

فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی

سال سوم / شماره ۹ / زمستان ۱۳۹۶ / صفحات ۷۴-۵۷

## برآورد میزان صرفه‌جویی انرژی در صورت جایگزینی کولرهای آبی برچسب A در بخش ساختمان شهر تهران (مسکونی)

معین احمدی

کارشناس ارشد سیستم‌های انرژی، دانشگاه صنعتی شریف  
moineahmadi@gmail.com

عباس ملکی

دانشیار سیاستگذاری، دانشگاه صنعتی شریف  
maleki@sharif.edu

سعید ودادی کلانتر

دانشجوی دکتری مدل‌سازی انرژی، دانشگاه تهران  
(نویسنده مسئول)  
saeedkalantari89@gmail.com

در این مطالعه، پتانسیل صرفه‌جویی مصرف انرژی در کولرهای آبی با استفاده از روش مدل‌سازی پایین به بالا برآورد شده است. با وجود اینکه برچسب انرژی در کولرهای آبی نسبت به کولرهای گازی تاثیر کمتری در مصرف سالانه انرژی ساختمان‌ها دارد، اما به دلیل استفاده ۶۵ درصد ساختمان‌ها از کولر آبی، مساله بهره‌وری انرژی کولرهای آبی بسیار مهم است. معمولاً هزینه سرمایه‌گذاری لازم برای بهره‌وری انرژی از مقدار مشابه برای ایجاد ظرفیت تولید، کمتر است. همچنین هزینه‌های عملیاتی مشابه تولید انرژی در مورد بهره‌وری انرژی وجود نخواهد داشت. بعلاوه، سرمایه‌گذاری در بخش بهره‌وری انرژی بسیار سریع‌تر به نتیجه می‌رسد و زمان بازگشت سرمایه کوتاه‌تری دارد. این دلایل، اجرای این طرح را امکان‌پذیر می‌کند. در صورت استفاده از کولرهای آبی با برچسب انرژی A در تهران، ۹۷۹،۸۸۴ گیگاوات ساعت برق صرفه‌جویی می‌شود و انتشار ۶۸۰،۹۲۷ تن CO<sub>2</sub> در سال کاهش می‌یابد. با تعمیم نتایج به کل کشور، پتانسیل حدود ۸ تراوات ساعت صرفه‌جویی برق و ۴ میلیون تن کاهش انتشار CO<sub>2</sub> در ایران وجود خواهد داشت.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری انرژی، ساختمان، برچسب انرژی، کولر آبی، کاهش انتشار آلاینده‌ها

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۵/۹

## ۱. مقدمه

در بیشتر کشورهای در حال توسعه فاصله اندکی بین ظرفیت تولید شبکه و مصرف انرژی الکتریکی وجود دارد. بنابراین، با افزایش مصرف انرژی لازم است نیروگاه‌های جدید (عمدتاً نیروگاه گازی) برای پاسخگویی به مصرف جدید ساخته شود. سرمایه‌گذاری در بهره‌وری انرژی در ساختمان‌ها می‌تواند با هزینه سرمایه‌گذاری در بخش عرضه انرژی برای تامین انرژی مورد نیاز در زمان پیک مصرف مقایسه شود. معمولاً هزینه سرمایه‌گذاری لازم برای بهره‌وری انرژی از مقدار مشابه برای ایجاد ظرفیت تولید کمتر است. همچنین هزینه‌های عملیاتی مشابه تولید انرژی در زمینه بهره‌وری انرژی وجود ندارد. بعلاوه، سرمایه‌گذاری در بخش بهره‌وری انرژی بسیار سریع‌تر به نتیجه می‌رسد و زمان بازگشت سرمایه کوتاه‌تری دارد. به همین دلیل، صنعت خدمات انرژی در جهان سریعاً در حال رشد است.

بخش ساختمان (تجاری و مسکونی) بیش‌ترین سهم مصرف برق کشور (حدود یک سوم) را به خود اختصاص داده است که افزایش مصرف برق در این بخش بویژه در ساعات پیک مصرف، بخش صنعت را با مشکلات عدیده‌ای روبرو کرده است (ورهرامی، ۱۳۹۵). کمبود انرژی در بخش صنعت منجر به کاهش رشد اقتصادی می‌شود. بنابراین، توجه به بهره‌وری انرژی در بخش ساختمان علاوه بر تاثیرات بخشی، باعث بهره‌وری سیستم انرژی کشور می‌شود (امیرمعینی، ۱۳۹۵). در بسیاری از کشورها مصرف انرژی در بخش ساختمان از مصارف صنعتی و حمل و نقل بیشتر است. بر اساس آمار آژانس بین‌المللی انرژی، بخش ساختمان بیش از ۴۲ درصد از مصرف برق را به خود اختصاص می‌دهد (IEA, 2015). در کشور ایران سهم بخش‌های مختلف از مصرف انرژی، ۳۳٫۶ درصد خانگی، تجاری و عمومی (ساختمان)، ۴ درصد کشاورزی، ۲۵٫۸ درصد حمل و نقل، ۲۴٫۴ درصد صنعت و ۱۲٫۱ درصد مصارف غیر را شامل می‌شود. سرانه مصرف نهایی انرژی ایران در بخش‌های کشاورزی، خانگی، تجاری و عمومی، حمل و نقل و صنعت به ترتیب ۳٫۱، ۱٫۸، ۱٫۵ و ۱٫۴ برابر

متوسط جهانی است. همچنین شدت مصرف انرژی ایران ۱,۴ برابر متوسط جهانی است (ترازنامه انرژی ۱۳۹۳، ۱۳۹۶). انرژی سرمایشی حدود ۲۵ درصد از مصرف انرژی یک ساختمان را تشکیل می‌دهد. (دودایی‌نژاد، ۱۳۹۲)

در ایران، در دهه گذشته، بارهای سرمایشی پیک بار شبکه برق را در تابستان ایجاد کرده است. این بارها به دلیل اینکه ناشی از دمای بالای هوا در نیمه‌روز می‌باشند، قابل انتقال به زمان دیگری نیستند.

