

## Research Paper

# Increasing the Efficiency of Technology and its Impact on Solving the Blackout Crisis



Saeed Vedadi Kalantar<sup>1</sup> , \*Amirali Sefoddin<sup>1</sup> , Ahmad Hajinezhad<sup>2</sup>

1. Department of Energy and Environment Policy, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.

2. Department of Energy Economics, Faculty of Modern Sciences and Techniques, Tehran University, Tehran, Iran.

Use your device to scan  
and read the article online



**Citation:** Vedadi Kalantar, S., Sefoddin, A., & Hajinezhad, A. (2021). [Increasing the Efficiency of Technology and its Impact on Solving the Blackout Crisis (Persian)]. *Journal Strategic Studies of Public Policy*, 11(39), 276-299.



### ABSTRACT

The demand increasing for electricity during the peak of the electricity grid and the mismatch between production and demand at this time led to several blackouts in the summer of 1397. The difference between electricity supply and demand during the peak of the electricity grid was 8,000 MW that caused power outages in industries and residential houses, which caused about 16,000 tomans per kilowatt-hour of damage to the country's economy. Reduction of investment in the power plant sector due to unprincipled privatization of power plants, low selling price of electricity compared to the cost price, failure to implement the next phases of the plan to target subsidies and non-payment of the difference between the obligatory and cost price leading to government Reduced electricity production. Cooling loads increase network loads in summer compared to other seasons (about 30% of network peaks). More than 50 percent of the network's peak and major cooling load is in the residential sector. Considering that 65% of the country's buildings use water coolers, one of the ways to control the growth of the peak load of the national electricity grid is to increase the energy efficiency of water coolers. In this study, with the help of bottom-up engineering modeling and behavioral functions, the effect of increasing the efficiency of water coolers on the peak of Tehran's electricity network has been investigated. As the efficiency of water coolers increases from G to A, B and C, the peak of Tehran's electricity grid peak decreases by 21.08, 19.83 and 17.72%, respectively.

This strategic act is effective in the efficiency of cooling equipment, as much as 2.5 years of the budget for the development of the country's power plant capacity. This study, while investigating the estimation of the effective cooling load in the peak of Tehran's electricity network, has estimated the effect of increasing the efficiency of the most widely used cooling equipment (water cooler) in the peak of Tehran's electricity network. The achievement can be used as a tool for better peak policy and, consequently, to prevent a blackout crisis.

Received: 21 May 2020

Accepted: 22 Jan 2021

Available Online: 01 Aug 2021

### Keywords:

Blackout crisis, Cooling load peak, Bottom-up approach, Increasing the efficiency of water cooler, Occupant behavior

### \* Corresponding Author:

Amirali Sefoddin

Address: Department of Energy and Environment Policy, Faculty of New Sciences and Technologies, University of Tehran, Tehran, Iran.

E-mail: saifoddin@ut.ac.ir

## مقاله پژوهشی

# افزایش راندمان فناوری و تأثیر آن در حل بحران خاموشی

سعید ودادی کلانتر<sup>۱</sup>، امیرعلی سیف‌الدین<sup>۱</sup>، احمد حاجی‌نژاد<sup>۲</sup>

۱. گروه سیاست‌گذاری انرژی و محیط زیست، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.  
۲. گروه اقتصاد انرژی، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

## چکیده

تاریخ دریافت: ۰۱ خرداد ۱۳۹۹  
تاریخ پذیرش: ۱۳ بهمن ۱۳۹۹  
تاریخ انتشار: ۱۰ مرداد ۱۴۰۰

افزایش تقاضای مصرف برق در زمان پیک شبکه برق و عدم تناسب تولید و تقاضا در این لحظه منجر به خاموشی‌های متعدد در تابستان ۱۳۹۷ شد. اختلاف هشت هزار مگاواتی بین عرضه و تقاضای برق در زمان پیک شبکه برق، موجب قطع برق صنایع و منازل مسکونی شد که به ازای هر کیلووات ساعت قطعی برق حدود شانزده هزار تومان ضرر به اقتصاد کشور وارد می‌شود. کاهش سرمایه‌گذاری در بخش نیروگاهی به واسطه خصوصی‌سازی غیراصولی نیروگاه‌ها، پایین بودن قیمت فروش برق نسبت به قیمت تمام‌شده، عدم اجرای فازهای بعدی طرح هدفمند کردن یارانه‌ها و عدم پرداخت مابه‌التفاوت قیمت تکلیفی و تمام‌شده توسط دولت منجر به کاهش تولید برق شده است. آن چیزی که باعث افزایش بار شبکه در تابستان نسبت به سایر فصول شده، بار سرمایه‌ی (حدود ۳۰ درصد پیک شبکه) است. بیش از ۵۰ درصد پیک شبکه و عمده بار سرمایه‌ی در بخش مسکونی است. 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 مصرف انرژی کولر آبی است. در این پژوهش به کمک مدل‌سازی مهندسی پایین به بالا و لحاظ کارکردهای رفتاری، تأثیر افزایش راندمان کولرهای آبی بر پیک شبکه برق تهران بررسی شده است. با افزایش راندمان کولرهای آبی از درجه G به A، B و C به ترتیب ۲۱/۰۸، ۱۹/۸۳ و ۱۷/۲۲ درصد پیک شبکه برق شهر تهران کاهش می‌یابد. این اقدام راهبردی در زمینه کارایی تجهیزات سرمایه‌ی، به اندازه ۲/۵ سال بودجه توسعه ظرفیت نیروگاهی کشور مؤثر است. این پژوهش ضمن تدقیق برآورد بار سرمایه‌ی تأثیرگذار در پیک شبکه برق شهر تهران، تأثیر افزایش راندمان پرکاربردترین تجهیز سرمایه‌ی (کولر آبی) در پیک شبکه برق تهران را برآورد کرده است. این دستاورد می‌تواند به عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاری بهتر در زمینه پیک‌سانی و به تبع آن جلوگیری از بحران خاموشی مورد استفاده قرار گیرد.

## کلیدواژه‌ها:

بحران خاموشی، پیک بار سرمایه‌ی، رویکرد پایین به بالا، افزایش کارایی کولر آبی، رفتار ساکنین

## \* نویسنده مسئول:

امیرعلی سیف‌الدین

نشانی: تهران، دانشگاه تهران، دانشکده علوم و فنون نوین، گروه سیاست‌گذاری انرژی و محیط زیست.

پست الکترونیکی: saifoddin@ut.ac.ir

## مقدمه

## ۱. ادبیات موضوع

### ۱.۱. آیا در سال‌های آینده کمبود توان تولیدی نیروگاه‌ها جبران می‌شود؟

همان‌طور که در تصویر شماره ۲ مشخص است مصرف برق در کشور روند صعودی داشته و در سال‌های آتی پیک مصرف برق از مرز شصت هزار مگاوات عبور می‌کند (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷).

با توجه به داده‌های وزارت نیرو، برنامه زمان‌بندی شده برای سال ۱۳۹۶ محقق نشده و توان نامی نیروگاه‌های کشور در پایان سال ۱۳۹۶ که طبق برنامه‌ریزی‌ها از ۷۶ هزار باید به ۸۰ هزار و ۸۸۶ مگاوات می‌رسیده، به عدد ۷۸ هزار و ۴۸۴ مگاوات رسیده است.

بنابراین وزارتخانه نیرو در نظر داشته که حدود چهار هزار مگاوات در پایان سال ۱۳۹۶ به ظرفیت کل کشور اضافه کند، اما فقط ۲۰۴۰ مگاوات آن عملی شده است؛ بنابراین با توجه به عملکرد وزارت نیرو، ظرفیت نامی ۸۵ هزار مگاوات (جدول شماره ۱) تا پایان سال ۱۳۹۸ قابل پیاده‌سازی نیست و به نظر می‌رسد این عدد از ۸۰ هزار مگاوات تجاوز نکند.

