بررسی و امکان‌سنجی تأثیر فرم و تراکم بلوک‌های مسکونی بر مصرف انرژی شهر، نمونه موردی شهر جدید هشتگرد

مجتبی رفیعیان* - آرمان فتح‌جلالی** - هاشم داداشپور***

تاریخ دریافت: ۸۹/۱۲/۶
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۰/۰۳/۱۷

چکیده

رشد شتابان و فزایندهٔ شهرنشینی و در پی آن، افزایش جمعیت شهرها، پیامدهای مختلفی را در زمینه‌های گوناگون به دنبال داشته است. از جمله مهمترین این پیامدها می‌توان به افزایش مصرف و تقاضا برای منابع انرژی اشاره نمود، که خود از دو جنبهٔ محدود بودن منابع انرژی مورد مصرف و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی قابل تأمل است. در همین راستا، فراگیر شدن آگاهی‌های عمومی نسبت به جنبه‌های یاد شده و سایر جنبه‌های شهرنشینی، سبب شد تا رویکردهای نوینی نظیر توسعهٔ پایدار، نوشهرسازی و غیره در شهرسازی ظهور یافته و اهمیت و توجه به بحث انرژی را در شهرسازی بیش از پیش آشکار نماید. مفهوم انرژی در شهر، با مولفه‌های برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری در دو سطح کلان و خرد ارتباط مستقیم داشته و با تغییر آنها، میزان مصرف انرژی نیز تغییر خواهد کرد. یکی از این مؤلفه‌های مهم، ویژگی‌های کالبدی ساختمان است که بر میزان مصرف انرژی در این بخش مهم، با سهم ۴۰ درصدی از کل انرژی مصرفی در شهرها، تأثیر می‌گذارد. تاکنون مطالعات بسیاری در زمینهٔ ارتباط میان اجزاء معماری ساختمان و کاهش مصرف انرژی صورت گرفته، ولی تحقیقات کمی به خصوص در کشور ما در زمینهٔ ارتباط میان شهرسازی و انرژی انجام شده است. در این مقاله، ابتدا بنیان‌های فکری و تحقیقات مختلف صورت گرفته در زمینهٔ انرژی و شهر مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته، سپس مؤلفه‌های مؤثر برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری بر میزان مصرف انرژی در شهر به طور خلاصه بررسی شده و در نهایت با تمرکز بر بخش ساختمان، دستورالعمل‌هایی جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی ارائه گردید. در مرحلهٔ بعد، برای ۳۵ هکتار از اراضی شهر جدید هشتگرد، سه سناریوی پیشنهادی ارائه شد و در انتها نیز با اندازه‌گیری شاخص‌های انرژی ساختمان توسط نرم‌افزارهای Ecotect، میزان مصرف انرژی ساختمان‌های سناریوهای مختلف ارزیابی شد. یافته‌های تحقیق نشان می‌دهد که با اعمال تغییر در فرم، تراکم، جهت‌گیری و ارتفاع ساختمان‌های مسکونی، می‌توان تا حدود ۴۵ درصد از میزان مصرف انرژی ساختمان کاست.

واژگان کلیدی: توسعهٔ پایدار، کارایی انرژی، بلوک‌های مسکونی، شهر جدید هشتگرد.

* دانشیار شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس Emai: mrafiyan@gmail.com
** کارشناس ارشد برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس Emai: Jalali.arman@gmail.com
*** استادیار شهرسازی، دانشکدهٔ هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس Emai: h-dadashpoor@modares.ac.ir

مقدمه

سکونت حدود ۳/۳ میلیارد نفر از جمعیت جهان (۶۰ درصد از کل جمعیت) در شهرها و رشد شتابان و فزایندهٔ شهرنشینی، خصوصاً در کشورهای در حال توسعه (www.unfpa.org, 2011)، پیامدهای مختلفی را در زمینه‌های اقتصادی، اجتماعی، کالبدی و زیست‌محیطی به همراه داشته است. یکی از این پیامدها، رشد صعودی حدود ۲۰ درصدی میزان مصرف و تقاضای انرژی در شهرها در سه دههٔ اخیر بوده (www.data.worldbank.org, 2011) و پیش‌بینی شده است که این روند تا سال ۲۰۳۵ ادامه خواهد داشت (www.eia.doe.gov, 2011). این افزایش در تقاضا و مصرف انرژی، از دو جنبه، تأثیرات عمده‌ای (مخصوصاً در زمینهٔ محیط‌زیست) را به همراه داشته است. از یک سو به دلیل وجود منابع محدود جهت تأمین انرژی، موجب به وجود آمدن بحران شدید انرژی شده و از سوی دیگر به دلیل اینکه سهم بالایی از انرژی مورد نیاز (حدود ۸۵ درصد) از سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود، آلودگی‌های زیست‌محیطی فراوانی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای بوجود آمده است. در پاسخ به معضلات مذکور، جنبش‌های متعددی در حیطهٔ شهرسازی شکل گرفته که همگی بر اهمیت و ضرورت توجه به ملاحظات زیست‌محیطی در شهرها مانند میزان مصرف انرژی تأکید دارند.

مصرف سرانهٔ انرژی در ایران از متوسط مصرف سرانه در جهان حدود ۶۰ درصد بیشتر است. همچنین، مصرف سرانهٔ انرژی در کشورهای در حال توسعه همچون ترکیه، هند، چین، هنگ‌کنگ و پاکستان از ایران پایین‌تر است. برای نمونه، در حالی که کشور پاکستان بیش از دو برابر ایران جمعیت دارد، مصرف انرژی در این کشور نصف میزان مصرف در کشور ایران می‌باشد. براساس محاسبات مراکز رسمی، اگر با همین روال، مصرف انرژی در کشور دنبال شود در سال ۱۴۰۴ نه تنها صادرات انرژی را در برنامه نخواهیم داشت، بلکه به عنوان واردکنندهٔ اصلی حوزهٔ انرژی به شمار خواهیم رفت (www.hamshahrionline.ir, 2011). با توجه به وضعیت حال حاضر کشور در ارتباط با میزان مصرف انرژی، ضرورت توجه به این موضوع در اصول حاکم بر شهرسازی کشور بیش از پیش آشکار شده و بازنگری اساسی و فوری را در این زمینه طلب می‌نماید.

از سوی دیگر، ساختمان‌ها به عنوان یکی از بخش‌های مصرف‌کنندهٔ انرژی در شهر، به طور تقریبی ۴۰ درصد مصرف سالانهٔ انرژی در دنیا را به خود اختصاص می‌دهند که در کشورهای مختلف به دلیل ویژگی‌های مختلف آنها، این بخش سهم متفاوتی را در مصرف انرژی به خود اختصاص داده است. برای نمونه، در انگلستان بیش از نیمی از کل انرژی مصرفی در ساختمان‌ها است. در حالی که سهم ساختمان‌ها از کل مصرف انرژی در دیگر کشورهای اتحادیهٔ اروپا و آمریکا به ترتیب ۴۱ و ۳۶ درصد می‌باشد (Steemers, 2003: 3). در کشور ما نیز به عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه، بخش ساختمان ۴۱ درصد از میزان مصرف کل انرژی کشور را به خود اختصاص داده که رقم قابل توجهی است (براتی‌ملایری و حوری‌جعفری، ۱۳۸۷: ۵۸).