با توجه به اینکه ۶۵ درصد ساختمان‌های کشور از کولر آبی استفاده می‌کنند، یکی از راه‌های کنترل رشد پیک بار شبکه سراسری برق، افزایش بهره‌وری تجهیزات کولر آبی است (سابا، ۱۳۹۶). در این مقاله، مصرف انرژی ساختمان به صورت ماهانه با استفاده از شبیه‌ساز انرژی برآورد شده و سپس تاثیر جایگزینی کولرهای آبی موجود با کولرهای با برچسب انرژی A در میزان مصرف انرژی در شهر تهران مطالعه شده است.

## ۲. روش پژوهش

### مدل‌سازی مصرف انرژی بخش ساختمان

بخش ساختمان به دلایل مختلفی از قبیل تنوع در ساختار هندسی، جهت ساختمان، جنس مواد و مصالح، رفتار و محدودیت‌های ناشی از بودجه و فرهنگ مصرف‌کننده دارای تنوع بسیار زیادی از حیث مصرف انرژی می‌باشد. عمده مصرف انرژی ساختمان در بخش‌های گرمایش و سرمایش فضای داخلی ساختمان، تولید آب گرم مصرفی و تجهیزات برقی و روشنایی صورت می‌پذیرد. اینکه عوامل یادشده چه درصدی از کل مصرف انرژی ساختمان را شامل می‌شوند به اقلیم آب و هوایی، ویژگی‌های فیزیکی ساختمان، مالکیت و الگوی رفتاری ساکنان آن وابسته است. همچنین انرژی مصرفی یک ساختمان به مقدار زیادی به بازدهی تجهیزات مصرف‌کننده انرژی وابسته است (Swan, 2009). مدل‌سازی مصرف انرژی ساختمان به دنبال یافتن میزان انرژی موردنیاز برای یک

ساختمان بر اساس تابعی از ورودی‌های مدل است. عمده‌ترین دلیل برای بکارگیری مدل‌ها، برآورد و پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی محلی یا ملی در ابعاد وسیع و یا تغییر در مصرف انرژی یک ساختمان نمونه بعد از تغییرات فناورانه در آن است. این نوع از مدل‌سازی‌ها برای سیاست‌گذاری در مورد ساختمان‌های قدیمی و نوساز بسیار مفید هستند. با برآورد عددی میزان مصرف انرژی ساختمان و همچنین برآورد اثر تغییرات ایجادشده در زمان بازسازی‌ها، مواد و مصالح جدید و فناوری‌های جدید بر مصرف انرژی، برای حمایت از بازسازی‌ها و فناوری‌های جدید همچنین تغییر مقررات ساخت و ساز ساختمان‌های جدید و یا حتی تخریب و بازسازی ساختمان‌های قدیمی می‌توان تصمیم گرفت (Johnston, 2003). مدل‌های برآورد انرژی ساختمان‌های مسکونی ممکن است بر روی اقلیم خاص آب و هوایی، محله، شهر یا در سطح ملی متمرکز شوند. مدل‌ها بسته به در دسترس بودن اطلاعات، هدف از مدل‌سازی و فرضیات وابسته می‌توانند به جزئیات پردازند. بیشتر شدن جزئیات در مدل باعث افزایش دقت و پیچیدگی محاسبات می‌شود (Aydinalp M, 2003). به کمک این مدل‌ها می‌توان ضمن برآورد مصرف انرژی ساختمان، برای حمایت از فناوری‌های با بازدهی انرژی بالا، مقاوم‌سازی ساختمان‌ها، مقررات ساختمان‌های جدید و تخریب و بازسازی ساختمان‌های قدیمی، سیاست‌گذاری مناسب انجام داد. (Swan, 2009)

### ۳. روش‌های مدل‌سازی

دو دیدگاه کلی در مورد مدل‌سازی وجود دارد: رویکرد از بالا به پایین<sup>۱</sup> و رویکرد از پایین به بالا<sup>۲</sup>. هر روش به سطوح مختلفی از اطلاعات، شبیه‌سازی‌ها و محاسبات می‌پردازد و نتایج را با کاربردهای مختلف در اختیار قرار می‌دهد. مدل‌های از بالا به پایین، بخش ساختمان را به صورت یک کل واحد نگاه می‌کند و مصرف انرژی آن را به صورت کلی برآورد می‌کند. در مقابل،

---

1.Top-down

2.Bottom-up

مدل‌سازی به روش از پایین به بالا، مصرف انرژی را برای یک ساختمان واحد و یا یک گروه از ساختمان‌ها برآورد می‌کند و از جمع زدن نتایج گروه‌ها، مقدار کل را محاسبه می‌کند. (Kavgic, 2010)