بیشترین مصرف لحظه‌ای برق در سال ۹۷ در روز بیستم تیرماه به میزان ۵۷ هزار و ۹۷ مگاوات به ثبت رسید. اگرچه در این لحظه فقط ۴۹ هزار مگاوات تولید برق در کشور داشتیم. طبق اعلام وزیر نیرو، مقرر شده تا پیش از شروع پیک تابستان ۹۸، حدود ۴۲۰۰ مگاوات ظرفیت جدید عملی تولید برق حرارتی به ظرفیت عملی تولید برق کشور افزوده شود.<sup>۱</sup>

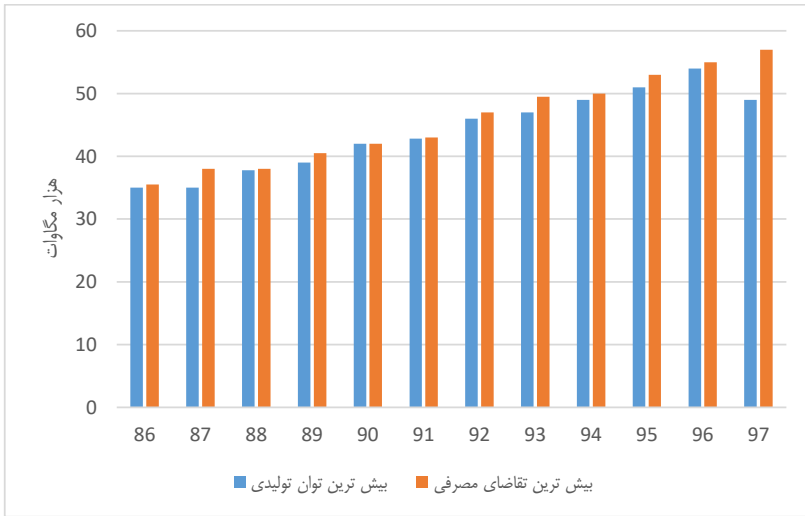
بررسی میزان مصرف برق کشور طی چند دهه اخیر نشان می‌دهد که نه تنها میزان مصرف برق، بلکه حتی سرانه آن نیز روند صعودی داشته و مسئولین وزارت نیرو همواره خود را ملزم به تأمین برق مشترکان دانسته‌اند، اما در سال‌های بسیاری میزان حداکثر تقاضای مشترکان از حداکثر توان تولیدی شبکه کل کشور پیشی گرفته و کشور با خاموشی‌های متعدد در تابستان مواجه شده است.

نمونه بارز این امر در تابستان سال ۱۳۹۷ اتفاق افتاد. کاهش سرمایه‌گذاری در بخش نیروگاهی به واسطه خصوصی‌سازی غیراصولی نیروگاه‌ها، پایین بودن قیمت فروش برق نسبت به قیمت تمام‌شده، عدم اجرای فازهای بعدی طرح هدفمند کردن یارانه‌ها و عدم پرداخت مابه‌التفاوت قیمت تکلیفی و تمام‌شده توسط دولت منجر به کاهش تولید برق شده است (جعفری، ۱۳۹۱).

اما برای اینکه چالش تولید برق در قبال بحران خاموشی بهتر بررسی شود، باید تولید و تقاضای برق در پیک شبکه برق با هم مقایسه شوند. همان‌طور که در تصویر شماره ۱ مشخص است بین تقاضا و تولید در ساعت پیک شبکه اختلاف سه تا چهار هزار مگاواتی در ده سال اخیر وجود دارد (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷).

مدل‌های تأمین مالی برای افزایش ظرفیت زیرساختی عرضه برق کشور باید توسعه یابد تا ضمن تأمین برق، امنیت انرژی کشور تضمین شود (ودادی کلانتر و همکاران، ۱۳۹۵).

1. <https://www.mashreghnews.ir/news/895217/>

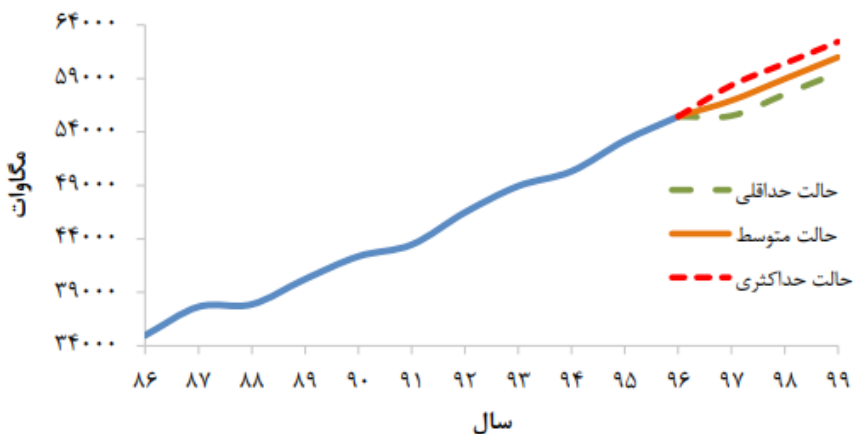


تصویر ۱. حداکثر توان تولیدی و تقاضای مصرفی در روز اوج بار\* (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷)

\* در سال ۹۷ به دلیل کاهش بارندگی و کاهش شدید ظرفیت نیروگاه‌های آبی، ظرفیت تولید برق در ساعت پیک از سال‌های گذشته کمتر است.

حرارتی تأمین خواهد شد و چهار هزار مگاوات از نیاز مصرف کاسته خواهد شد؛ بنابراین برای حل بحران خاموشی باید راه‌حل را در کنار افزایش ظرفیت

به عبارتی از مجموع کسری هشت هزار مگاواتی نیاز تأمین برق برای تابستان سال آینده، چهار هزار مگاوات از محل افزایش ظرفیت عملی تولید در بخش



تصویر ۲. روند مصرف برق کشور

جدول ۱. برنامه وزارت نیرو برای افزایش ظرفیت نیروگاهها در سال ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (بر اساس مگاوات)

شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق

سهم هر بخش	۱۳۹۷			۱۳۹۸		
	بهار	تابستان	پاییز	بهار	تابستان	پاییز
دولتی	۰	۰	۴۲	۱۶۰	۴۶۷	۰
خصوصی	۲۸۳	۱۶۰	۳۰۷	۶۴۲	۱۴۳۹	۱۶۰
بیع متقابل خصوصی	۱۶۰	۱۶۰	۱۶۰	۴۸۰	۱۲۰	۴۸۰
مجموع تجمعی	۷۹۰۲۷	۷۹۳۴۷	۷۹۸۵۶	۸۱۱۳۸	۸۳۱۶۴	۸۵۴۸۴

نیروگاهها در سمت تقاضا جست و جو کرد.

## ۲.۱. مدیریت سمت تقاضا بحران خاموشی

با توجه به اینکه ۶۵ درصد ساختمان های کشور از کولر آبی استفاده می کنند، یکی از راه های کنترل رشد پیک بار شبکه سراسری برق، افزایش بهره وری تجهیزات کولر آبی است (احمدی، ۱۳۹۶).

همان طور که در تصویر شماره ۳ مشخص است پیک بار شبکه برق کشور در فصل تابستان از سایر فصول بیشتر است. از تصویر شماره ۳ می توان این گونه برداشت کرد که آن چیزی که باعث افزایش بار شبکه در تابستان نسبت به سایر فصول شده، بار سرمایشی است.

در این پژوهش به کمک مدل سازی مهندسی و رفتاری بار پیک سرمایشی در شهر تهران، تأثیر افزایش راندمان کولرهای آبی بر پیک شبکه برق تهران بررسی می شود.

به دلیل اینکه سایر موارد مربوط به مصرف برق از قبیل روشنایی و تجهیزات کاربردی منازل و غیره تقریباً در تمامی فصول مصرفی مشابه دارد (با توجه به تصویر شماره ۳ نمودار مصرف برق در سه فصل پاییز، زمستان و بهار تقریباً شبیه هم است)، اما بار سرمایشی در فصل تابستان باعث افزایش چشمگیر پیک مصرف برق در این فصل نسبت به سایر فصول شده است.

## ۲. روش پژوهش

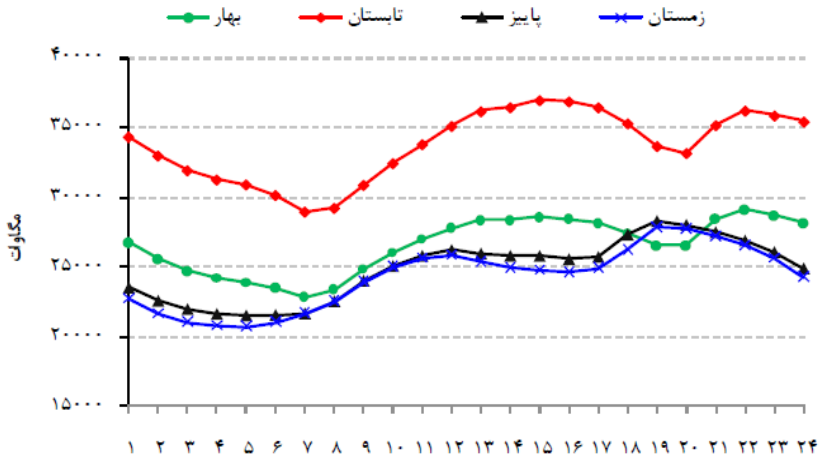
در این بخش ضمن معرفی روش های مرسوم مدل سازی فنی و رفتاری بخش ساختمان، ویژگی های مدل پژوهش حاضر معرفی می شود.

در پژوهش حلیمی و توکلی، میزان تقریبی سهم سرمایش از پیک بار تابستان، ۳۰ درصد برآورد شده است (حلیمی و توکلی، ۱۳۹۴).

### ۲.۱. رویکردهای مدل سازی فنی

مدل سازی انرژی در بخش ساختمان، با دو رویکرد از بالا به پایین<sup>۲</sup> و رویکرد از پایین به بالا<sup>۳</sup> صورت می پذیرد. مدل های از بالا به پایین، بخش ساختمان را به صورت یک کل واحد در نظر می گیرند و مصرف

2. Top-down  
3. Bottom-up



تصویر ۳. الگوی نوسانات تقاضای برق نواحی برق روزانه (ترازنامه انرژی سال ۹۴- وزارت نیرو)

فرایند مصرف احتیاج داشتند. این مدل‌ها بخش ساختمان را به عنوان یک بخش کلی در نظر می‌گیرند و تأثیر فاکتورهای مهم روی مصرف انرژی را به دست آورده تا روند پیش‌رو را پیش‌بینی کنند.