تاکنون موارد مختلفی در طراحی خصوصیات کالبدی ساختمان‌ها برای ایجاد کاهش و تغییر در مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است، که همگی در راستای مصرف اقتصادی و مقرون به‌صرفهٔ انرژی در بخش ساختمان بوده است. در واقع تمامی تلاش‌های مذکور در جهت کاهش وابستگی ساختمان‌ها به مصرف انرژی جهت تأمین آسایش مورد نیاز ساکنین (یعنی تأمین نور، دما، تهویه و آب مناسب) صورت گرفته است. به عبارت دیگر، در صورت توجه به عوامل محیطی و اقلیمی در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی شهری می‌توان تا حد زیادی از وابستگی ساختمان‌های شهر به انرژی‌های تجدیدناپذیر کاسته و در میزان مصرف آنها کاهش شدیدی ایجاد نمود. با توجه به اینکه در زمینهٔ ارتباط میان معماری و اجزای ساختمان‌های مسکونی و میزان مصرف انرژی، تحقیقات متعددی صورت گرفته، لذا در این مقاله، تلاش بر آن بوده تا بررسی و تحلیل تأثیر ویژگی‌های کالبدی بلوک‌های مسکونی بر میزان مصرف انرژی آنها در مقیاسی فراتر از تک بنا صورت پذیرد.

۱. مبانی نظری و پیشینهٔ تحقیق

در پاسخ به بحران‌های به وجود آمده در زمینهٔ محیط‌زیست، از دههٔ ۱۹۷۰ میلادی جنبش‌های متعدد شهرسازی شکل گرفتند که آینده‌ای بهتر و محیط زندگی سالم و با کیفیت‌تر را نوید می‌دادند. از مهمترین این جنبش‌ها می‌توان به توسعهٔ شهری پایدار، رشد هوشمند و نوشهرسازی اشاره نمود. هر یک از این جنبش‌ها و بنیان‌های نظری، دارای اهداف و اصول خاص خود بوده و به طور مستقیم و غیر مستقیم به ضرورت توجه به موضوع انرژی در شهرسازی تأکید داشته‌اند.

در میان جنبش‌های مذکور، توسعهٔ شهری پایدار در سال‌های گذشته همواره یکی از بحث‌های روز و مهم شهرسازی بوده و می‌توان آن را به عنوان پارادایم مسلط دههٔ ۱۹۹۰ مطرح نمود. گزارش "برانتلند" تحت عنوان "آیندهٔ مشترک ما"[1] توسط کمیسیون جهانی محیط و توسعه، موضوع توسعهٔ پایدار را در دستور کار سیاسی کشورها قرار داد (WCED, 1987). پس از گزارش "برانتلند" مهمترین اتفاقی که بحث پایداری را درابتدای دههٔ ۹۰ به نوعی رسمیت جهانی بخشید، "اجلاس سران زمین" در سال ۱۹۹۲ در

ریودوژانیروی برزیل و انتشار نتیجهٔ آن تحت عنوان "دستور کار ۲۱" بود. طبق "دستور کار ۲۱"، پیوند کاربری زمین و برنامه‌ریزی حفاظت انرژی، مدیریت مصرف و موضوعات مختلف دیگر در سطح محلی، با مشارکت مردم محلی گره خورده (چپ‌من، ۱۳۸۴) و در فصل جداگانه‌ای بر ایجاد سکونتگاه‌های پایدار و ضرورت توجه به موضوع انرژی و پایداری آن در شهرها تأکید شده است (Haughton & Hunter, 1994: 248-299).

در ادامهٔ توسعهٔ شهری پایدار، پایداری و کاهش مصرف انرژی به عنوان یکی از اصول توسعهٔ پایدار مطرح شده که در ارتباط مستقیم با مبحث انرژی بوده و راهکارهایی را در جهت نیل به این مهم ارائه می‌دهد (Moughtin, 1996: 11-13). به طور کلی، پایداری انرژی به معنای تأمین انرژی به نحوی است که نیازهای نسل حاضر را بدون مصالحه و صرف‌نظر از توانایی نسل‌های آینده در برآوردن نیازهایشان تأمین نماید. به بیان دیگر، پایداری انرژی به معنای استفاده از منابعی است که آلاینده‌های تهدیدکنندهٔ محیط‌زیست را منتشر نکرده، به واسطهٔ مصرف مداوم و پیوسته تمام نشده و نقشی در تداوم بخشیدن به خطرات عمدهٔ سلامت انسان‌ها نداشته باشند (Lantsberg, 2005: 12).

جنبش نوشهرسازی، یکی دیگر از مبانی فکری پشتیبان موضوع انرژی در حیطهٔ شهرسازی می‌باشد. شهرسازی نوین یا نوشهرسازی، جنبشی در ایالات متحده است که در اوایل دههٔ ۸۰ ظهور کرد و با بحث دربارهٔ رشد حومهٔ شهری در قالب خلق شهرها و مجتمع‌های کوچک، گسترش بی‌رویهٔ شهرها را به چالش کشید (مدنی‌پور، ۱۳۷۹: ۳۱۱-۳۱۰). این جنبش به هیچ وجه نیازهای حیات مدرن و پسامدرن را رد نمی‌کند، بلکه می‌کوشد در جهت رفع آنها راه‌حل‌هایی کالبدی، فنی و ... متناسب با حیات انسانی و حفظ محیط زیست با تأکید بر جایگاه فراموش شدهٔ انسان و نه اتومبیل، بیابد (Caves, 2005: 332). بررسی منشور نوشهرسازی نشان می‌دهد که این جنبش بطور مستقیم بر پایداری و استفادهٔ کمتر از منابع انرژی محدود و تجدیدناپذیر تأکید داشته و توجه به این مهم را در زمرهٔ اصول اساسی شکل‌دهی شهرها و اجتماعات زیستی قرار داده است (www.newurbanism.org, 2010).

براساس جنبش‌ها و مبانی نظری بررسی شده، کاهش میزان مصرف انرژی در شهرها به عنوان یکی از الزامات مهم و حیاتی برنامه‌ریزی و طراحی شهری معاصر مطرح بوده و تاکنون تحقیقات و مطالعات فراوانی در زمینهٔ دست‌یابی به کاهش مصرف انرژی در شهرها و دستیابی به اصول و معیارهای برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری صورت گرفته است. در بیشتر تحقیقات انجام شده، ارتباط میان مؤلفه‌های مختلف برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری و میزان مصرف انرژی در دو بخش حمل و نقل و ساختمان، به عنوان دو بخش مصرف‌کنندهٔ انرژی در شهر و تأثیرپذیر از مؤلفه‌های برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

هوئی[۲] در سال ۲۰۰۱ میلادی، مفهوم ساختمان کم مصرف انرژی را بررسی و چگونگی تأثیر عوامل اصلی تراکم شهر، بر طراحی ساختمان کم مصرف انرژی را در هنگ‌کنگ آزمایش کرده و استراتژی‌هایی برای طراحی ساختمان‌ها ارائه نموده است (Hui, 2001). استیمرز[۳] در سال ۲۰۰۳ میلادی به بررسی ارتباط میان انرژی و شهر پرداخته است. وی در این مقاله، با معرفی دو بخش ساختمان و حمل و نقل به عنوان بخش‌های تأثیرپذیر از برنامه‌ریزی شهری، مصرف انرژی در دو بخش ساختمان و حمل و نقل را مقایسه و ارتباط میان آنها را تفسیر نموده است. بخش اصلی این مقاله، روندهای مصرف انرژی ساختمان با تغییرات میزان تراکم و فرم شهر را با تأکید بر آسایش محیطی ارزیابی می‌نماید (Steemers, 2003).