#### مروری بر رویکردهای از بالا به پایین

رویکردهای از بالا به پایین، بخش ساختمان را به صورت یک واحد در نظر می‌گیرند و بین ساختمان‌های مختلف تمایزی قائل نمی‌شوند. مدل‌های از بالا به پایین، اثر تغییرات میزان مصرف انرژی در بلندمدت در ارتباط با مصرف انرژی ساختمان را به منظور تعیین نمودن میزان عرضه انرژی مورد مطالعه قرار می‌دهند (Österbring, 2016). متغیرهایی که در این روش بیشتر مورد استفاده قرار می‌گیرند، شاخص‌های کلان اقتصادی (تولید ناخالص داخلی، نرخ بیکاری و شاخص‌های قیمتی)، شرایط آب و هوایی، نرخ ساخت و ساز و تعداد ساختمان‌ها در بخش ساختمان هستند (Böhlinger, 2008). مدل‌های از بالا به پایین از یک نقطه تعادل در مصرف انرژی داده‌های تاریخی شروع می‌کنند و بر اساس داده‌های ورودی، آینده را پیش‌بینی می‌کنند (Reinhart, 2016). یک نقطه قوت مدل‌سازی به روش بالا به پایین نیاز به داده‌های تجمیعی است که عمدتاً ساده و قابل دسترس هستند که منجر به قابل اعتماد بودن مدل می‌شود (Sabatier, 1986). از آنجا که بخش ساختمان از لحاظ ساختاری دائماً در حال تغییر است، یک مدل از بالا به پایین برای پیش‌بینی کوتاه‌مدت مناسب‌تر است، زیرا تغییرات ساختاری را محاسبه نمی‌کند. در بلندمدت، احتمال تغییرات ساختاری گسترده بسیار محتمل است. (Zhang, 2015)

#### مروری بر رویکردهای از پایین به بالا

رویکرد از پایین به بالا شامل تمام مدل‌هایی است که از داده‌های ورودی برای مدل کردن یک بخش، در سطحی جزئی‌تر از در نظر گرفتن به صورت یک کل واحد، استفاده می‌کند. ابعاد مصرف

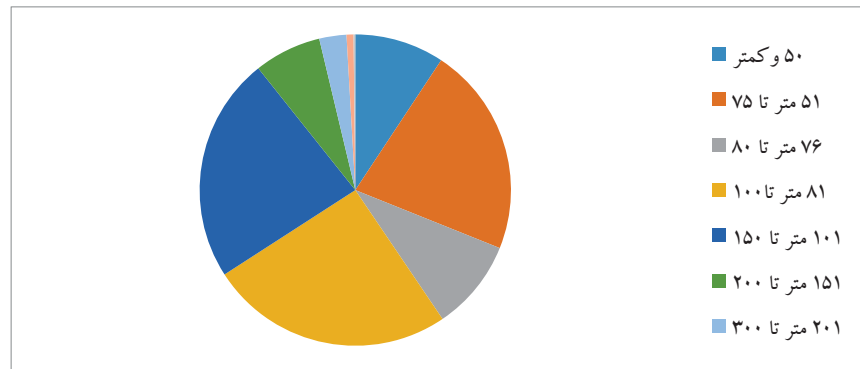
انرژی در این گونه مدل‌ها می‌تواند در سطح یک مصرف‌کننده، یک ساختمان و یا گروهی از ساختمان‌ها باشد که سپس به کل منطقه و یا کل کشور بر اساس وزن نمونه تعمیم داده می‌شود (McKenna, 2013). در روش آماری<sup>۱</sup> بسته به داده‌های تاریخی موجود و نوع تحلیل رگرسیون مورد استفاده، مصرف انرژی برای یک مصرف‌کننده مشخص برآورد می‌شود. با ارتباط بدست آمده بین مصرف‌کننده‌های نهایی و مصرف انرژی آنها می‌توان مصرف انرژی ساختمان‌هایی را که نماینده بخش ساختمان هستند، پیش‌بینی کرد (Theodoridou, 2011). روش‌های مهندسی<sup>۲</sup> برای مدل‌سازی مصرف انرژی از توان دستگاه‌ها، میزان استفاده از آنها و ارتباط ترمودینامیکی انتقال حرارت به بیرون و داخل ساختمان استفاده می‌کنند (Knoeri, 2014). ویژگی‌هایی از قبیل هندسه بنا، جنس مصالح، تجهیزات و دستگاه‌ها، ویژگی‌های اقلیمی و همچنین دماهای داخلی و ویژگی‌های رفتاری در استفاده از وسایل و ساختمان در این نوع مدل‌سازی لحاظ می‌شود. این سطح بالای استفاده از جزئیات به مدل‌های از پایین به بالا این توانایی را می‌دهد که تغییرات فناورانه را بررسی کنند (Lee, 2013). مدل‌های از پایین به بالا، توانایی مدل‌سازی مصرف هر نوع از مصرف‌کننده‌های نهایی را دارند. بنابراین، برای ارتقای بهره‌وری می‌توانند بخش‌های مناسب را شناسایی کنند. همچنین زمانی که مصرف انرژی یک گروه مشخص شد، مصرف انرژی کل بخش ساختمان بدون احتیاج به داده‌های تاریخی قابل محاسبه است (Lee, 2014). الگوی مصرف ساکنین ساختمان در این رویکرد باید تخمین زده شود که با توجه به تنوع الگوهای رفتاری کار پیچیده‌ای است (Froemelt, 2017). در کشور کانادا، مدل کریم<sup>۳</sup> و در ایالات متحده آمریکا، مدل هانگ و برودیک<sup>۴</sup> برای تخمین پتانسیل ملی ارتقای بهره‌وری و همچنین تحولات بازار بهره‌وری انرژی به کار می‌رود (Wang, 2015). در

- 
1. Statistical Method
  2. Engineering Methods
  3. Creem
  4. The Huang and Brodick Model

انگلستان تعدادی مدل انرژی مبتنی بر فیزیک ساختمان در سال‌های اخیر توسعه یافته و زمینه مناسبی برای برآورد تقاضای انرژی و ارزیابی سیاست‌گذاری‌های بهره‌وری انرژی و کاهش آلاینده‌ها فراهم آورده است. مدل بریهمز<sup>۱</sup> (Shorrock, 1997, 2005)، مدل UKDCM<sup>۲</sup> (Boardman, 2005) و مدل<sup>۳</sup> CDEM (Firth, 2010) نمونه‌ای از مدل‌های مصرف انرژی ساختمان در انگلستان هستند.