در مدل‌های بالا به پایین رابطه بخش انرژی با سایر بخش‌های کلان انرژی بررسی می‌شود. 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. مدل‌های از بالا به پایین به دو گروه اصلی مبتنی بر فناوری و مبتنی بر اقتصادسنجی دسته‌بندی می‌شوند (Zhang et al, 2015).

به دلیل اینکه تغییرات فنی در تجهیزات مصرف‌کننده انرژی در بخش ساختمان دائماً در حال اتفاق است، این مدل‌های اقتصادی برای کوتاه‌مدت دارای اعتبار هستند.

رویکردهای از بالا به پایین بخش ساختمان

انرژی آن را به صورت کلی برآورد می‌کنند (Hu et al, 2019). در رویکرد پایین به بالا، بعد از شبیه‌سازی با جزئیات فنی، مدل به کل ساختمان‌ها تسری پیدا می‌کند (Nageli et al, 2020).

رویکرد از پایین به بالا با در نظر گرفتن ابعاد مدل و داده‌های ورودی، ساختمان شبیه‌سازی شده را به یک منطقه، شهر یا کل کشور تسری می‌دهد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

### ۲.۱.۱. مروری بر رویکردهای از بالا به پایین

استفاده و توسعه از این گونه مدل‌ها هم‌زمان با بحران انرژی در دهه ۱۹۷۰ فراگیر شد. در واقع، هدف از توسعه این مدل‌ها شناخت رفتار مصرف‌کننده متناسب با تغییرات میزان عرضه انرژی و قیمت آن بود که به تبع آن مدل‌های اقتصادسنجی در سطح ملی تدوین شدند.

این مدل‌ها به اطلاعات کمی از جزئیات واقعی

تابعی رگرسیونی از متغیرهای جمعیتی، اقتصاد کلان و اقلیمی درآوردند. آزمایش آن‌ها ارزیابی ککش بلندمدت را فراهم آورد (Labandeira et al, 2006).

## ۲.۱.۲. 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 یا گروهی از ساختمان‌ها باشد که سپس به کل منطقه یا کل کشور بر اساس وزن نمونه تعمیم داده می‌شود (McKenna et al, 2013). رویکرد پایین به بالا با دو کلان‌روش آماری<sup>۵</sup> (Theodoridou et al, 2011) و مهندسی<sup>۶</sup> (Knoeri et al, 2014) صورت می‌پذیرد.

روش‌های آماری<sup>۷</sup>: داده‌های موجود در قبض برق و گاز که در طی زمان برای یک مصرف‌کننده صادر شده است، مرجع بسیار خوبی برای محققین است تا با استفاده از آن‌ها و روش‌های مدل‌سازی آماری میزان مصرف انرژی را به ویژگی‌های ساختاری ساختمان ارتباط دهند.

مهم‌ترین قابلیت روش‌های آماری توانایی آنها در تشخیص دادن اثرهای رفتاری مصرف‌کنندگان است. سه روش که از نمونه برداری استفاده می‌کنند، عبارتند از:

رگرسیون<sup>۸</sup>: روش‌های رگرسیونی از تحلیل

را به صورت یک واحد در نظر می‌گیرند و بین ساختمان‌های مختلف تمایزی قائل نمی‌شوند (Ös-terbring et al, 2016).

سها و استفنسون مدلی ساده با تمرکز بر تغییرات فناوری برای نیوزبلند توسعه داده‌اند. اجزای اقتصادی و ساختمانی مدل آن‌ها تحلیل جداگانه‌ای از انرژی گرمایشی، آب گرم و پخت‌وپز داشت. رابطه تعادل انرژی آن‌ها مطابق معادله شماره ۱ مقدار انرژی مصرفی سالانه را برای هر سوخت مورد استفاده که برای پاسخ به یک نوع نیاز خاص مصرف انرژی بود بر حسب تابعی از سهم، مالکیت، رتبه‌بندی انرژی تجهیزات و میزان استفاده از آن‌ها مشخص می‌کرد.

با استفاده از اطلاعات تاریخی، قدرت پیش‌بینی آن‌ها در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ بسیار خوب بود، اگرچه نیمه دوم دهه هفتاد دارای قدرت کافی نبود.

$$(1) E_{ane,f} = S C_{e,f} R_{e,f} U_{e,f}$$

E مصرف سالیانه انرژی گروه e مربوط به سوخت نوع S، f سطح استفاده از ساختمان، C سطح مالکیت وسایل، R رتبه تمام تجهیزاتی است که برای تأمین یک نیاز استفاده می‌شوند و U ضریب استفاده از وسایل است (Saha, & Stephenson, 1980).

لاباندیرا و همکاران یک مدل رگرسیونی با توسعه شش معادله مدل تقاضای مصرف انرژی بخش مسکونی اسپانیا ایجاد کردند. هر معادله به صورت جداگانه برای مصرف: برق، گاز طبیعی، پروپان، سوخت خودرو، حمل‌ونقل عمومی و غذا به کار می‌رفت. آن‌ها دریافتند که این محصولات از نظر قیمتی ککش ناپذیرند<sup>۹</sup>.

آن‌ها مصرف انرژی ۲۷ هزار خانه را به صورت

5. Statistical Method  
6. Engineering Methods  
7. Statistical Techniques  
8. Regression

4. Price Inelastic

مصرف انرژی هر مصرف‌کننده نهایی به کار می‌برد. در این روش اثرگذاری مصارف مختلف روی هم در نظر گرفته نمی‌شود. متغیرهایی چون در اختیار داشتن وسایل، میزان استفاده، رتبه‌بندی وسایل و بازدهی مصرف انرژی آن‌ها در مجموع مصرف انرژی را برآورد می‌کنند (Ghedamsi et al, 2016).

الگوبرداری<sup>۱۲</sup>: این روش بخش ساختمان را به گروه‌هایی بر اساس مشابهت‌های زیربنایی، اندازه‌ای، مصالح به کار رفته و دیگر موارد تقسیم‌بندی می‌کند. انرژی برآوردشده برای نماینده هر گروه، که تعداد قابل توجهی را دارا است، به عنوان نماینده مصرف انرژی منطقه یا کل بخش ساختمان تعمیم داده می‌شود (Streicher et al, 2019).

نمونه‌برداری<sup>۱۳</sup>: این روش از داده‌های واقعی نمونه‌برداری شده از ساختمان‌ها به عنوان ورودی استفاده می‌کند. روش نمونه‌برداری این امکان را می‌دهد که تنوع زیادی از ساختمان‌ها بررسی شود و همچنین مناطق با مصرف بالای انرژی شناسایی شوند، چون بخش ساختمان تنوع وسیعی را شامل می‌شود، این روش به پایگاه داده بزرگ نیاز دارد (Swan et al, 2008).

در جدول شماره ۲ مقایسه رویکردهای مدل‌سازی انرژی ساختمان و نقاط قوت و ضعف آن آورده شده است.

## ۲.۲. رویکردهای مدل‌سازی رفتاری

مصرف انرژی بخش ساختمان به شدت تحت تأثیر الگوهای رفتاری مصرف‌کنندگان و ساکنین ساختمان است. اختلاف و فاصله برآوردهای مصرف

رگرسیون پارامترهای ورودی برای تعیین ضریب‌های یک معادله استفاده می‌کند. این مدل‌ها، مصرف انرژی ساختمان را بر حسب ترکیبی از پارامترهای مؤثر برآورد می‌کنند (Da Silva et al, 2019).

تحلیل تقاضای شرطی<sup>۹</sup>: روش تحلیل تقاضای شرطی بر اساس رگرسیون و وجود دستگاه‌های مصرف‌کننده عمل می‌کند. مزیت اولیه این روش سهولت دستیابی به اطلاعات ورودی است؛ مثل سرشماری از لیست تجهیزات مورد استفاده در ساختمان‌ها و اطلاعات قبض برق و گاز که شرکت‌های توزیع در اختیار دارند. این روش به یک مجموعه داده شامل تنوع تجهیزات نیاز دارد (Lins et al, 2002).

شبکه عصبی<sup>۱۰</sup>: این روش بر پایه یک مدل ریاضی با ساختاری موازی، مترامک و پیوسته از شبکه‌های عصبی بیولوژیکی است. این روش اجازه می‌دهد که تمام مصرف‌کنندگان نهایی از طریق یک مجموعه از نورون‌ها بر یکدیگر اثر بگذارند. هر نورون یک بایاس و یک آرایه از ضرایب دارد که در مقدار لایه‌های قبلی ضرب می‌شود (Fan et al, 2019).