کوان[۴] و لیدر[۵] در سال ۲۰۰۶ میلادی، در زمینهٔ حمل و نقل و کارایی انرژی، گزارشی فنی را در شهرهای آسیایی برای بانک توسعهٔ آسیا تهیه نمودند. در این گزارش، بخش حمل و نقل به عنوان یکی از بخش‌های مصرف‌کنندهٔ انرژی و در حال رشد در شهرها مطرح شده و تمرکز اصلی این تحقیق بر دست‌یابی به سیاست‌هایی جهت کاهش میزان مصرف انرژی در این بخش بوده است (Kwon & Leather, 2006). همچنین اوکایل[۶] در سال ۲۰۱۰ میلادی، در زمینهٔ فرم بهینهٔ ساختمان و کارایی از نظر میزان مصرف انرژی تحقیق نموده است. وی در این تحقیق، با تأکید بر تفاوت‌های موجود در زمینهٔ فرم‌های متناسب برای ساختمان‌ها در عرض‌ها و اقلیم‌های متفاوت جغرافیایی، فرم پیشنهادی خود را برای بلوک‌های مسکونی ارائه می‌نماید. فرم پیشنهادی وی، بیشترین میزان جذب نور خورشید در زمستان را فراهم آورده و همچنین از میزان اثر جزیرهٔ حرارتی در شهرها می‌کاهد. بطور کلی، تأکید اصلی و ویژهٔ این تحقیق بر ساختمان و فرم آن به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر میزان مصرف انرژی می‌باشد (Okeil, 2010).

علاوه بر مطالعات صورت گرفته بر روی مفهوم انرژی در ارتباط با شهر، در سال‌های اخیر مدل‌ها و فرآیندهای کاربردی متعددی نیز جهت دست‌یابی به کاهش مصرف انرژی در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری توسط سازمان‌ها و محققان مربوطه ارائه شده است. فرآیند برنامه‌ریزی پایدار انرژی در شهر[۷] یکی از فرآیندهای مرتبط با انرژی در شهرها می‌باشد که توسط "سازمان اسکان بشر"[۸] ارائه شده است. این برنامه از یک فرآیند ده مرحله‌ای به عنوان چارچوب اقدامات محلی استفاده می‌نماید و نقش و مشارکت گروه‌های محلی در این فرآیند بسیار پررنگ می‌باشد (UN-Habitat, 2009).

مدل توسعه بر مبنای "کارایی انرژی (انرژی کارا)"[۹] توسط انجمن برنامه‌ریزی آمریکا در سال ۲۰۰۶ میلادی جهت دست‌یابی به کارایی انرژی در شهرها ارائه شده است. اهمیت این مدل از این جهت است که در محتوا و مراحل آن، بیشتر به مباحث فنی برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری توجه شده و پیشنهادات مدل در این راستا می‌باشند. این مدل، استفادهٔ پایدار از منابع انرژی، فرم و کارکرد اکولوژیک اجتماع، مدیریت منابع اجتماع محور، بهینه‌سازی کاربری زمین و برابری اجتماعی و سرزندگی اقتصادی را به عنوان پنج اصل اساسی در جهت دستیابی به کاهش میزان مصرف انرژی در شهرها معرفی نموده و راهکارهایی را در این راستا ارائه می‌نماید (APA, 2006: 485).

نتایج حاصله از بررسی مطالعات انجام شده در سال‌های اخیر در زمینهٔ ارتباط مصرف انرژی و شهر، نشان می‌دهد که با ایجاد تغییر در مؤلفه‌های برنامه‌ریزی و طراحی شهری، می‌توان میزان مصرف انرژی شهر در دو بخش ساختمان و حمل و نقل را تا حد زیادی کاهش داد. شهر به عنوان یک سامانهٔ پیچیده، دارای اجزاء و عناصری می‌باشد که در ارتباط مستقیم با یکدیگر بوده و زیرسامانه‌های این مجموعهٔ در هم تنیده و پیچیده را شکل می‌دهد. به تبع همین پیچیدگی، فرآیند مصرف انرژی در شهرها نیز پیچیده شده و از اعمال تغییرات در اجزاء یک شهر، میزان مصرف انرژی نیز دارای تغییراتی خواهد شد. از سوی دیگر، برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری با ارائهٔ پیشنهادات خود بر زیرسامانه‌های هر شهر، از جمله نحوهٔ استفاده از زمین، تراکم، دسترسی‌ها، شبکهٔ حمل و نقل، ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌های شهر و غیره، تأثیر گذاشته و در نهایت موجب تغییر در انرژی مصرفی شهر خواهد شد. در نتیجه، شناسایی و بررسی دقیق مؤلفه‌های برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری در دستیابی به کاهش مصرف انرژی در شهرها بسیار مؤثر می‌باشد.

۲. عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در بخش ساختمان

ساختمان‌ها به طور تقریبی ۴۰ درصد مصرف سالانهٔ انرژی در دنیا را به خود اختصاص می‌دهند. بخش اعظم این مصرف به تأمین برق، نورپردازی، سامانه‌های گرمایی، سرمایی و تهویهٔ مطبوع باز می‌گردد (Omer, 2008: 233). ویژگی‌های کالبدی ساختمان از جمله فرم، ارتفاع و نما از جمله مواردی هستند که در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری برای آنها تصمیم گرفته شده و بر میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان تأثیرگذار می‌باشند.

مصرف انرژی بر اساس انواع ساختمان‌های موجود در شهر، متفاوت می‌باشد. در ساختمان‌های مسکونی، گرمایش فضای خانه، گرم کردن آب، روشنایی و آشپزی از جمله فعالیت‌هایی می‌باشند که مصرف انرژی را شکل می‌دهند. در میان فعالیت‌های مذکور، انرژی مصرفی جهت گرمایش فضای داخلی خانه، حدود ۶۰ درصد از کل مصرف انرژی در این ساختمان‌ها را شامل شده و بیشترین سهم را به خود اختصاص داده است (Steemers, 2003: 5). در ساختمان‌های اداری-تجاری، گرمایش، روشنایی، سرمایش، فن و پمپ‌ها از جمله مهمترین عوامل مصرف کنندهٔ انرژی می‌باشند. نیاز به سامانهٔ تهویهٔ هوا (سرمایش و نیروی مورد نیاز پمپ‌ها و فن‌ها) و تأمین روشنایی، دو موضوع مهم و اساسی می‌باشد که میزان مصرف انرژی در این گونه ساختمان‌ها را مشخص می‌نماید (Steemers, 2003: 6; Mitchell, 2005: 6).