#### ۴. بررسی وضعیت ساختمان‌ها در شهر تهران

جمعیت شهر تهران در سرشماری سال ۱۳۹۵ به حدود هشت میلیون و هفتصد هزار نفر رسیده است. متوسط بعد خانوارها ۳ است. نمودار (۱) توزیع زیربنایی ساختمان‌های مسکونی را نشان می‌دهد.



#### نمودار ۱. گروه‌های ساختمانی به تفکیک زیربنا (سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۶)

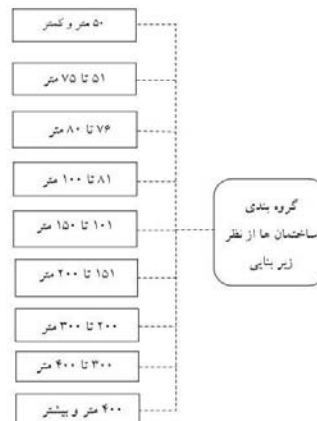
بیشترین نوع ساختمان‌ها، ساختمان‌های اسکلت فلزی ۵۵ درصد، ساختمان‌های بتون آرمه ۲۳ درصد و آجر و آهن یا سنگ و آهن ۱۸ درصد است. ۹۹/۵ درصد خانوارهای شهر تهران از گاز طبیعی، ۰/۳ درصد از گاز مایع و ۰/۱ درصد از برق به عنوان سوخت مصرفی استفاده می‌کنند. عمده‌ترین سوخت مصرفی برای تهیه آب گرم خانوارهای معمولی ساکن و گروهی شهر تهران، گاز

1. Brehomes (The Building Research Establishment's Housing Model for Energy Studies)
2. The UK Carbon Domestic Model
3. The Community Domestic Energy Model

طبیعی (شبکه عمومی) به میزان ۹۹/۵ درصد است. ۹۹/۶ درصد خانوارها برای پخت و پز از گاز طبیعی استفاده می‌کنند. گاز طبیعی به میزان ۹۹/۴ درصد عمده‌ترین سوخت مصرفی برای گرم کردن ساختمان‌های مسکونی شهر تهران است. سهم مصرف گاز مایع و برق به عنوان عمده‌ترین سوخت مصرفی برای ایجاد گرما به ترتیب برابر ۰/۲ و ۰/۱ درصد است (نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن، ۱۳۹۰).

### ۵. روش مدل‌سازی انرژی بخش ساختمان (تهران)

با توجه به اطلاعات موجود از سرشماری نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، ساختمان‌ها بر اساس زیربنا تقسیم بندی می‌شوند. دسته‌بندی ساختمان‌ها بر حسب زیربنا به صورت نمودار (۱) است. شکل (۱) ساختار گروه‌بندی مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۱. گروه‌بندی ساختمان‌ها



از هر یک از گروه‌های ساختمانی، یک ساختمان به عنوان نماینده گروه انتخاب می‌شود و سپس برای آن محاسبات مصرف انرژی و بهینه‌سازی مصرف انرژی محاسبه خواهد شد. مصرف انرژی برای نماینده هر گروه زیربنایی برآورد می‌شود. برای این منظور، اطلاعات متنوعی نیاز است که باید از مراجع مختلف تامین شود: اطلاعات اقلیمی، نوع سوخت‌های مصرفی هر ساختمان، بازدهی سیستم‌های مصرف‌کننده انرژی مثل سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و ضریب انتقال حرارتی اجزای مختلف ساختمان (مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۷۰). نماینده گروه‌ها به ترتیب ساختمان ۴۰، ۶۰، ۷۵، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰ و ۲۵۰ متری هستند و از گروه ۳۰۰ متر به بالا به دلیل فراوانی کم صرف نظر شده است. آمار استفاده از کولرهای آبی در ایران توسط سازمان بهره‌وری انرژی در سال ۱۳۹۶ حدود ۶۵ درصد ساختمان‌های مسکونی برآورد شده است. این نسبت در شهر تهران به صورت همگن در گروه‌ها در نظر گرفته شده است. (امیر دودابی نژاد، ۱۳۹۲)

## ۶. شبیه‌ساز انرژی ساختمان

مدل انرژی داخلی موسسه تحقیقات مسکن انگلستان BREDEM<sup>۱</sup> یک روش محاسباتی برای برآورد انرژی مصرفی یک ساختمان براساس ویژگی‌های ساختمانی آن است (Anderson, 1996). این شبیه‌ساز را مدل‌های بسیاری که مصرف انرژی ساختمان را بر اساس ویژگی‌های فیزیکی آن شبیه‌سازی می‌کنند، استفاده کرده‌اند. روش عملکردی این شبیه‌ساز بر مبنای استاندارد ایزو ۱۳۷۹۲<sup>۲</sup> است. این روش شبیه‌سازی ویژگی‌های رفتاری را نیز در محاسبات انرژی لحاظ می‌کند. صحت محاسبات این روش بارها امتحان و درستی نتایج تایید شده است (Dickson, 1996). این شبیه‌ساز در مدل‌های BREHOMES<sup>۳</sup>، مدل جانسون<sup>۴</sup>، مدل UKDCM، مدل DECarb<sup>۵</sup> و مدل CDEM<sup>۶</sup>