روش‌های مهندسی: روش‌های مهندسی بر پایه اطلاعات و ویژگی‌های ساختاری مصرف‌کنندگان نهایی و رتبه مصرف انرژی آن‌ها است. روش مهندسی، تنها روشی است که بدون استفاده از داده‌های تاریخی می‌تواند ساخته شود و مصرف انرژی را برآورد کند. سه روش مدل‌سازی مهندسی به شرح ذیل است:

توزیعی<sup>۱۱</sup>: این روش توزیع در اختیار داشتن تجهیزات و بازه استفاده از آن‌ها را برای برآورد

9. Conditional Demand Analysis (CDA)

10. Neural Network

11. Distributions

12. Archetypes

13. Sample



جدول ۲. مقایسه رویکردهای مدل سازی انرژی ساختمان (توسعه توسط نگارنده)

از بالا به پایین	از پایین به بالا
نقاط قوت پیش بینی کوتاه مدت در نظر گرفتن اثرات اقتصادی و اجتماعی کلان در نظر گرفتن روندها	در نظر گرفتن اثرات رفتاری مشخص کردن سهم هر مصرف کننده نهایی در نظر گرفتن اثرات اقتصادی و اجتماعی استفاده از اطلاعات قبض و سرشماری ها مدل کردن فناوری های جدید در نظر گرفتن مجزای هر مصرف کننده نهایی بر اساس، نوع، رتبه مصرف انرژی و غیره تعیین کیفیت هر مصرف کننده نهایی بر اساس شبیه سازی
نقاط ضعف شفاف نبودن نماینده های هر گروه مصرف کننده تحلیل کل نگر	احتیاج به نمونه و اطلاعات آماری به شدت محاسباتی

نظر انسان است و کنش فرد مورد توجه قرار می گیرد و تاکنون برای برآورد مصرف انرژی واحدهای اداری و مسکونی مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال، چن و همکاران با رویکرد انسان پایه مصرف انرژی یک واحد اداری را شبیه سازی کرده اند. در این مدل کنش های افراد به عنوان کارکنان تمام وقت، پاره وقت و ارباب رجوع به صورت مجزا مدل شده است (Chen et al, 2018).

ریچاردسون و همکاران، عبارت «ساکن فعال» برای فردی که در خانه حاضر است و خواب نیست و در تکمیل پرسش نامه زمان مصرف پیشگام بوده است، اطلاق می کنند.

این مدل بر اساس مهارت زنجیره ناهمگن مارکوف مونت کارلو توسعه پیدا کرده است. سه مدل رفتاری «حضور افراد»، «استفاده از وسایل و لوازم انرژی بر» و «استفاده از روشنایی» توسط ریچاردسون و همکاران توسعه پیدا کرده است (Richardson et al, 2008).

### ۲.۲.۲. مدل سازی رفتاری قطعی

انرژی حاصل از شبیه سازی و آنچه عملاً اتفاق می افتد ناشی از عدم مدل سازی کامل و صحیح رفتار ساکنین و مصرف کنندگان است.

در این قسمت رویکردهای برآورد مصرف انرژی ساختمان از منظر مباحث رفتاری در مدل ها بررسی می شود. رویکردهای رفتاری در مدل ها را می توان به دو دسته ۱- رویکردهای قطعی<sup>۱۴</sup> و ۲- رویکردهای تصادفی<sup>۱۵</sup> تقسیم بندی کرد. رویکردهای تصادفی به خصوص رویکردهای انسان پایه در زمینه تعیین درست مصرف انرژی، کارا تر هستند. مدل های فعالیت محور عامل پایه، برای شبیه سازی مکان هایی که کاربر دارای رفتارهای چند نوعه<sup>۱۶</sup> است، مانند منازل مسکونی بهتر است (Happle et al, 2018).

### ۱.۲.۲. مدل سازی رفتاری تصادفی

در اغلب مدل های تصادفی رفتاری، عامل<sup>۱۷</sup> مورد

14. Deterministic
15. Stochastic
16. Variable Types
17. Agent

جدول ۳. مقایسه رویکردهای مدل‌سازی رفتاری (توسعه توسط نگارنده)

تصادفی	قطعی
<p>قابلیت پیش‌بینی مبتنی بر توزیع‌های آماری مبتنی بر داده‌های نظرسنجی مصرف - زمان بار محاسباتی کمتر در مقایسه با رویکرد قطعی انسان‌پایه مناسب برای محیطی با رفتارهای چند نوعه (مانند منازل مسکونی)</p>	<p>دقت بالا مبتنی بر قواعد و برنامه‌های معین نقاط قوت</p>
<p>زمان بر (تنظیم پرسش‌نامه و تکمیل آن بر اساس تنوع رفتاری) احتمال وقوع جهت‌گیری‌های رفتاری در تنظیم پرسش‌نامه احتمال وقوع جهت‌گیری‌های رفتاری در تکمیل پرسش‌نامه</p>	<p>نیاز به داده زیاد بار محاسباتی زیاد مبتنی بر رفتارهای تکرارپذیر و قابل پیش‌بینی فضاپایه نقاط ضعف</p>

ملی استخراج شده است (Heiple & Sailor, 2008).

کوآن و همکاران، اربن ای‌پی‌سی<sup>۲۰</sup> را به عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاری در زمینه مدیریت انرژی شهری توسعه داده‌اند. این ابزار، مدل شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان را با پلتفرم جی‌آی‌اس<sup>۲۱</sup> همراه می‌کند.

در پژوهش ایشان از داده‌های مرجع هسته محاسباتی دی‌او‌ای<sup>۲۲</sup> برای شبیه‌سازی ساختمان‌ها استفاده شده است.

داده‌های مربوط به تراکم ساکنین در ساختمان‌های مسکونی و تجاری از سرشماری کار و جمعیت استخراج شده است (Quan et al, 2015).

در جدول شماره ۳ مقایسه رویکردهای تصادفی و قطعی رفتاری در مصرف انرژی ساختمان و نقاط ضعف و قوت آن آورده شده است.

خروجی روش‌های قطعی رفتارهای تکرارپذیر و قابل پیش‌بینی است که تنوع رفتاری در آن لحاظ نمی‌شود. روش‌های قطعی از یک سری قواعد قطعی<sup>۱۸</sup> پیروی می‌کنند که رفتار ساکنین را قابل پیش‌بینی می‌کند. به عنوان مثال، باز کردن پنجره توسط ساکنین، تابعی از دمای داخل اتاق و یا کمترین نرخ تهویه مورد نیاز است (Happle et al, 2017).

مدل‌های رفتاری قطعی غالباً فضاپایه هستند و عناصر مدل اعم از حضور افراد، تعداد افراد و مصرف انرژی وسایل و غیره در یک فضای مشخص مدل می‌شوند.

هیپل و سیلر ۲۲ ساختمان تجاری و هشت ساختمان مسکونی را به عنوان نمونه به صورت مصرف انرژی ساعتی شبیه‌سازی کرده‌اند. برنامه ساکنین در مورد روشنایی، تهویه مطبوع از استاندارد اشری<sup>۱۹</sup> و الگوی آزمایشگاه انرژی‌های تجدیدپذیر

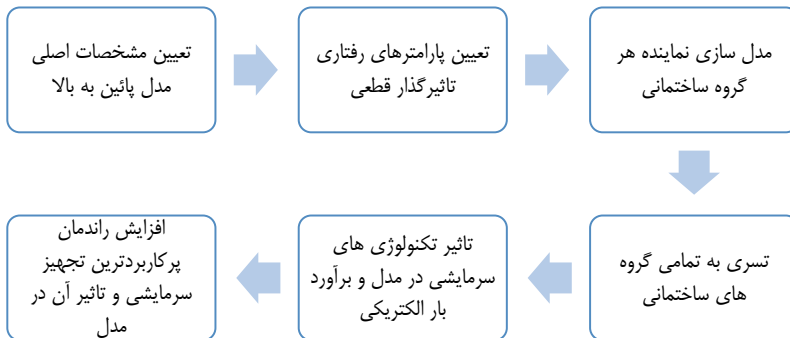
20. URBAN-EPC

21. GIS

22. DOE

18. Deterministic Rules

19. ASHRAE



تصویر ۴. فرایند مدل سازی مهندسی و تأثیر پارامترهای رفتاری

### ۳.۲. مدل سازی پایین به بالا با لحاظ کارکردهای رفتاری قطعی (مدل پژوهش حاضر)

و علاوه بر مدل سازی سرمایش، گرمایش، روشنایی و تهویه مطبوع، مازول های جذابی از قبیل گام های زمانی کمتر از یک ساعت دارد (Deru et al, 2011).

استاندارد اشری ۹۰.۱<sup>۲۶</sup> به عنوان حالت پایه شبیه سازی نسخه های جدید (۲۰۱۷ به بعد) هسته محاسباتی انرژی پلاس مورد استفاده قرار گرفته است (Abushakra et al, 2001).

بار سرمایشی شبیه سازی شده با در نظر گرفتن تجهیزات سرمایشی رایج در کشور مطابق داده های مرکز آمار ایران (پیوست) به بار الکتریکی تبدیل شده است. روش تسری مدل پایین به بالا، روش الگوبرداری است. در جدول شماره ۴ مشخصات مدل پایین به بالا پژوهش آورده شده است.