با توجه به این موضوع که تعداد ساختمان‌های مسکونی یک شهر در مقایسه با ساختمان‌های اداری-تجاری بسیار بیشتر است، لذا در این مقاله، تأکید اصلی بر روی ساختمان‌های مسکونی و میزان مصرف انرژی در آن می‌باشد. بر اساس منابع بررسی شده در این تحقیق، عواملی مانند فرم پلان ساختمان (ابعاد قطعه)، جهت‌گیری، ارتفاع و تراکم ساختمانی، به عنوان ویژگی‌های کالبدی ساختمان و مؤثر بر مصرف انرژی و تأثیرپذیر از پیشنهادات برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری معرفی شده‌اند (E.E.Khalil, 2009: 11). نحوهٔ ارتباط میان عوامل مذکور و مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی در جدول ۱ تشریح شده است.

جدول ۱: تأثیر ویژگی‌های کالبدی ساختمان بر انواع مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی

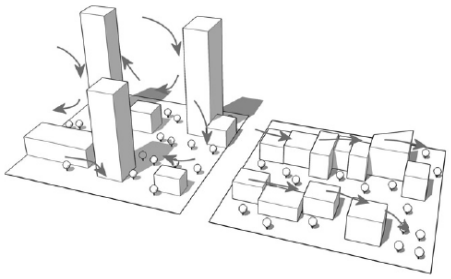
ویژگی کالبدی ساختمان	گرمایش فضای داخل	گرم کردن آب	روشنایی	آشپزی
ارتفاع و تراکم ساختمانی	×		×	
فرم پلان ساختمان	×		×	
جهت‌گیری ساختمان	×		×	

۲-۱- ارتفاع و تراکم ساختمانی

ارتفاع و تراکم ساختمان از جمله موارد بسیار مهمی می‌باشند که در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری مشخص می‌گردد. در صورت عدم کنترل و هماهنگی ارتفاع ساختمان‌ها در شهر یا قسمتی از آن، میزان دسترسی ساختمان‌های مسکونی به نور خورشید، به عنوان یکی از منابع تجدیدپذیر انرژی، و سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر یکدیگر تغییر می‌کند. به تبع همین تغییر است که ساختمان‌های مسکونی انرژی بیشتری را صرف تأمین روشنایی و گرم کردن فضای داخل خانه می‌کنند (شکل ۱).

تراکم ساختمانی نیز که با میزان استفاده از زمین و ارتفاع ساختمان در ارتباط می‌باشد، بر میزان مصرف انرژی در ساختمان تأثیرگذار می‌باشد. در واقع، هر چه تراکم ساختمانی افزایش یابد، میزان سطح پوشیده شده از زمین کاهش یافته و خرد اقلیم محدوده از شرایط بهتری برخوردار می‌گردد. لازم به ذکر است که در صورت افزایش بیش از حد تراکم ساختمانی در شهر، ارتفاع ساختمان‌ها افزایش یافته و این امر موجب به وجود آمدن کوران باد در اطراف ساختمان و در نتیجه کاهش دما می‌شود. بنابراین انرژی بیشتری در ساختمان صرف گرمایش فضای خانه می‌گردد.

شکل۱: عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در بخش ساختمان، ارتفاع و تراکم ساختمانی



مأخذ: Biddulph, 2007

۲-۲- فرم پلان ساختمان

این عامل با مواردی چون طول و عرض قطعه، شکل هندسی قطعه و چیدمان ساختمان‌های مسکونی در ارتباط است. طول و عرض قطعه و شکل هندسی قطعه از جمله موارد مهمی هستند که بر میزان مصرف انرژی ساختمان برای گرمایش و روشنایی تأثیر می‌گذارد. نحوهٔ این تأثیرگذاری بدین نحو است که با تغییر در ابعاد، اندازه، همچنین شکل قطعه، عمق نفوذ نور خورشید و میزان قابلیت استفادهٔ ساختمان از این منبع انرژی تغییر یافته و به همین ترتیب، انرژی مورد نیاز گرمایش و روشنایی در ساختمان تغییر می‌یابد (شکل۲).

شکل۲: عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در بخش ساختمان، فرم پلان ساختمان

مأخذ: Biddulph, 2007

فرم چیدمان ساختمان‌های مسکونی نیز به نحوهٔ جانمایی ساختمان‌های مسکونی اطلاق شده که دارای انواع مختلفی مانند به هم چسبیده و جدا، خطی، حیاط مرکزی و بلوک‌های بلند مرتبه می‌باشد. هر یک از این فرم‌ها دارای ویژگی‌های خاص خود بوده و با توجه به تفاوت هر یک از نقطه نظر دسترسی به نور خورشید و مواجهه با باد، تغییراتی را در میزان مصرف انرژی ساختمان ایجاد می‌نماید. برای نمونه، در صورت چسبیدن ساختمان‌های مسکونی به یکدیگر، سطح آزاد ساختمان‌ها کاهش یافته و در نتیجه تبادل حرارتی ساختمان با محیط اطراف کمتر شده و انرژی کمتری برای گرمایش ساختمان، مورد نیاز می‌باشد (Biddulph, 2007). فرم‌های حیاط مرکزی، به دلیل ایجاد محصوریت برای ساختمان‌های مسکونی، موجب کاهش اثر منفی باد در زمستان‌ها شده و در نتیجه انرژی مورد نیاز برای گرمایش کاهش می‌یابد.

۲-۳- جهت‌گیری ساختمان

این عامل با دسترسی به نور خورشید در ارتباط مستقیم بوده و بر مصرف انرژی مورد نیاز جهت گرمایش و روشنایی تأثیر می‌گذارد. به عبارت دیگر، زاویه‌ای که ساختمان به محور شمال جنوب دارا می‌باشد، با توجه به عرض جغرافیایی محل، بر میزان ساعات دسترسی به نور مستقیم خورشید در طول روز تأثیرگذار بوده و در نتیجه میزان انرژی مورد نیاز ساختمان را تغییر می‌دهد.