1. Building Research Establishment Domestic Energy Model
2. BS EN ISO 13790
3. The Building Research Establishment's Housing Model for Energy Studies
4. The Johnston Model
5. The DECarb Model
6. The Community Domestic Energy Model

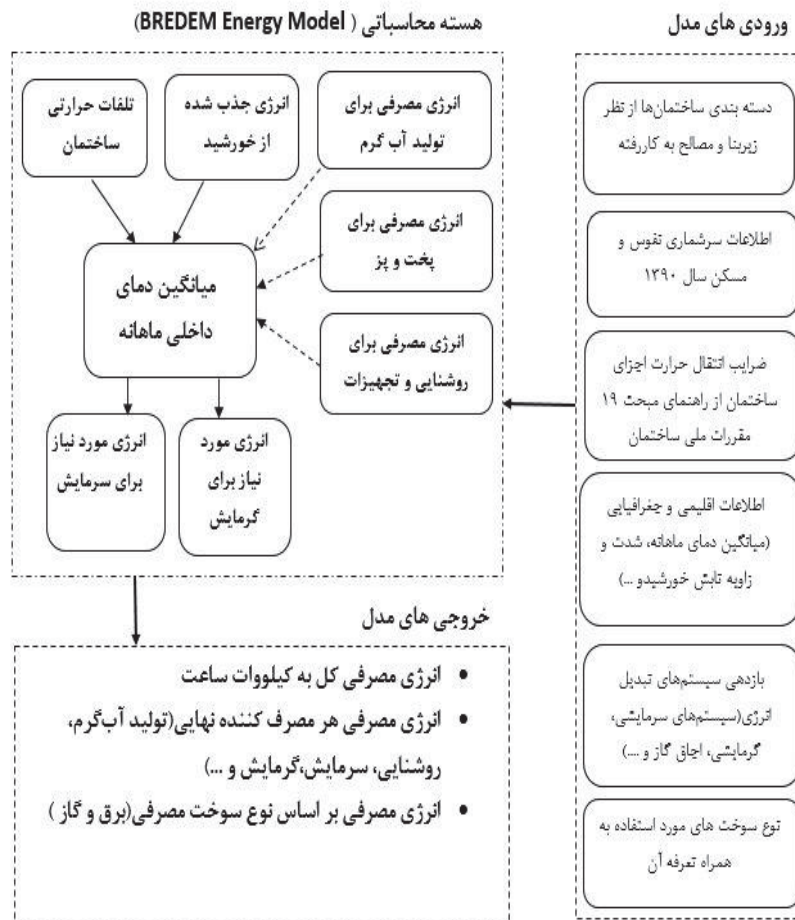
که هر پنج مورد آنها مربوط به برنامه‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان در انگلستان هستند، به عنوان هسته محاسباتی استفاده شده است. (Sousa, 2017)

این مدل برای محاسبه مصرف انرژی ساختمان به اطلاعات مختلف اجزای ساختمان (دیوارها، سقف، کف، پنجره‌ها، درها) همراه با ویژگی‌های حرارتی آنها (مقدار-یو<sup>۱</sup>)، همچنین اطلاعات سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی (نوع سوخت و بازدهی‌ها)، دمای داخلی ساختمان و الگوی مصرف و تعداد افراد ساکن ساختمان، به همراه اطلاعات اقلیمی نظیر دمای هوای خارج و گرمای جذب شده از خورشید نیاز دارد. اطلاعات ورودی شبیه‌ساز مصرف انرژی از منابع مختلف به دست می‌آیند. اطلاعات ساختمانی از سرشماری نفوس و مسکن و اطلاعات اقلیمی از سازمان هواشناسی گردآوری شده است. محاسبات انجام گرفته توسط شبیه‌ساز انرژی به بخش‌های زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

۱. محاسبه مصرف انرژی برای روشنایی، وسایل و پخت و پز
۲. محاسبه انرژی موردنیاز برای تولید آب گرم
۳. محاسبه اتلاف حرارت ساختمان
۴. محاسبه جرم حرارتی ساختمان
۵. محاسبه انرژی جذب شده از خورشید
۶. محاسبه گرمای جذب شده داخلی
۷. محاسبه میانگین دمای داخلی
۸. محاسبه مصرف انرژی گرمایشی
۹. محاسبه مصرف انرژی سرمایشی

تمام مقادیر محاسبه شده بر مبنای ماهانه است (Henderson, 2013). با داشتن اطلاعات مصرفی انرژی ساختمان و تعرفه‌های انرژی، هزینه انرژی محاسبه می‌شود و همچنین اثرات جایگزینی فناوری‌های مختلف قابل اندازه‌گیری است. شکل (۲) ساختار داخلی شبیه‌ساز را نشان می‌دهد. به