در این پژوهش، دمای آسایش مد نظر ساکنین ساختمان به عنوان پارامتر رفتاری مدل در نظر گرفته شده است. غالب کنش های رفتاری مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان به صورت دمای آسایش بروز پیدا می کند.

به عنوان مثال، ایندراگانتی و بوسا دمای آسایش را

روش پژوهش حاضر بر مبنای مدل سازی پایین به بالا با لحاظ کارکردهای رفتاری قطعی مصرف کننده انرژی سرمایشی در ساختمان است. فرایند مدل سازی مهندسی و تأثیر پارامترهای رفتاری در آن مطابق تصویر شماره ۴ است.

### ۴.۲. مشخصات مدل

با توجه به داده های سامانه داده نمای شهرداری تهران<sup>۲۳</sup>، در پایتخت ایران بیش از دو میلیون و ۸۶۷ هزار منزل مسکونی در هشت گروه ساختمانی وجود دارد که از این حیث بیشترین سهم را در پیک بار سرمایشی شبکه دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

در این شبیه سازی از هسته محاسباتی انرژی پلاس به واسطه رابط کاربری دیزاین بیلدر استفاده شده است. این هسته محاسباتی به صورت منبع باز<sup>۲۴</sup> توسط وزارت انرژی آمریکا<sup>۲۵</sup> توسعه داده شده

23. data.tehran.ir

24. Open Source

25. Department of Energy (DOE)

26. Ashrae 90.1

جدول ۴. مشخصات مدل پایین به بالا

مشخصات مدل	پارامتر	توضیحات
سایت شبیه‌سازی	شهر تهران	با توجه به داده‌های هواشناسی شهر تهران در پایگاه داده نرم‌افزار دیزاین بیلدر
نوع ساختمان	آپارتمان سه طبقه	طبقه اول و طبقه سوم متناظر با طبقات اول و نهایی هر ساختمان و طبقه دوم به عنوان طبقات میانی ساختمان‌ها
هسته محاسباتی	انرژی پلاس	استفاده از رابط گرافیکی دیزاین بیلدر ۶,۱,۴,۰۰,۷
گام‌های زمانی شبیه‌سازی	پانزده دقیقه	
حالت پایه شبیه‌سازی	استاندارد اشری ۹۰,۱	مطابق با حالت پایه نرم‌افزار دیزاین بیلدر
مصالح ساختمان	آجر، آهن و سایر مصالح معمول در قسمت داخلی ساختمان	بر اساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵
فناوری سرمایشی	فناوری‌های رایج	«نتایج آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی و ویژگی‌های محیط زیستی خانوارهای شهری ۱۳۹۵»
روش تسری مدل	الگوبرداری	این روش بخش ساختمان را به گروه‌هایی بر اساس مشابهت‌های زیربنایی، اندازه‌های، مصالح به کار رفته و دیگر موارد تقسیم‌بندی می‌کند. انرژی برآوردشده برای نماینده هر گروه که تعداد قابل توجهی را دارا است به عنوان نماینده مصرف انرژی منطقه و یا کل بخش ساختمان تعمیم داده می‌شود.
گروه‌های ساختمانی	۵۰ متر مربع و کمتر	ساختمان نمونه: متراژ ۵۰ متر
	۵۱ تا ۷۵ متر مربع	ساختمان نمونه: متراژ ۶۵ متر
	۷۶ تا ۸۰ متر مربع	ساختمان نمونه: متراژ ۸۰ متر
	۸۱ تا ۱۰۰ متر مربع	ساختمان نمونه: متراژ ۹۰ متر
	۱۰۱ تا ۱۵۰ متر مربع	ساختمان نمونه: متراژ ۱۲۵ متر
	۱۵۱ تا ۲۰۰ متر مربع	ساختمان نمونه: متراژ ۱۷۵ متر
	۲۰۱ تا ۳۰۰ متر مربع	ساختمان نمونه: متراژ ۲۵۰ متر
	۳۰۱ متر و بیشتر	ساختمان نمونه: متراژ ۳۰۰ متر

## جدول ۵. پارامترهای رفتاری پژوهش

مشخصات مدل	پارامتر	گروه‌های ساختمانی	توضیحات
	۱۸ درجه سانتی گراد		
دمای آسایش	۲۲ درجه سانتی گراد	به تفکیک تمامی گروه‌های ساختمانی	با توجه به سند «نتایج آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی و ویژگی‌های محیط زیستی خانوارهای شهری ۱۳۹۵»
سرمايش	۲۷ درجه سانتی گراد	مندرج در جدول شماره ۴	
	۳۰ درجه سانتی گراد		

همچنین با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه G به درجه B و C به ترتیب ۲۶۴.۶۵ مگاوات و ۲۳۶.۵۸ مگاوات در پیک روز شبکه برق تهران کاهش رخ خواهد داد.

با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه G شهر تهران به درجه A، ۱۹۶.۹۷ مگاوات پیک شب شبکه برق شهر تهران کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه G به درجه B و C به ترتیب ۱۸۵.۲۷ مگاوات و ۱۶۵.۶۲ مگاوات در پیک شب شبکه برق تهران کاهش رخ خواهد داد (تصویر شماره ۷).

همان‌طور که در جدول شماره ۸ مشخص است، با افزایش راندمان کولرهای آبی از درجه G به B، A و C به ترتیب ۲۱.۰۸، ۱۹.۸۳ و ۱۷.۷۲ درصد باعث کاهش پیک شبکه برق شهر تهران می‌شود.

#### ۴. جمع‌بندی و برداشت سیاستی

بررسی میزان مصرف برق کشور طی چند دهه اخیر نشان می‌دهد که نه تنها میزان مصرف برق، بلکه حتی سرانه آن نیز روند صعودی داشته و مسئولین وزارت نیرو نیز همواره خود را ملزم به تأمین برق مشترکان دانسته‌اند، اما در بسیاری از سال‌ها میزان حداکثر تقاضای مشترکان از حداکثر

به عنوان عامل مهم رفتاری در تحلیل بار سرمایه‌ی ساختمان عنوان کرده‌اند (Indraganti & Boussaa, 2017). در جدول شماره ۵ مشخصات پارامترهای رفتاری پژوهش آورده شده است.

مشخصات فنی کولرهای آبی لحاظ‌شده در مدل، مطابق جدول شماره ۶ است. با لحاظ کردن فرمول‌های جدول شماره ۶، نسبت بازدهی انرژی کولرهای آبی برای گروه‌های ساختمانی مطابق جدول شماره ۷ است.

#### ۳. تجزیه و تحلیل نتایج

همان‌طور که در تصویر شماره ۵ مشخص است، پیک شبکه، پیک روز است، اما فاصله پیک روز و شب تقریباً دو هزار مگاوات در سال ۱۳۹۷ است که نشان‌دهنده اهمیت پیک شب در کنار پیک روز است؛ بنابراین در این پژوهش مدل‌سازی برای پیک روز و شب به صورت مجزا صورت پذیرفته است.

با مقایسه بار سرمایه‌ی و الکتریکی در تصویر شماره ۶ مشخص می‌شود که میانگین راندمان تجهیزات سرمایه‌ی شهر تهران تقریباً برابر با ۰.۳۳ درصد است. با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه G شهر تهران به درجه A، ۲۸۱.۳۷ مگاوات پیک روز شبکه برق شهر تهران کاهش می‌یابد.

جدول ۶. مشخصات فنی کولرهای آبی برای ورود به مدل پایین به بالا

پارامترها	محاسبه	توضیح
ظرفیت هوادهی (مقیمان، ۱۳۹۳)	متر مربع اتاق ضرب در عدد ۹۹،۴۳، ظرفیت هوادهی را بر حسب متر مکعب بر ساعت مشخص می‌کند.	حجم اتاق تقسیم بر سه، ظرفیت هوادهی بر حسب فوت مکعب بر دقیقه را مشخص می‌کند. با در نظر گرفتن ارتفاع ۳،۵ متر برای ارتفاع هر اتاق و ضرایب تبدیل، هر متر مربع باید ضرب در عدد ۹۹،۴۳ شود تا ظرفیت هوادهی بر حسب متر مکعب بر ساعت جهت استفاده در فرمول بازدهی انرژی تعیین شود.
ظرفیت استاندارد هوادهی کولرهای موجود (مقیمان، ۱۳۹۳)	۵۰۰-۲۰۰۰-۳۰۰۰-۳۵۰۰-۴۰۰۰-۴۵۰۰-۵۰۰۰ ۶۰۰۰-۶۵۰۰-۷۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ فوت مکعب بر دقیقه. البته مدل‌های ۳۵۰۰-۵۰۰۰-۷۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ مدل‌های متعارف بازار هستند.	
A	$EER > (0.00093 * (m^3/h) + 43.02165)$	
B	$(0.00085 * (m^3/h) + 39.33) < EER < (0.00093 * (m^3/h) + 43.02)$	
C	$(0.00077 * (m^3/h) + 35.64) < EER < (0.00085 * (m^3/h) + 39.33)$	
D	$(0.00069 * (m^3/h) + 31.95) < EER < (0.00077 * (m^3/h) + 35.64)$	نسبت بازدهی انرژی
E	$(0.00061 * (m^3/h) + 28.27) < EER < (0.00069 * (m^3/h) + 31.95)$	
F	$(0.00053 * (m^3/h) + 24.58) < EER < (0.00061 * (m^3/h) + 28.27)$	
G	$(0.00045 * (m^3/h) + 20.89) < EER < (0.00053 * (m^3/h) + 24.58)$	

