chaharborj, A. (2019). Ranking of urban settlements in Golestan province In terms of Indexes healthy City. *Quarterly Journal of Geographical Space Planning*, (30), 213-228. (in persian)
- Noh, Y., Jafarinejad, S., & Anand, P. (2024). A Review on Harnessing Renewable Energy Synergies for Achieving Urban Net-Zero Energy Buildings: Technologies, Performance Evaluation, Policies, Challenges, and Future Direction. *Sustainability*, 16(8).
- Ou, Y., bao, z., ng, S. t., song, w., & chen, k. (2024). Land-use carbon emissions and built environment characteristics: A city-level quantitative analysis in emerging economies. *Land Use Policy*, 137.
- Peng, B., Kong, X., Tian, C., Zhang, F., & Ma, X. (2023). An IGDT-based a low-carbon dispatch strategy of urban integrated energy system considering intermittent features of renewable energy. *Energy Reports*, 10, 4390-4401.
- Sadeghi, Z. A., Hashemi, F. A., & Akbarifard, H. (2017). Investigating the trend of energy efficiency in the transportation sector. *Transportation*, 13(4), 54-75. (in persian)
- Salom, J., Tamm, M., Andresen, I., Cali, D., Magyari, A., Bukovszki, V., . . . Gaitani, N. (2021). An Evaluation Framework for Sustainable Plus Energy Neighbourhoods: Moving Beyond the Traditional Building Energy Assessment. *energies*, 15(15), 1-26.
- Sassenou, L.-N., Olivieri, L., & Olivieri, F. (2024). Challenges for positive energy districts deployment: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 1-19.
- Shaterabadi, M., Mehrjerdi, H., Amiri, N., Ahmadi Jirdehi, M., & Iqbal, A. (2023). Green roof positive impact on changing a Plus-ZEB to drastic Plus-ZEB: The multi-objective energy planning and audit in real condition outlook. *Energy & Buildings*, 287.
- Verma, c., Singh, J., & Ranjan, a. (2019). Conceptual Analysis of Energy plus Category for Futuristic Urban Human Settlements. *International Journal of Engineering and Advanced Technology (IJEAT)*, 8(4), 570-574.
- Verma, C., Singh, J., & Ranjan, A. (2019). Green Parking Lots for Energy plus Human Settlements. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 9(2), 3096-3100.

- Winkler, L., Pearce, D., Nelson, J., & Babacan, O. (2023). The effect of sustainable mobility transition policies on cumulative urban transport emissions and energy demand. *Nature Communications*, 14(1), 1-14.
- Wu, W., Xue, B., Song, Y., Gong, X., & Ma, T. (2023). Investigating the Impacts of Urban Built Environment on Travel Energy Consumption: A Case Study of Ningbo, China. *land*, 12(1).
- Yazdani, M., Zaranjhi, J. F., and Jami Odulu, M. (1400). Measuring the environmental sustainability of Ardabil city during the pavilion of Covid 19 in order to achieve a green city. *Environmental Science Studies*, 6(2), 3704-3709. (in persian)
- Zanganeh Shahraki, S., & Mansouri Ateed, A. (2023). The Role of Land use Planning in Reducing Energy Consumption: (Case Study: Sarafrazan Neighborhood in Mashhad). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 13(47), 127-146. (in persian)
- Zavadskas, E. K., Cavallaro, F., Podvezko, V., Ubarte, I., & Kaklauskas, A. (2017). MCDM Assessment of a Healthy and Safe Built Environment According to Sustainable Development Principles: A Practical Neighborhood Approach in Vilnius. *Sustainability*, 9(5), 2-30.
- Zhi, D., Zhao, H., Chen, Y., Song, W., Song, D., & Yang, Y. (2024). Quantifying the heterogeneous impacts of the urban built environment on traffic carbon emissions: New insights from machine learning techniques. *Urban Climate*, 53, 1-18.