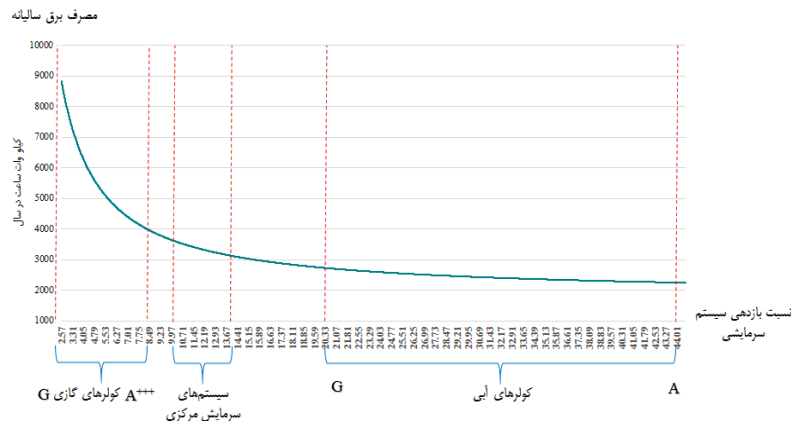
منظور صحت‌سنجی نتایج مدل، میانگین مصرف برق و گاز در شهر تهران به ترتیب با ۱۰ درصد و ۹ درصد خطا به دست آمده است.



شکل ۲. ساختار داخلی شبیه‌ساز مصرف انرژی ساختمان

## ۷. تجزیه و تحلیل اطلاعات

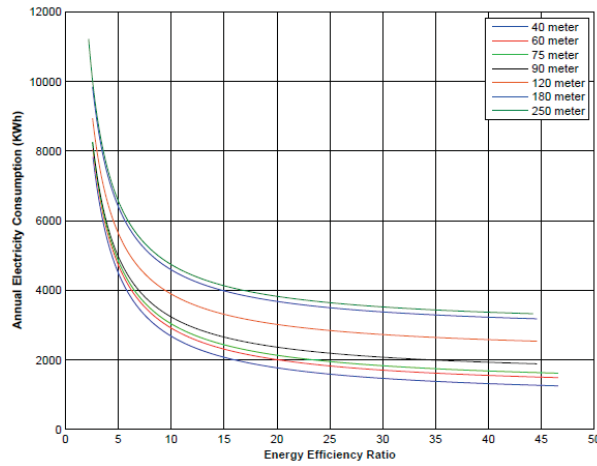
مطابق استاندارد ملی برچسب انرژی کولرهای آبی به شماره ۲-۴۹۱۰ و استاندارد ملی برچسب انرژی کولرهای گازی به شماره ۱۰۶۳۸، نسبت بازدهی انرژی<sup>۱</sup> برای کولرهای آبی در بازه ۲۰ تا ۵۰ و کولرهای گازی در بازه ۲ تا ۳/۲ است. شکل (۳) تاثیر نسبت بازدهی انرژی در مصرف انرژی سالانه نماینده گروه ساختمانی با مساحت بین ۱۰۰ تا ۱۵۰ مترمربع را نشان می‌دهد. تاثیر نسبت بازدهی انرژی بر مصرف انرژی سالانه کولرهای گازی بسیار قابل توجه است. در حال حاضر، تعداد کولرهای گازی نسبت به کولرهای آبی کمتر هستند، اما در سال‌های اخیر، استفاده از آنها بشدت رواج یافته است و به دلیل اینکه قسمت عمده این تجهیزات وارداتی است، لذا دولت باید نسبت به برچسب انرژی کولرهای گازی وارداتی حساسیت بیشتری نشان دهد. از طرفی، بهبود نسبت بازدهی انرژی در کولرهای آبی تاثیر کمتری روی مصرف انرژی سالانه ساختمان‌ها دارد، اما تعداد زیاد (حدود ۱۷ میلیون) آنها تاثیر قابل توجهی در شبکه برق دارد. (اسناد راهبردی و نقشه‌راه توسعه فناوری‌های صنعت برق و انرژی، ۱۳۹۴)



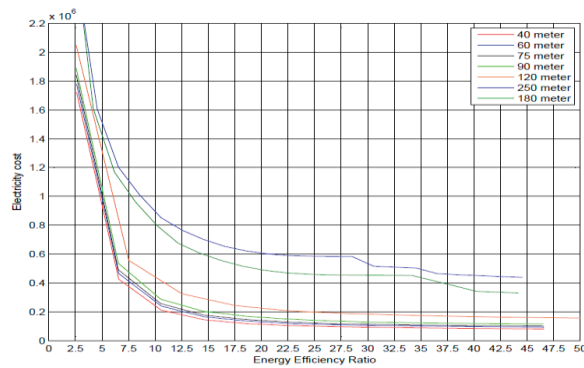
شکل ۳. تاثیر نسبت بازدهی انرژی در مصرف برق سالانه یک ساختمان نمونه

### 1. Energy Efficiency Ratio

نتایج صرفه‌جویی‌های مقداری و هزینه‌ای سالانه حاصل از تغییر برچسب انرژی کولرهای آبی تهران در گروه‌های ساختمانی مختلف از F و G به A به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) موجود است. میزان صرفه‌جویی در هر گروه ساختمانی در جدول (۱) آورده شده است.



شکل ۴. تاثیر نسبت بازدهی انرژی در مصرف سالانه انرژی ساختمان‌های نمونه



شکل ۵. تاثیر نسبت بازدهی انرژی در هزینه سالانه انرژی ساختمان‌های نمونه (تومان)

میزان صرفه‌جویی انرژی ۹۷۹,۸۸۴ گیگاوات‌ساعت است. با توجه به ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳، بخش نیروگاهی کشور به ازای هر کیلووات‌ساعت تولید برق، ۰,۶۹۴۹۰۶ کیلوگرم CO<sub>2</sub> تولید می‌کند، کاهش آلاینده CO<sub>2</sub> در این صورت برابر ۶۸۰۹۲۷ تن در سال خواهد بود. اگر نتایج به صورت همگن در سراسر ایران بسط داده شود، حدود ۸ تراوات‌ساعت صرفه‌جویی انرژی و حدود ۴ میلیون تن کاهش CO<sub>2</sub> اتفاق خواهد افتاد.