بر اساس استاندارد ملی ۲-۴۹۱

جدول ۷. نسبت بازدهی انرژی کولرهای آبی برای گروه های ساختمانی به منظور استفاده در مدل پایین به بالا

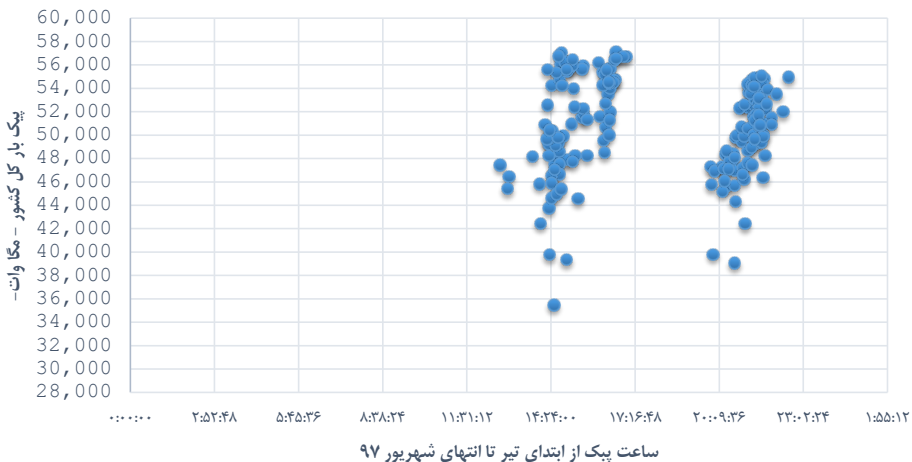
گروه های ساختمانی درجه انرژی	۵۰ متر مربع و کمتر	۷۵ تا ۱۰۰ متر مربع	۱۰۰ تا ۱۵۰ متر مربع	۱۵۰ تا ۲۰۰ متر مربع	۲۰۰ تا ۲۵۰ متر مربع	۲۵۰ تا ۳۰۰ متر مربع	۳۰۰ تا ۳۵۰ متر مربع	بیشتر
A	۴۷/۶۵	۴۹/۰۳۲۱۹	۵۰/۴۱۹۲۴	۵۱/۳۴۳۹۴	۵۲/۵۸۰۳۹	۵۹/۲۰۳۸۸	۶۶/۱۳۹۱۳	۷۰/۷۶۲۶۲
B	۴۵/۶	۴۶/۹۲۷۸۵	۴۸/۲۵۵۲۴	۴۹/۱۴۰۱۷	۵۲/۲۳۷۴۱	۵۶/۶۶۲۰۵	۶۳/۲۹۹	۶۷/۷۲۳۶۴
C	۴۲/۵۳	۴۳/۷۷۲۱۶	۴۵/۰۱۰۰۶	۴۵/۸۲۵۲۳	۴۸/۷۲۳۷۸	۵۲/۸۵۰۱۲	۵۹/۰۳۹۶۴	۶۳/۱۶۵۹۸
D	۳۸/۹۶	۴۰/۰۹۰۸	۴۱/۲۳۴۳	۴۱/۹۷۹۹۷	۴۴/۶۲۴۸۱	۴۸/۴۰۳۱۵	۵۴/۰۷۰۶۶	۵۷/۸۴۹
E	۳۵/۱۳	۳۶/۱۵۱۶	۳۷/۱۷۳۳۴	۳۷/۸۵۴۳۴	۴۰/۲۳۸۱۷	۴۳/۶۴۳۶۵	۴۸/۷۵۱۸۷	۵۲/۱۵۷۳۴
F	۳۱/۱۷	۳۲/۰۷۸۴۸	۳۲/۹۸۴۵۴	۳۳/۵۸۸۵۷	۳۵/۷۰۲۷	۳۸/۷۲۲۸۹	۴۳/۲۵۳۱۷	۴۶/۲۷۳۳۶
G	۲۷/۱۵	۲۷/۹۳۸۴	۲۸/۷۲۷۰۱	۲۹/۲۵۲۷۴	۳۱/۰۹۲۸۲	۳۳/۲۲۱۵	۳۷/۶۶۴۵۲	۴۰/۲۹۳۲

نسبت به سایر فصول شده، بار سرمایشی (حدود ۳۰ درصد پیک شبکه) است.

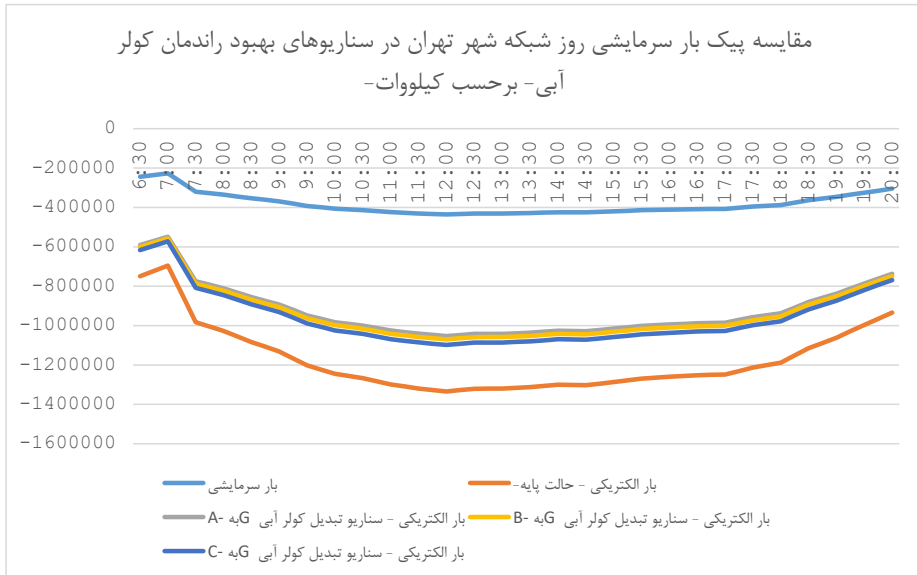
بیش از ۵۰ درصد پیک شبکه و عمده بار سرمایشی در بخش مسکونی است. با توجه به اینکه ۶۵ درصد ساختمان های کشور از کولر آبی استفاده می کنند،

توان تولیدی شبکه کل کشور پیشی گرفته و کشور با خاموشی های متعدد در ایام تابستان مواجه شده است.

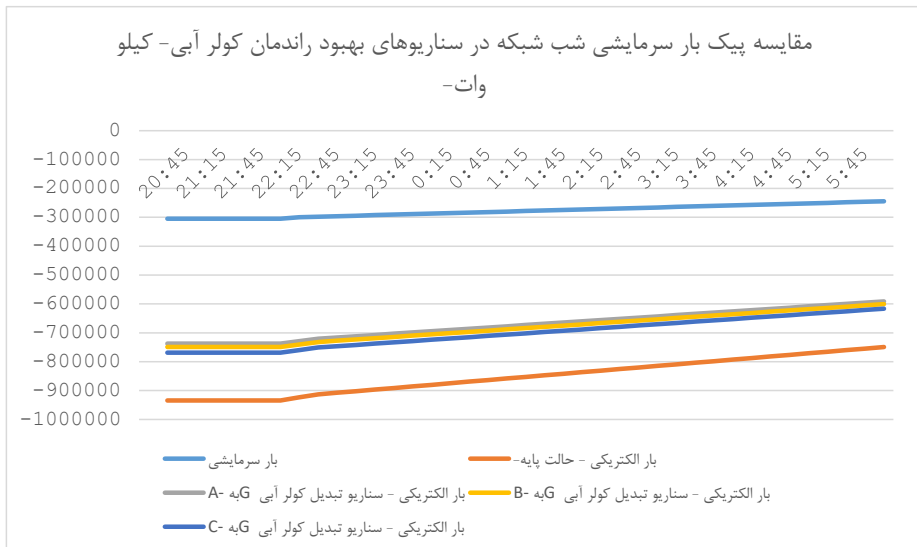
نمونه بارز این امر در تابستان سال ۱۳۹۷ اتفاق افتاد. چیزی که باعث افزایش بار شبکه در تابستان



تصویر ۵. پراکندگی پیک روز و شب در تابستان ۱۳۹۷



تصویر ۶. مقایسه پیک بار سرمایشی روز شبکه شهر تهران در سناریوهای بهبود راندمان کولر آبی