بر اساس موارد ذکر شده، دستورالعمل‌های زیر جهت کاهش میزان مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی قابل کاربرد می‌باشد:

- قطعات مسکونی (ساختمان‌های مسکونی) به منظور کاهش سطح آزاد ساختمان و در تماس با محیط، به صورت متراکم و فشرده و چسبیده به یکدیگر جانمایی شوند.
- جهت‌گیری قطعات مسکونی به سمت جنوبی و شرقی به منظور دست‌یابی به نور و گرمای خورشید، مدیریت شود.
- توجه به اثر باد موجب کاهش ۳ تا ۵ درصدی در میزان مصرف انرژی در اقلیم‌های سرد خواهد شد. بنابراین استفاده از الگوی متراکم، جهت‌گیری معابر در خلاف جهت باد غالب زمستان، تغییر ارتفاع متناسب و فرم در بلوک‌ها و کاشت درخت به عنوان مانع در جبههٔ مواجهه با باد ساختمان‌ها، از جمله موارد موثر می‌باشد (Biddulph, 2007: 90-93).
- جهت استفادهٔ بهینه از عمق نفوذ نور خورشید در ساختمان‌های مسکونی، فرم مستطیل برای ساختمان‌ها پیشنهاد شده و ترجیحاً کشیدگی آن در جهت جنوبی اعمال شود.
- جذب آلودگی صوتی بلوک‌های مسکونی ناشی از شبکهٔ معابر تا حد امکان کاهش یابد.
- عمق قطعات مسکونی به منظور افزایش استفاده از نور خورشید، تا حد امکان کاهش یابد.
- سایه‌اندازی بلوک‌های ساختمانی بر یکدیگر از طریق تعیین حداقل فاصلهٔ بین بلوک‌ها با توجه به نظام ارتفاعی موجود در آنها، کاسته شود.

- ارتفاع ساختمان‌ها در جبهۀ مقابل باد غالب در اقلیم سرد افزایش داده شود.
- تراکم ساختمانی تا جای امکان افزایش داده شود.

۳. روش‌شناسی تحقیق

مدل‌ها و روش‌های اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی در شهر، طیف بسیار متنوعی را به خود اختصاص می‌دهند. بر اساس بررسی‌های انجام شده، مدل‌ها و روش‌های اندازه‌گیری انرژی در شهر بر اساس سه ویژگی کلیدی حیطۀ عمل (تک‌بخشی/چند بخشی)، مقیاس (تک بنا، محله، شهر، منطقه) و ماهیت روش‌شناختی (مشاهده مبنا/فرآیند مبنا، شبیه‌سازی/پایان‌نگر، فضایی/غیرفضایی) قابل دسته‌بندی می‌باشند (Condon et al., 2009: 10-12). از طرف دیگر، امروزه نقش نرم‌افزارها در شهرسازی غیرقابل انکار بوده، به نحوی که استفاده از آنها نه تنها موجب تسریع امر برنامه‌ریزی می‌شود، بلکه دقت طرح‌ها در صورت استفاده از ابزارهای مناسب به شدت افزایش می‌یابد. همین امر نرم‌افزارهای تحلیلی را به جزء جدایی‌ناپذیر و الزامات فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری تبدیل نموده است. بنابراین، انواع مدل‌های اندازه‌گیری مصرف انرژی در شهر، مبنا و پایۀ تولید نرم افزارهای مختلفی را در این زمینه فراهم آورده است.

در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری هر چه دقیق‌تر انرژی ساختمان‌ها، تلاش بر آن بوده تا مدل نرم‌افزاری مورد استفاده دارای ویژگی تک‌بخشی، مقیاس محله و فضایی باشد. به همین منظور، در این تحقیق از نرم‌افزار Ecotect به عنوان ابزار تحلیل و اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی ساختمان استفاده شده است. به طور کلی این نرم‌افزار دارای هشت ابزار تحلیلی در ارتباط با ساختمان است که در مقیاس‌های متفاوت قابل به‌کارگیری می‌باشد.

همان‌طور که در بالا اشاره شد، جهت دستیابی به میزان مصرف انرژی در ساختمان، باید میزان تغییرات در انرژی مورد نیاز گرمایش و سرمایش و همچنین روشنایی ساختمان محاسبه گردد. معیارهای مذکور، به طور مستقیم با میزان جذب نور خورشید واحدهای مسکونی از یک سو و محیط پیرامونی واحدهای مسکونی از سوی دیگر، ارتباط دارند. همچنین لازم به ذکر است با توجه به این موضوع که میزان مصرف انرژی جهت گرمایش بسیار بیشتر از انرژی مورد نیاز جهت سرمایش می‌باشد (Nasrollahi, 2009: 6) و همچنین با استفاده از سایه‌بان مناسب برای ساختمان‌ها می‌توان انرژی مورد نیاز سرمایشی را کاهش داد، لذا در این تحقیق تنها میزان انرژی لازم برای گرمایش و تأمین روشنایی ملاک عمل می‌باشد. این دو معیار نیز با استفاده از ابزارهای تحلیل سایه‌اندازی، میزان جذب انرژی خورشیدی و تحلیل حرارتی در نرم‌افزار Ecotect محاسبه می‌شود.

بر این اساس، در ابتدا با استفاده از تحلیل سایه‌اندازی، میزان سایه و سایه‌اندازی در ظهر روز وسط زمستان[۱۰] برای ساختمان‌های مسکونی محدوده در بازه‌های زمانی نیم‌ساعته محاسبه می‌شود. سپس میزان شدت جذب نور خورشید در محیط اطراف ساختمان‌های محدوده تحلیل شده و در نهایت میزان انرژی مورد نیاز جهت گرمایش ساختمان‌ها بر اساس میزان دسترسی به نور خورشید با توجه به سایه‌اندازی محاسبه و برآورد می‌شود.

داده‌های مورد نیاز جهت استفاده از ابزارهای تحلیلی مورد نیاز در نرم‌افزار Ecotect، مشخصات کالبدی ساختمان‌های پیشنهادی (مساحت ساختمان، فرم قطعه، ارتفاع، جنس دیوارهای ساختمان) و اطلاعات اقلیمی در زمینۀ بارش، موقعیت جغرافیایی، بادهای غالب و رطوبت می‌باشد.

بر این اساس، در ابتدا پلان محدوده وارد نرم‌افزار می‌شود. سپس هر یک از بلوک‌های مسکونی در قالب یک سری محدوده‌های[۱۱] با ارتفاع مشخص، فرم بلوک‌های مسکونی داخل محدوده را مشخص می‌نماید. در مرحلۀ بعد، با تعیین مصالح دیوار و سقف بلوک‌های ساختمانی موجود[۱۲]، و وارد نمودن اطلاعات اقلیمی و جغرافیایی (مانند موقعیت جغرافیایی، میزان بارش‌های ماهیانه، جهت وزش باد و ....)، ساختمان‌های سناریوهای پیشنهادی آمادۀ تحلیل‌های میزان دسترسی به نور خورشید و میزان انرژی مورد نیاز ماهانه جهت گرمایش می‌باشند. در مرحلۀ اول، سایه‌اندازی محدوده به صورت شماتیک در اطراف ساختمان‌ها مشخص شده و سپس با ایجاد یک شبکه[۱۳] در سطح زمین، میزان جذب نور خورشید در فضای اطراف ساختمان‌ها اندازه‌گیری شده و میزان نور خورشید موجود در ساختمان‌ها و فضای اطراف آنها نشان داده می‌شود. در مرحلۀ دوم، با وارد نمودن تعداد افراد ساکن در هر واحد و محاسبات حرارتی انجام شده توسط نرم‌افزار، بر حسب میزان جذب نور خورشید، میزان انرژی مورد نیاز جهت گرمایش در ساختمان‌های مسکونی در مدت یک سال و با فرض درجۀ حرارت آسایش ۳۶-۱۸ درجه سانتیگراد محاسبه می‌گردد.