### جدول ۱. میزان صرفه‌جویی برق سالانه در گروه‌های

ساختمانی (گیگاوات ساعت)

میزان صرفه‌جویی برق	تعداد	گروه ساختمانی
۱۲۱,۷۵۳	۵۲۰۳۱۴	۵۰ متر و کمتر
۳۲۰,۷۹۰	۱۳۳۳۸۴۷	۵۱ تا ۷۵ متر
۷۹,۳۸۲	۳۰۳۰۴۵	۷۶ تا ۸۰ متر
۱۸۷,۷۳۷	۶۲۳۸۲۰	۸۱ تا ۱۰۰ متر
۱۹۸,۱۱۹	۶۲۲۰۳۹	۱۰۱ تا ۱۵۰ متر
۵۲,۸۹۵	۱۵۹۸۷۹	۱۵۱ تا ۲۰۰ متر
۱۹,۲۰۸	۵۴۷۲۶	۲۰۱ تا ۳۰۰ متر
۹۷۹,۸۸۴	۳۶۱۷۶۷۰	مجموع

**۸. نتیجه‌گیری**

در این مطالعه، پتانسیل صرفه‌جویی مصرف انرژی در کولرهای آبی با استفاده از روش مدل‌سازی پایین به بالا برآورد شده است. پتانسیل صرفه‌جویی انرژی حاصل از ارتقای رده انرژی کولرهای آبی به A در تهران ۹۷۹,۸۸۴ گیگاوات‌ساعت و کاهش انتشار ۶۸۰۹۲۷ تن CO<sub>2</sub> در سال می‌باشد. در صورت تعمیم نتایج به کل کشور، پتانسیل حدود ۸ تراوات‌ساعت صرفه‌جویی برق و ۴ میلیون تن کاهش انتشار CO<sub>2</sub> در ایران بر اثر ارتقای رده انرژی کولرهای آبی وجود دارد.

پیشنهادهای سیاستی منتج از این مطالعه که برنامه‌ریزان و سیاستگذاران صنعت بهره‌وری انرژی و برق کشور می‌توانند از آن استفاده کنند به این شرح است: حساسیت برچسب انرژی در کولرهای گازی بسیار بیشتر از کولرهای آبی است. به دلیل اینکه کولرهای گازی عمدتاً از طریق واردات وارد کشور می‌شوند، در قوانین وارداتی این گونه محصولات باید دقت زیادی در مورد برچسب انرژی صورت گیرد. در غیر این صورت، مساله پیک بار تابستان در سال‌های آینده منجر به خاموشی مناطق بیشتری خواهد شد، همچنین امنیت شبکه تهدید خواهد شد. با وجود اینکه برچسب انرژی در کولرهای آبی تأثیر کمتری در مصرف سالانه انرژی ساختمان‌ها دارد، اما به دلیل استفاده تعداد زیاد کولرهای آبی در ساختمان‌های اداری، مسکونی و حتی واحدهای صنعتی، بهره‌وری انرژی در آنها تأثیر بسیار زیادی در مصرف انرژی می‌گذارد. استفاده از مدل‌های پایین به بالا، امکان تغییر فناوری برای برآورد کاهش مصرف انرژی فراهم می‌سازد. مدل‌سازی جامع انرژی بخش ساختمان و مشاهده مصرف انرژی در صورت تغییر انواع فناوری‌های مصرف‌کننده انرژی در راستای سیاست‌گذاری بهره‌وری انرژی در این بخش ضروری به نظر می‌رسد.

## منابع

- اسناد راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های صنعت برق و انرژی (۱۳۹۴)، "سند راهبردی و نقشه راه توسعه فناوری‌های طراحی، ساخت و تدوین دانش فنی انواع موتورهای مورد نیاز در صنعت برق ایران: طرح جایگزینی الکتروموتورهای کولرهای آبی"، پژوهشگاه نیرو، گروه پژوهشی موتورهای الکتریکی.
- امیرمعینی، مهران (۱۳۹۵)، "تجزیه شاخص شدت انرژی در بخش صنعت: رویکرد شاخص دیویزیا"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال دوم، شماره ۵.
- ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۳، معاونت امور برق و انرژی، دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی.
- دودابی نژاد، امیر و مونا وثوقی فرد (۱۳۹۲)، "بررسی فنی و اقتصادی روشها و منافع افزایش کارایی مصرف انرژی در کولرهای آبی"، سازمان بهره‌وری انرژی ایران.
- مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (۱۳۷۰)، مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
- نتایج سرشماری عمومی نفوس و مسکن (۱۳۹۰)، مرکز آمار ایران.
- ورهامی، ویدا (۱۳۹۵)، "تابع تقاضای برق خانگی شهرستان‌های منتخب استان تهران در زمان پیک و غیرپیک"، فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال دوم، شماره ۵.
- Anderson, B. R; Chapman, P. F; Cutland, N. G; Dickson, C. M; Henderson, G; Henderson, J. H. and L. D. Shorrock (1996), "BREDEM-12 Model Description", Building Research Establishment.
- Aydinalp, M; Ugursal, VI and A. Fung (2003), "Modelling of Residential Energy Consumption at the National Level", *International Journal of Energy Research*, 27(4), pp. 441-453.
- Boardman, B; Darby, S; Killip, G; Hinnells, M; Jardine, C. N; Palmer, J. and M. Newborough (2005), *40% House*.
- Böhringer, C. and T. F. Rutherford (2008), "Combining Bottom-up and Top-down", *Energy Economics*, 30(2), pp. 574-596.
- Dickson, C. M; Dunster, J. E; Lafferty, S. Z. and L. D. Shorrock (1996), "BREDEM: Testing Monthly and Seasonal Versions Against Measurements and Against Detailed Simulation Models", *Building Services Engineering Research and Technology*, 17(3), pp. 135-140.
- Firth, S. K; Lomas, K. J. and A. J. Wright (2010), "Targeting Household Energy Efficiency Measures Using Sensitivity Analysis", *Building Research & Information*, 38(1), pp. 25-41.