**A Study on the Urban Environment's Adaptability to EnergyPlus City Indicators
(Case Study: Southwest Region of the Mashhad Metropolis)**Donya Sabrimoghaddam¹, Hassan Vahdani charzekhon*², Alireza Hasani³

(Receive Date: 08 December 2024 Revise Date: 17 February 2025 Accept Date: 17 May 2025)

*Research Article***Abstract**

Introduction: The rapid migration to urban areas has placed immense pressure on natural resources, leading to their depletion, worsening pollution, and significant environmental degradation. These challenges, coupled with increasing urban populations, rising temperatures, and growing energy demands, have created complex problems in managing urban environments. Addressing these issues requires innovative solutions that balance urban growth with sustainability. One such approach is the development of sustainable cities powered by renewable energy. These cities aim to reduce environmental impacts, promote resource efficiency, and improve the quality of life for residents. This study explores the criteria and indicators necessary for energy-plus cities and evaluates their practical application in selected urban neighborhoods.

Methodology: This research adopts a descriptive-analytical approach, focusing on energy-plus cities urban areas that meet their energy needs through renewable energy sources while generating surplus energy for the grid. The study examines districts 9, 11, and 17 in the southwest of the city. These districts were selected for their diverse urban structures, high population densities, and critical environmental challenges. Key indicators analyzed include public space per capita, land-use diversity, open space distribution, optimal population density, and efficient land utilization. These factors were chosen to evaluate the feasibility and effectiveness of implementing energy-plus city models in urban neighborhoods.

Results: The findings highlight the critical role of specific indicators in achieving sustainable urban development. Increasing public space per capita improves residents' well-being by fostering social interaction, recreation, and community engagement. Similarly, promoting mixed land use and equitable distribution of open spaces enhances access to essential services and reduces reliance on personal vehicles, leading to lower emissions and improved air quality. These initiatives ensure more efficient use of urban resources, making cities more functional and sustainable. Renewable energy integration, such as using solar panels and wind turbines, is a cornerstone of energy-plus cities. Rooftops equipped with solar panels and urban spaces designated for wind turbines significantly reduce dependence on non-renewable energy while enhancing energy efficiency. Urban planning that prioritizes optimal density and effective land management mitigates environmental pressures by reducing urban sprawl and ensuring efficient resource allocation. Furthermore, incorporating green spaces, energy-efficient buildings, and advanced public transport systems is vital for reducing pollution and enhancing urban livability. Promoting cycling and public transit decreases carbon footprints while encouraging healthier lifestyles. Innovations in waste management, including recycling and composting, further support environmental sustainability by reducing waste and fostering a circular economy. These strategies collectively advance the goal of creating sustainable and livable cities.

Conclusion: Energy-plus cities represent a transformative solution to the challenges posed by rapid urbanization. They integrate sustainability principles with modern urban planning to create livable, energy-efficient environments. Policymakers and urban planners must prioritize renewable energy integration, efficient land use, and enhancements to public spaces to realize these cities' full potential.

In addition to environmental benefits, energy-plus cities provide significant economic advantages. Lower energy costs, job creation in the renewable energy sector, and long-term economic growth are among the key outcomes of such initiatives. Developing solar farms, wind energy projects, and energy-efficient technologies contributes to urban resilience and reduces risks associated with climate change. Transitioning to energy-plus cities is essential for addressing global environmental challenges and ensuring a sustainable future. By focusing on renewable energy, equitable resource distribution, and efficient urban planning, these cities can lead the way toward a more sustainable and resilient urban landscape.

Conflict of interest: None declared.

Keywords: Sustainable Development, EnergyPlus City, Adaptability, Urban Environment, Southwest area of Mashhad metropolis

¹ Master's student in Urban Planning, Department of Urban Planning, Faculty of Arts, University of Bojnord, Bojnord, Iran.

² Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Engineering, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. (Corresponding Author). vahdani_h@uma.ac.ir

³ Assistant Professor, Department of Urban Planning, Faculty of Arts, University of Bojnord, Bojnord, Iran.