۴. تحلیل یافته‌ها

به منظور ارزیابی میزان تأثیرگذاری مؤلفه‌های برنامه‌ریزی و طراحی‌شهری بر میزان مصرف انرژی در ساختمان، با تأکید بر ویژگی‌های کالبدی ساختمان، تعیین محدوده‌ای به عنوان نمونۀ موردی پژوهش ضروری است. شهرهای جدید به عنوان یکی از راهکارهای اسکان جمعیت رو به رشد شهری، در کشور ایران (دورۀ بعد از انقلاب اسلامی) همچنان توسط دولت‌های مختلف پیگیری

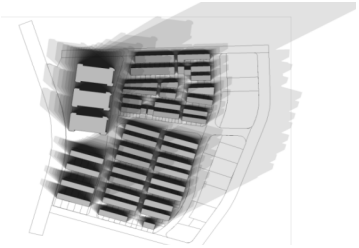
شده است. شهرهای جدید، به دلیل ماهیت نوین و ویژگی‌های خاص خود، از یک سو جمعیت جوان کشور را به خود جذب نموده و از سوی دیگر، به دلیل خالی بودن زمین‌های آنها در ابتدا، پتانسیل مناسبی را جهت شکل‌گیری بافت‌های شهری انرژی-کارا فراهم می‌آورند. به همین جهت، ۳۵ هکتار از اراضی شهر جدید هشتگرد، به عنوان نمونهٔ موردی این تحقیق در نظر گرفته شد. شهر جدید هشتگرد در دامنهٔ جنوبی رشته کوه البرز، غرب استان تهران و میانهٔ راه کرج- قزوین واقع شده و فاصلهٔ آن با شهرهای کرج، تهران و قزوین به ترتیب ۲۵، ۶۰ و ۷۵ کیلومتر می‌باشد. محدودهٔ قانونی این شهر با مساحت ۴۴۶۱ هکتار، به ترتیب در عرض و طول جغرافیایی ۳۵ و ۵۰ درجه قرار دارد. همچنین جمعیت شهر طبق سرشماری سال ۱۳۸۵ حدود ۱۶۰۰۰ نفر، یعنی حدود ۱۱ درصد پیش‌بینی طرح جامع مصوب برای سال ۱۳۸۵، بود. نمونهٔ موردی این تحقیق، در قسمت جنوبی شهر جدید هشتگرد واقع شده و در حال حاضر خالی از سکنه می‌باشد.

در این تحقیق، سه سناریو برای ساختمان‌های مسکونی محدوده پیشنهاد و ارائه شده است. جهت فراهم آوردن شرایط مقایسه بین سناریوهای پیشنهادی، تعداد جمعیت قابل اسکان در هر سه سناریو، یکسان (۸۰۰۰ نفر) در نظر گرفته شده است. در سناریوی اول پیشنهادی، ساختمان‌های محدوده با توجه به پیشنهادات طرح جامع و ضوابط طرح تفصیلی موجود شهر و ملاک عمل در محدوده، طراحی شدند. سناریوی دوم پیشنهادی، سناریوی حداقل مداخله نام دارد که در آن با ملاک قرار دادن دستورالعمل‌های ارائه شده در این تحقیق، در سناریوی اول تغییرات جزئی در ارتباط با جهت‌گیری ساختمان‌ها، ابعاد و اندازهٔ قطعات و نظام ارتفاعی اعمال گردید. در این سناریو، جهت‌گیری قطعات به سمت جنوب، فرم چینش ساختمان‌ها خطی، ارتفاع ساختمان‌ها سه طبقه و فاصلهٔ بین ساختمان‌ها طوری تنظیم شده تا حداقل سایه‌اندازی را داشته باشد. سناریوی سوم پیشنهادی، سناریوی حداکثر مداخله می‌باشد. در این سناریو بر اساس دستورالعمل‌های ارائه شده، چینش ساختمان‌های مسکونی به صورت حیاط مرکزی، ارتفاع ساختمان‌ها بین سه تا شش طبقه و نظام ارتفاعی با میزان سایه‌اندازی کنترل شده است. لازم به ذکر است که در تمامی سناریوهای ارائه شده، عامل شیب (توپوگرافی) در جانمایی ساختمان‌ها و تعیین فاصلهٔ آنها لحاظ گردیده است.

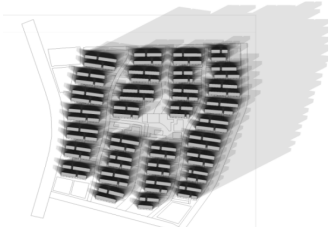
۴-۱- تحلیل سایه‌اندازی

بر اساس ارتفاع پیشنهادی ساختمان‌های مسکونی در سناریوهای وضع موجود، حداقل مداخله و حداکثر مداخله، میزان سایه‌اندازی ساختمان‌ها بر یکدیگر در فاصلهٔ زمانی نیم ساعته محاسبه شده، که در نقشه‌های ۱ تا ۳ قابل مشاهده می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سناریوی اول، به دلیل افزایش شدید ارتفاع ساختمان‌های جدارهٔ غربی محدوده، سایه‌اندازی زیاد شده و حتی بر روی بلوک‌های مسکونی مجاور خود نیز تأثیر زیادی گذاشته است. در حالی که در سناریوی دوم میزان سایه‌اندازی کاهش یافته و در سناریوی سوم، تقریباً به حداقل رسیده است.

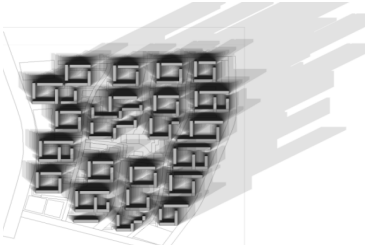
نقشه۱: سایه‌اندازی بلوک‌های مسکونی در سناریوی اول



نقشه۲: سایه‌اندازی بلوک‌های مسکونی در سناریوی دوم



نقشه۳: سایه‌اندازی بلوک‌های مسکونی در سناریوی سوم

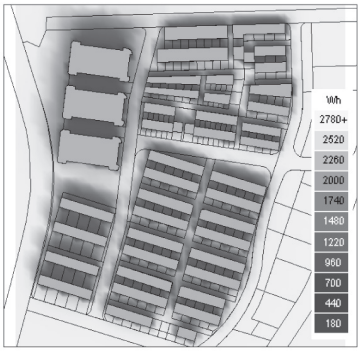


۴-۲- تحلیل شدت دسترسی به نور خورشید

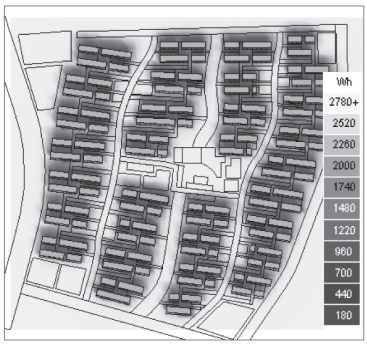
شاخص شدت دسترسی به نور خورشید در محدودهٔ اطراف ساختمان‌های سناریوهای پیشنهادی بر اساس میزان تابش نور خورشید و میزان سایه‌اندازی ساختمان‌ها محاسبه شده و در نقشه‌های ۴ تا ۶ قابل مشاهده می‌باشد. به عبارت دیگر، میزان جذب نور در محیط اطراف ساختمان‌ها با سطح سایه‌اندازی رابطهٔ مستقیم داشته و این میزان به طور مستقیم بر میزان روشنایی ساختمان‌ها تأثیر می‌گذارد.