- Froemelt, A. and S. Hellweg** (2017), "Assessing Space Heating Demand on a Regional Level: Evaluation of a Bottom-Up Model in the Scope of a Case Study", *Journal of Industrial Ecology*, 21(2), pp. 332-343.
- Henderson, J. and J. Hart** (2013), BREDEM 2012—A Technical Description of the BRE Domestic Energy Model.
- IEA -International Energy Agency** (2015), "CO2 Emissions from Fuel Combustion 1971-1996", IEA/OECD, Paris, France.
- Johnston, D. A.** (2003), "Physically Based Energy and Carbon Dioxide Emission Model of the UK Housing Stock, Ph.D. thesis, Leeds Metropolitan University, UK.
- Kavgic, M; Mavrogianni, A; Mumovic, D; Summerfield, A; Stevanovic, Z. and M. Djurovic-Petrovic** (2010), "A Review of Bottom-up Building Stock Models for Energy Consumption in the Residential Sector", *Building and Environment*, 45(7), 1683-1697.
- Knoeri, C; Goetz, A. and C. R. Binder** (2014), "Generic Bottom-up Building-energy Models for Developing Regional Energy Transition Scenarios", Social Simulation Conference.
- Lee, T. and R. Yao** (2013), "Incorporating Technology Buying Behaviour into UK-Based Long Term Domestic Stock Energy Models to Provide Improved Policy Analysis", *Energy Policy*, 52, pp. 363-372.
- Lee, T; Yao, R. and P. Coker** (2014), "An Analysis of UK Policies for Domestic Energy Reduction Using an Agent Based Tool", *Energy Policy*, 66, pp. 267-279.
- McKenna, R; Merkel, E; Fehrenbach, D; Mehne, S. and W. Fichtner** (2013), "Energy Efficiency in the German Residential Sector: A Bottom-up Building-stock-model-based Analysis in the Context of Energy-political Targets", *Building and Environment*, 62, pp. 77-88
- Österbring, M; Mata, É; Thuvander, L; Mangold, M; Johnsson, F. and H. Wallbaum** (2016), "A Differentiated Description of Building-stocks for a Georeferenced Urban Bottom-up Building-stock Model", *Energy and Buildings*, 120, pp. 78-84.
- Reinhart, C. F. and C. C. Davila** (2016), "Urban Building Energy Modeling: A Review of a Nascent Field", *Building and Environment*, 97, pp. 196-202.
- Sabatier, P. A.** (1986), "Top-down and Bottom-up Approaches to Implementation Research: A Critical Analysis and Suggested Synthesis", *Journal of public policy*, 6(1), pp. 21-48.

---

**Shorrocks, L. D. and J. E. Dunster** (1997), "The Physically-based Model BREHOMES and its Use in Deriving Scenarios for the Energy Use and Carbon Dioxide Emissions of the UK Housing Stock", *Energy Policy*, 25(12), pp. 1027-1037.

**Shorrocks, L. D; Henderson J and J. I. Utley** (2005), "Reducing Carbon Emissions from the UK Housing Stock", Watford, UK: Building Research Establishment, BRE Bookshop.

**Sousa, G; Jones, B. M; Mirzaei, P. A. and D. Robinson** (2017), "A Review and Critique of UK Housing Stock Energy Models, Modelling Approaches, and Data Sources", *Energy and Buildings*, 151, pp. 66-80.

**Swan LG and VI. Ugursal** (2009), "Modeling of End-use Energy Consumption in the Residential Sector: A Review of Modeling Techniques", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(8), 1819–1835, DOI: 10.1016/j.rser.2008.09.033.

**Swan, L; Ugursal, VI and I. Beausoleil-Morrison** (2009), "Implementation of a Canadian Residential Energy End-use Model for Assessing New Technology Impact", Eleventh International IBPSA Conference, Glasgow, 27–30 July.

**Theodoridou, I; Papadopoulos, A. M. and M. Hegger** (2011), "A Typological Classification of the Greek Residential Building Stock", *Energy and Buildings*, 43(10), pp. 2779-2787.

**Wang, Z; Zhao, Z; Lin, B; Zhu, Y. and Q. Ouyang** (2015), "Residential Heating Energy Consumption Modeling Through a Bottom-up Approach for China's Hot Summer–Cold Winter Climatic Region", *Energy and Buildings*, 109, pp. 65-74.

**Zhang, Y; He, C. Q; Tang, B. J. and Y. M. Wei** (2015), "China's Energy Consumption in the Building Sector: A Life Cycle Approach", *Energy and Buildings*, 94, pp. 240-251.