تصویر ۷. مقایسه پیک بار سرمایشی شب شبکه در سناریوهای بهبود راندمان کولر آبی



جدول ۸. مقایسه سناریوهای مختلف افزایش کارایی کولرهای آبی نسبت به حالت پایه پیک شبکه

عنوان	حالت پایه (کیلو وات)	سناریوی تبدیل کولر آبی با راندمان G به A (کیلووات)	سناریوی تبدیل کولر آبی با راندمان G به B (کیلووات)	سناریوی تبدیل کولر آبی با راندمان G به C (کیلووات)
پیک بار الکتریکی در روز	-۱۳۳۴۵۵۲/۸۸	-۱۰۵۳۱۸۲/۵۲	-۱۰۶۹۸۹۵/۲۳	-۱۰۹۷۹۶۹/۰۳
کاهش پیک بار الکتریکی در روز نسبت به حالت پایه	-	-۲۸۱۳۷۰/۳۶	-۲۶۴۶۵۷/۶۵	۲۳۶۵۸۳/۹
پیک بار الکتریکی در شب	-۹۳۴۲۵۸/۵۴	-۷۳۷۲۸۴/۲۱	-۷۴۸۹۸۴/۰۰	-۷۶۸۶۳۷/۱۷
کاهش پیک بار الکتریکی در شب نسبت به حالت پایه	-	۱۹۶۹۷۴/۳۲	۱۸۵۲۷۴/۵۲	۱۶۵۶۲۱/۴
درصد کاهش نسبت به حالت پایه	-	-۲۱/۰۸	۱۹/۸۳	-۱۷/۷۲

G به درجه B و C به ترتیب ۱۸۵.۲۷ مگاوات و ۱۶۵.۶۲ مگاوات در پیک شب شبکه برق تهران کاهش رخ خواهد داد. با افزایش راندمان کولرهای آبی از درجه G به B، A و C به ترتیب ۲۱/۰۸، ۱۹/۸۳ و ۱۷/۷۲ درصد پیک شبکه برق شهر تهران کاهش می‌یابد.

**برداشت‌های سیاستی این پژوهش به شرح ذیل است:**

- این پژوهش ضمن تدقیق برآورد بار سرمایه‌اشی تأثیرگذار در پیک شبکه برق شهر تهران، تأثیر افزایش راندمان پرکاربردترین تجهیز سرمایه‌اشی (کولر آبی) در پیک شبکه را برآورد کرده است. دستاورد یادشده می‌تواند به عنوان ابزاری برای سیاست‌گذاری بهتر در زمینه پیک‌سایبی مورد استفاده قرار بگیرد. یکی از دلایلی که تاکنون مدیریت سمت تقاضای پیک شبکه موفقیت‌چندانی نداشته است، عدم مدل‌سازی مهندسی و رفتاری توأمان مصرف‌کنندگان است.

- توسعه ابزار مدل‌سازی پایین به بالا با لحاظ کارکردهای رفتاری، به سیاست‌گذاری دقیق‌تر

یکی از راه‌های کنترل رشد پیک بار شبکه سراسری برق، افزایش بهره‌وری تجهیزات کولر آبی است. در این پژوهش به کمک مدل‌سازی مهندسی پایین به بالا و لحاظ کارکردهای رفتاری بار پیک سرمایه‌اشی در شهر تهران، تأثیر افزایش راندمان کولرهای آبی بر پیک شبکه برق تهران بررسی شده است.

با مقایسه بار سرمایه‌اشی و بار الکتریکی برآوردشده در مدل، میانگین راندمان تجهیزات سرمایه‌اشی شهر تهران تقریباً برابر با ۰.۳۳ درصد است. با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه G شهر تهران به درجه A، ۲۸۱.۳۷ مگاوات پیک روز شبکه برق شهر تهران کاهش می‌یابد.

همچنین با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه G به درجه B و C به ترتیب ۲۶۴.۶۵ مگاوات و ۲۳۶.۵۸ مگاوات در پیک روز شبکه برق تهران کاهش رخ خواهد داد. با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه G شهر تهران به درجه A، ۱۹۶.۹۷ مگاوات پیک شب شبکه برق شهر تهران کاهش می‌یابد.

همچنین با افزایش راندمان کولرهای آبی درجه

### حامی مالی

این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول در گروه سیاست‌گذاری انرژی و محیط زیست دانشکده علوم و فنون نوین دانشگاه تهران به راهنمایی امیرعلی سیف‌الدین است.

### مشارکت نویسندگان

هر سه نویسنده در طراحی، اجرا و نگارش بخش‌های پژوهش حاضر مشارکت داشته‌اند.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

و مشخص‌تر در زمینه انرژی، کمک وافر می‌کند. به عنوان مثال، مطابق دستاوردهای این پژوهش می‌توان برای مدیریت پیک شبکه شهر تهران (این مدل‌سازی می‌تواند برای تمامی شهرها و به تبع آن کل کشور صورت پذیرد)، به صورت دقیق در مورد افزایش کارایی یک تجهیز سرمایشی خاص تصمیم‌گیری کرد.

- با توجه به داده‌های جدول شماره ۱، برنامه توسعه‌ای ظرفیت نیروگاهی کشور تقریباً سالانه چهار هزار مگاوات است؛ در صورتی که با مدیریت سمت تقاضا که یکی از مصادیق آن افزایش کارایی کولر آبی به عنوان پرکاربردترین تجهیز سرمایشی کشور است، می‌توان تقریباً ۲۰ درصد پیک بار شبکه را کاهش داد که معادل تقریباً ده هزار مگاوات است. هزینه ایجاد ظرفیت جدید نیروگاهی در کشور برابر با پانصد دلار برای هر کیلووات است که با احتساب دلار ۴۲۰۰ تومانی، هزینه توسعه ده هزار مگاوات ظرفیت جدید در کشور برابر بیست هزار میلیارد تومان است؛ بنابراین یک اقدام راهبردی در زمینه کارایی تجهیزات سرمایشی به اندازه ۲/۵ سال بودجه توسعه ظرفیت نیروگاهی کشور مؤثر است.

- مدیریت سمت تقاضا به عنوان سیاستی کم‌هزینه و با عملکرد بالا در زمینه کاهش پیک شبکه برق با توجه به شرایط فعلی کشور (کمبود منابع عمرانی برای ایجاد ظرفیت عرضه) باید به عنوان سیاست اصلی پیک‌سایی کشور مد نظر قرار بگیرد.

### ملاحظات اخلاقی

#### پیروی از اصول اخلاق پژوهش

این پژوهش با رعایت اصول اخلاقی پژوهش صورت پذیرفته است.

## منابع فارسی

- احمدی، م.، ملکی، ع.، و ودادی کلاتر، س. (۱۳۹۶). برآورد میزان صرفه‌جویی انرژی در صورت جایگزینی کولرهای آبی برچسب A در بخش ساختمان شهر تهران (مسکونی). فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه ریزی انرژی، ۹(۳)، ۵۷-۷۴.
- آزاد، ص.، قریشی، ح. ر.، و امید، ا. (۱۳۹۷). ارزیابی ابعاد بحران تأمین برق تابستان و راهکارهای مقابله با آن. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.
- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی. (۱۳۹۱). نگاهی به خصوصی سازی صنعت برق کشور با رویکردی بر تجارت جهانی. مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.
- حلیمی، ق. و توکلی، ا. ر. (۱۳۹۴). مطالعه و بررسی تاثیر بار سرمایش در پیک مصرف برق کشور. مقاله ارائه شده در: اولین کنگره ملی طراحی نوین مهندسی با رویکرد توسعه پایدار و حفظ محیط زیست، سمنان، ۶۱ مهر ۱۳۹۴.
- مقیمان، محمد. (۱۳۹۳). مهندسی تهویه مطبوع و حرارت مرکزی. چاپ ۷. مشهد: دانشگاه فردوسی.
- مرکز آمار ایران. (۱۳۹۶). نتایج آمارگیری از مصرف حامل های انرژی و ویژگی های محیط زیستی خانوارهای شهری ۱۳۹۵. مرکز آمار ایران.
- ودادی کلاتر، س.، ملکی، ع.، و احمدی، م. (۱۳۹۵). بررسی بازارهای انرژی خزر به کمک معیار ترکیبی امنیت تقاضای انرژی کشورهای ناحیه خزر در سال ۲۰۱۵ و افق ۲۰۳۰. فصلنامه مطالعات راهبردی سیاست‌گذاری عمومی، ۶(۲۰)، ۸۴-۶۷.