همان‌طور که در نقشه‌های زیر قابل مشاهده می‌باشد، رنگ خاکستری تیره نشان‌دهندهٔ پایین‌ترین و رنگ خاکستری روشن نشان‌دهندهٔ بالاترین میزان دسترسی به نور خورشید می‌باشد. بنابراین میزان رنگ خاکستری تیره بیشتر و خاکستری روشن کمتر، نشان‌دهندهٔ دسترسی بیشتر به نور خورشید است. بر همین مبنا، با حرکت از سناریوی وضع موجود به سمت سناریوی حداکثر مداخله، روند کاهشی رنگ آبی و افزایش رنگ زرد قابل مشاهده بوده، که بیانگر افزایش میزان دسترسی به نور خورشید در ساختمان‌های مسکونی و به تبع آن کاهش میزان نیاز به انرژی جهت تأمین روشنایی می‌باشد.

نقشه۴: شدت دسترسی به نور خورشید در سناریوی اول



نقشه۵: شدت دسترسی به نور خورشید در سناریوی دوم



نقشه۶: شدت دسترسی به نور خورشید در سناریوی سوم

۳-۴- تحلیل انرژی مورد نیاز گرمایش

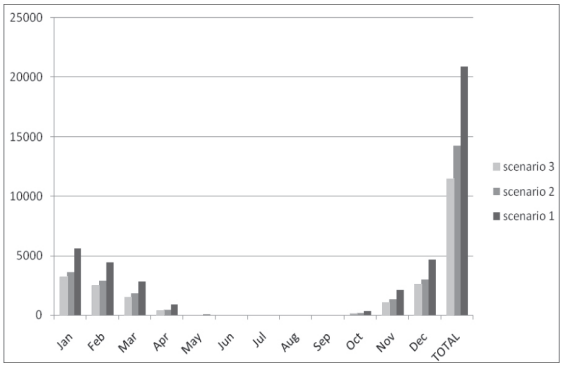
انرژی مورد نیاز ساختمان جهت گرمایش، آخرین شاخص اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان می‌باشد. همان‌طور که در روش‌شناسی تحقیق اشاره شد، این شاخص نیز بر حسب تعداد افراد ساکن در ساختمان و میزان گرمای جذب شدهٔ ساختمان ناشی از نور خورشید، برای ساختمان‌های مسکونی سناریوهای پیشنهادی در طول یک سال بر حسب مگاوات محاسبه گردید (نمودار۲، جدول۲).

جدول۲: میزان انرژی مورد نیاز گرمایش در سناریوهای پیشنهادی بر حسب ماه

ماه	سناریوی اول	سناریوی دوم		سناریوی سوم	
	میزان انرژی	میزان انرژی	درصد تغییر با سناریوی اول	میزان انرژی	درصد تغییر با سناریوی دوم
ژانویه	۵۵۷۹/۴	۳۵۸۷/۱	-۳۵/۷	۳۲۰۷/۵	-۱۱/۸
فوریه	۴۴۵۸/۳	۲۸۸۴/۶	-۳۵/۳	۲۵۰۳/۹	-۱۵/۲
مارچ	۲۸۳۳	۱۸۳۸/۴	-۳۵/۱	۱۴۹۹	-۲۲/۶
آپریل	۸۶۹/۴	۴۳۹/۹	-۴۹/۴	۳۸۲	-۱۵/۲
می	۵۱/۱	۱۲/۲	-۷۶/۱	۱۱/۱	-۱۰/۲
جون	۰	۰	-	۰	-
جولای	۰	۰	-	۰	-
آگوست	۰	۰	-	۰	-
سپتامبر	۰	۰	-	۰	-
اکتبر	۳۵۴/۲	۱۶۹/۵	-۵۲/۱	۱۳۷	-۲۳/۷
نوامبر	۲۱۱۲/۸	۱۳۵۱/۹	-۳۶	۱۰۸۶/۶	-۲۴/۴
دسامبر	۴۶۵۸	۲۹۹۲/۷	-۳۵/۸	۲۶۲۷/۷	-۱۳/۹
جمع	**۲۰۹۱۶/۲۲۳۳۹**	**۱۴۲۳۶/۱۵۹۳۴**	**-۳۱/۹**	**۱۱۴۵۴/۷۵۸۴**	**-۲۴/۳**

همان‌طور که در نمودار۱ و جدول۲ مشاهده می‌شود، کل ساختمان‌های مسکونی سناریوی اول (سناریوی وضع موجود) در طول یک سال حدود ۲۰۹۱۶ مگاوات انرژی جهت تأمین دمای آسایش، نیاز داشته و در میان سناریوهای پیشنهادی بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. این در حالی است که در سناریوی دوم (حداقل مداخله) و سوم (حداکثر مداخله)، این عدد به حدود ۱۴۲۳۶ و ۱۱۴۵۴ مگاوات در سال کاهش یافته است. مقایسهٔ بین سناریوهای وضع موجود و حداکثر مداخله، حاکی از کاهش ۴۵ درصدی در میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان می‌باشد.

نمودار۱: مقایسهٔ میزان انرژی گرمایشی بین سناریوهای پیشنهادی



۵. جمع‌بندی

بر اساس نتایج حاصله از ارزیابی سناریوهای پیشنهادی، بین ۳۰ تا ۴۵ درصد کاهش در میزان مصرف انرژی سالانهٔ بخش ساختمان با استفاده از دستورالعمل‌های ارائه شده در این تحقیق، دست یافتنی می‌باشد. نکتهٔ بسیار مهم و قابل ذکر در زمینهٔ نتایج این تحقیق این می‌باشد که کاهش ۳۰ تا ۴۵ درصدی، تنها با اعمال تغییراتی در فرم چینش، ارتفاع، ابعاد و اندازهٔ قطعات و جهت‌گیری ساختمان‌ها در فرآیند برنامه‌ریزی و طراحی شهری حاصل شده و هزینهٔ اولیه‌ای را در بر نداشته است. به منظور درک بهتر اهمیت این موضوع، در این قسمت، این میزان کاهش در انرژی مصرفی به صورت ریالی محاسبه شده است (جدول۳).

جدول۳: میزان ریالی ناشی از صرفه‌جویی انرژی در طول یک سال در سناریوهای پیشنهادی

سناریوی پیشنهادی	مصرف انرژی در ساختمان(لیتر)	درصد تغییر به نسبت سناریوی اول	مقدار صرفه جویی سوخت	ارزش ریالی
اول	۵۴۳۸۲۱۸/۰۸	-	-	-
دوم	۳۷۰۱۴۰۱/۴۲۹	-۳۱/۹۳۷۲۳۷۹۹	۱۷۳۶۸۱۶/۶۵۱	۵۲۱۰۴۴۹۹۵۳
سوم	۲۹۷۸۲۳۷/۱۸۴	-۴۵/۲۳۵۰۵۴۲	۲۴۵۹۹۸/۸۹۶	۷۳۷۹۹۴۲۶۸۹

جدول بالا، نشان‌دهندهٔ حجم بالای هدر رفت منابع مالی و زیست‌محیطی کشور به دلیل عدم توجه به معیارها و اصول توسعهٔ مبتنی بر اصل کارایی انرژی می‌باشد. به بیان دیگر، در صورت توجه به بحث انرژی و بکارگیری اصول برنامه‌ریزی و طراحی مبتنی بر کاهش مصرف انرژی، می‌توان تا حد بسیار زیادی نه تنها به اقتصاد ساکنین، بلکه به اقتصاد کشور کمک نمود. وضعیت حال حاضر کشور و روند رو به رشد قیمت انرژی و سوخت، اهمیت توجه و بکارگیری معیارها و اصول تدوین شده در فرآیندهای موجود طرح‌ریزی شهری را دوچندان می‌نماید.

لازم به ذکر است که تحقیق انجام شده تنها در محدودهٔ ۳۵ هکتار از شهر جدید هشتگرد انجام شده و در حدود ۷۰۰ میلیون تومان صرفه‌جویی سالانه به همراه داشته است. بنابراین در صورت اعمال دستورالعمل‌های مبتنی بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های موجود در کل کشور، این رقم بسیار هنگفت بوده و اهمیت توجه به این موضوع را بیش از پیش آشکار می‌نماید. لذا پیشنهاد می‌شود تا دستورالعمل‌هایی بر مبنای کاهش مصرف انرژی در ساختمان در حیطهٔ برنامه‌ریزی و طراحی شهری برای محدوده‌های اقلیمی متفاوت تهیه شده تا به عنوان استاندارد در انواع طرح‌های توسعه شهری لحاظ گردد.

پی‌نوشت

1) Our Common Future
2) Hui
3) Steemers
4) Kwon
5) Leather
6) Okeil
7) Sustainable Urban Energy Planning
8) UN-Habitats
9) Energy-Efficient Development

۱۰) در این روز خورشید در پایین‌ترین حالت خود قرار داشته و بیشترین میزان سایه‌اندازی را خواهیم داشت. بنابراین ظهر این روز به عنوان مبنای محاسبهٔ سایه‌اندازی ملاک عمل قرار می‌گیرد.

11) Zone

۱۲) در تعیین مصالح ساختمان‌های موجود، از مصالح مشابه با ضریب حرارتی یکسان استفاده شده و این مصالح بر اساس قوانین و مقررات ملی ساختمان (مبحث نوزدهم) تعیین شده‌اند. همچنین سطح پنجره‌های موجود نیز در تمامی ساختمان‌ها در سناریوهای متفاوت یکسان می‌باشد.

13) Grid

منابع

- براتی‌ملایری، عقیل و حوری‌جعفری، حامد (بهار ۱۳۸۷): **"بررسی وضعیت مصرف انرژی در بخش‌های مصرف کنندهٔ نهایی"**، نشریهٔ بررسی مسائل اقتصاد انرژی، سال اول، شماره اول.
- چپ‌من، دیوید (۱۳۸۴): **"آفرینش محلات و مکان‌ها در محیط انسان‌ساخت"**، ترجمهٔ شهرزاد فریادی و منوچهر طبیبیان، تهران، انتشارات دانشگاه تهران.
- مدنی‌پور، علی(۱۳۷۹): **"طراحی فضاهای شهری: نگرشی بر فرآیندهای اجتماعی-مکانی"**، ترجمهٔ علی مرتضایی، تهران، شرکت پردازش و برنامه‌ریزی شهری.

- American planning Association (APA). (2006) **"Planning and Urban Design Standard"**, London, John Wiley & Sons, Inc.
- Biddulph, Mike. (2007) **"Introduction to Residential Layout"**, Oxford, Elsevier.
- Caves, Roger. (2005) **"The Encyclopedia of the City"**, London, Routeldge.
- Condon, Patrick M. & Cavens, Duncan. & Miller, Nicole. (2009) **"Urban Planning Tools for Climate Change Mitigation"**, Policy Focus Report, Lincoln Institute of Land Policy.
- E.E. Khalil, Heba Allah. (2009) **"Energy Efficiency Strategies in Urban Planning of Cites"**, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 7th International Energy Conversion Engineering Conference, August, Denver, Colorado.
- Haughton, Miller. & Hunter, Mike. (1994) **"Sustainable Cities"**, London, kingsley press.
- Hui, C.M. Sam. (2001) 'Low energy building design in high density urban cities', **"Renewable Energy"**, Vol.24: 627–640.
- Kwon, Eunkyung. & Leather, James A. (2006) **"Urban Transport Energy Efficiency"**, Technical note, Regional and Sustainable Development Department, Asian Development Bank(ADB).
- Lantsberg, Alex. (2005) **"Sustainable Urban Energy Planning, A Roadmap for Research and Funding"**, California, California Energy Commission.
- Moughtin, Cliff. (1996) **"Urban design: Green dimensions"**, Architectural press, Oxford.
- Nasrollahi, Farshad. (2009) **"Energy Efficient Architecture for Tehran"**, IFHP World Congress Urban Technology for Urban Sustainability, Climate Change and Energy Efficiency.
- Okeil, Ahmad. (2010) 'A Holistic Approach to Energy Efficient Building Forms', **"Energy and Buildings"**, Vol.42: 1437–1444.
- Omer, A.M. (2008) 'Energy, Environment and Sustainable Development', **"Renewable and Sustainable Energy Reviews"**, Vol.12: 9
- Report of the World Commission on Environment and Development(WCED). (1987) **"Our Common Future"**, United Nations(UN).
- Steemers, K. (2003) 'Energy and the City: Density, Buildings and Transport', **"Energy and Buildings"**, Vol.35: 3-14.

سایت‌های اینترنت

- http://www.suburbansolutions.ac.uk/DocumentManager., Mitchell, Gordon. (2005) **"Urban Development, Form and Energy use in Buildings: a review for the solutions project"**, EPSRC, April 2010.
- http://www.unhabitat.org/content.asp?typeid=19&catid=555&cid=5607; UN-Habitat. (2009) **"Sustainable Energy Planning"**, ICLEI, April 2010.
- http://www.unfpa.org/swp/2007/english/introduction.html., March 2011.
- http://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicator., January 2011.
- http://www.eia.doe.gov/oiaf/ieo/world.html., January 2011.
- http://www.hamshahrionline.ir/news-87274.aspx., January 2011.
- http://www.newurbanism.org/newurbanism/principles.html., December 2010.