## References

- Abushakra, B., Sreshthaputra, A., Haberl, J. S., & Claridge, D. E. (2001). Compilation of diversity factors and schedules for energy and cooling load calculations, ashrae research project 1093-RP, final report. Retrieved from Energy Systems Laboratory website: <https://oaktrust.library.tamu.edu/handle/1969.1/2013>
- Ahmadi, M., Maleki, A., & Vedadi Kalantar, S. (2018). [Energy saving estimation of replacing the A-Class evaporative coolers in the Tehran buildings (residential) (Persian)]. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 3(4), 57-74 <http://eppjournal.ir/article-1-462-fa.html>
- Azad, S., Ghoreishi, H. R., & Omid, E. (2018). [Assessing the dimensions of the summer electricity supply crisis and solutions to deal with it (Persian)]. Islamic Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran. Retrieved from <https://rc.majlis.ir/fa/report/show/1064293>
- Chen, Y., Hong, T., & Luo, X. (2018). An agent-based stochastic occupancy simulator. *Building Simulation*, 11(1), 37-49. [DOI:10.1007/s12273-017-0379-7]
- da Silva, F. L., Oliveira, F. L. C., & Souza, R. C. (2019). A bottom-up bayesian extension for long term electricity consumption forecasting. *Energy*, 167, 198-210. [DOI:10.1016/j.energy.2018.10.201]
- Deru, M., et al. (2011). US department of energy commercial reference building models of the national building stock. [DOI:10.2172/1009264]
- Fan, C., Wang, J., Gang, W., & Li, S. (2019). Assessment of deep recurrent neural network-based strategies for short-term building energy predictions. *Applied Energy*, 236, 700-10. [DOI:10.1016/j.apenergy.2018.12.004]
- Ghedamsi, R., et al. (2016). Modeling and forecasting energy consumption for residential buildings in Algeria using bottom-up approach. *Energy and Buildings*, 121, 309-17. [DOI:10.1016/j.enbuild.2015.12.030]
- Halimi, G., & Tavakoli, A. (2015). [Study and study of the effect of cooling load on the peak of electricity consumption in the country (Persian)]. The First National Congress of Modern Engineering Design With the Approach of Sustainable Development And Environmental Protection (Persian)], Semnan, Iran, 8 October 2015. <https://civilica.com/doc/483640/>
- Happle, G., Fonseca, J. A., & Schlueter, A. (2018). A review on occupant behavior in urban building energy models. *Energy and Buildings*, 174, 276-92. [DOI:10.1016/j.enbuild.2018.06.030]
- Happle, G., Fonseca, J. A., & Schlueter, A. (2017). Effects of air infiltration modeling approaches in urban building energy demand forecasts. *Energy Procedia*, 122, 283-8. [DOI:10.1016/j.egypro.2017.07.323]
- Heiple, S., & Sailor, D. J. (2008). Using building energy simulation and geospatial modeling techniques to determine high resolution building sector energy consumption profiles. *Energy and Buildings*, 40(8), 1426-36. [DOI:10.1016/j.enbuild.2008.01.005]
- Hu, S., Yan, D., & Qian, M. (2019). Using bottom-up model to analyze cooling energy consumption in China's urban residential building. *Energy and Buildings*, 202, 109352. [DOI:10.1016/j.enbuild.2019.109352]
- Indraganti, M., & Boussaa, D. (2017). Comfort temperature and occupant adaptive behavior in offices in Qatar during summer. *Energy and Buildings*, 150, 23-36. [DOI:10.1016/j.enbuild.2017.05.063]
- Islamic Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran. (2012). [A look at the privatization of the country's electricity industry with an approach to global experiences (Persian)]. Islamic Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran. Retrieved from <https://rc.majlis.ir/fa/news/show/809880>
- Knoeri, C., Goetz, A., & Binder, C. R. (2014). *Generic bottom-up building-energy models for developing regional energy transition scenarios*. Paper presented at The Social Simulation Conference, Barcelona, Spain, 1-5 September 2014. <https://ddd.uab.cat/record/128237>
- Labandeira, X., Labeaga, J. M., & Rodríguez, M. (2006). A residential energy demand system for Spain. *The Energy Journal*, 27(2), 87-112. [DOI:10.5547/ISSN0195-6574-EJ-Vol27-No2-6]
- Lins, M. P. E., Da Silva, A. C. M., & Rosa, L. P. (2002). Regional variations in energy consumption of appliances: conditional demand analysis applied to Brazilian households. *Annals of Operations Research*, 117(1-4), 235-46. [DOI:10.1023/A:1021533809914]
- McKenna, R., Merkel, E., Fehrenbach, D., Mehne, S., & Fichtner, W. (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, 77-88. [DOI:10.1016/j.buildenv.2013.01.002]
- Moghiman, M. [*Engineering of air conditioning and central heating* (Persian)]. 7<sup>th</sup> ed. Mashhad: Ferdowsi University. <http://opac.nlai.ir/opac-prod/bibliographic/692162>
- Nägeli, C., Jakob, M., Catenazzi, G., & Ostermeyer, Y. (2020). Towards agent-based building stock modeling: Bottom-up modeling of long-term stock dynamics affecting the energy and climate impact of building stocks. *Energy and Buildings*, 211, 109763. [DOI:10.1016/j.enbuild.2020.109763]
- Österbring, M., et al. (2016). A differentiated description of building-stocks for a georeferenced urban bottom-up building-stock model. *Energy and Buildings*, 120, 78-84. [DOI:10.1016/j.enbuild.2016.03.060]
- Quan, S. J., Li, Q., Augenbroe, G., Brown, J., & Yang, P. P. J. (2015). Urban data and building energy modeling: A GIS-based urban building energy modeling system using the urban-EPC engine. In S. Geertman, J. Ferreira, R. Goodspeed, & J. Stillwell (Eds.), *Planning Support Systems and Smart Cities* (pp. 447-69). Cham: Springer. [DOI:10.1007/978-3-319-18368-8\_24]
- Richardson, I., Thomson, M., & Infield, D. (2008). A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. *Energy and Buildings*, 40(8), 1560-6. [DOI:10.1016/j.enbuild.2008.02.006]
- Saha, G. P., & Stephenson, J. (1980). A model of residential energy use in New Zealand. *Energy*, 5(2), 167-75. [DOI:10.1016/0360-5442(80)90005-5]
- Vadadi Kalantar, S., Maleki, A., & Ahmadi, M. (2016). [Caspian energy markets: Implementation of energy security combined criteria from 2015 to 2030 (Persian)]. *Journal of Strategic Studies of Public Policy*, 6(20), 67-84. [http://sspp.iranjournals.ir/article\\_23296.html](http://sspp.iranjournals.ir/article_23296.html)
- Statistical Center of Iran. (2018) [Publication of electronic version of the results of statistics on the consumption of energy carriers and the environmental characteristics of urban households (Persian)]. Statistical Center of Iran. Retrieved from <https://www.amar.org.ir/news/>
- Streicher, K. N., et al. (2019). Analysis of space heating demand in the Swiss residential building stock: Element-based bottom-up model of archetype buildings. *Energy and Buildings*, 184, 300-22. [DOI:10.1016/j.enbuild.2018.12.011]
- Swan, L., Ugursal, V. I., & Beausoleil-Morrison, I. (2008). *A new hybrid end-use energy and emissions model of the Canadian housing stock*. Paper presented at The 3<sup>rd</sup> Canadian Solar Buildings Conference, Toronto, Canada, 15-17 August 2008. <https://e3p.jrc.ec.europa.eu/node/93>
- Theodoridou, I., Papadopoulos, A. M., & Hegger, M. (2011). A typological classification of the Greek residential building stock. *Energy and Buildings*, 43(10), 2779-87. [DOI:10.1016/j.enbuild.2011.06.036]
- Zhang, Y., He, C. Q., Tang, B. J., & Wei, Y. M. (2015). China's energy consumption in the building sector: A life cycle approach. *Energy and Buildings*, 94, 240-51. [DOI:10.1016/j.enbuild.2015.03.011]

جدول ۱ پیوست. پراکندگی تجهیزات سرمایشی مورد استفاده در ساختمان‌های مسکونی نتایج آمارگیری از مصرف‌کنندگان حامل‌های انرژی و ویژگی‌های محیط زیستی خانوارهای شهری (۱۳۹۵)

درصد	نوع	درصد	نوع وسایل سرمایشی
۳۸/۹	A		
۸/۲	B	۰/۴	چیلر جذبی
۵۲/۹	اظهاری نشده		
		۱/۰	چیلر تراکمی
۱۹/۲	A		
۱۶/۵	C		
۲۶/۷	E	۰/۲	فن کوئل
۱۳/۲	ندارد		
۲۴/۳	اظهاری نشده		
۲۱/۵	A		
۳۵/۴	B	۰/۲	پکیج برودتی
۵	C		
۲۸	اظهاری نشده		
۳۲/۷	A		
۱۳/۷	B		
۲/۸	C		
۱/۳	D		
۱	E	۹/۸	کولر گازی
۰/۱	F		
۰/۲	G		
۱۵/۱	ندارد		
۳۳/۱	اظهاری نشده		

نوع وسایل سرمایشی	درصد	نوع	درصد
		A	۴/۹
		B	۳/۵
		C	۷/۴
		D	۹/۱
کولر آبی	۵۶/۸	E	۲
		F	۶/۱
		G	۳/۱
		ندارد	۸/۳۱
		اظهار نشده	۴۲
پنکه	۵/۴		
کولر آبی و کولر گازی	-/۸		
کولر آبی، کولر گازی و پنکه	-/۷		
کولر آبی و پنکه	۱۴		
کولر گازی و پنکه	۱۱/۵		
سایر ترکیبات	-/۱		
	۱۰۰		