سیاست پژوهی بحران خاموشی: مدل¬سازی تصادفیِ عامل پایه مصرف برق در شهر تهران

سعید ودادی کلانتر (نویسنده مسئول)
دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران
saeed.vedadi@ut.ac.ir
امیرعلی سیف الدین
دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۰۱/۸

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۲/۰۲/۱۸

کلمات کلیدی:
مدل¬سازی رفتاری، مدل¬سازی پائین به بالا، رویکرد تصادفی، پیک شبکه برق، بحران خاموشی

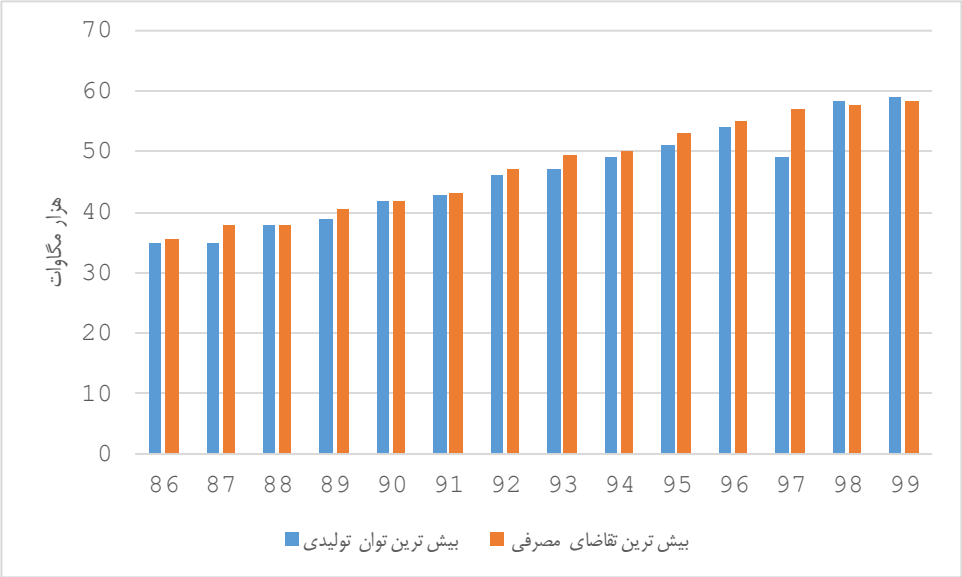
چکیده

افزایش پیک شبکه برق در فصل تابستان منجر به قطعی برق در صنایع و بخش مسکونی می¬شود که بارزترین مصداق آن قطعی برق در تابستان ۱۳۹۷ بود. به دلیل هزینه بالای توسعه ظرفیت نیروگاهی (۵۰۰ دلار برای هر کیلووات)، مدیریت سمت تقاضا مهم¬ترین راهبرد کاهش پیک شبکه برق است. در این پژوهش تاثیر پارامترهای رفتاری در کاهش پیک شبکه برق به کمک مدل¬سازی پائین به بالا مشخص شده است. شبیه¬سازی رفتاری در این پژوهش به کمک داده¬های خام طرح گذران وقت مرکز آمار ایران و به صورت عامل¬پایه انجام گرفته است. در این طرح از ۴۲۲۸ خانوار شهری نظرسنجی صورت پذیرفته و کیفیت رفتاری افراد در هر گام زمانی ۱۵ دقیقه در طول شبانه روز با ۲ رویکر قطعی و تصادفی مشخص گردیده است. در رویکرد تصادفی از روش زنجیره مارکوف استفاده شده است. نتایج پژوهش حاضر حاکی از این است که با انعطاف مصرف برق سرمایشی ناشی از حضور افراد در خانه و دمای آسایش مدنظر، می¬توان بین ۷۰ تا ۱۳۴ مگاوات پیک شبکه برق را کاهش داد (معادل ۶۵ میلیون دلار ایجاد ظرفیت نیروگاهی جدید) که تقریبا برابر با ۱۰ درصد پیک سرمایشی شبکه برق شهر تهران است. با تسری این کاهش ۱۰ درصدی به کل کشور، حدود ۶ هزار مگاوات (معادل ۳ میلیارد دلار ایجاد ظرفیت نیروگاهی جدید) پیک شبکه کشور کاهش یافته و بحران خاموشی به راحتی قابل کنترل است..

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۱. مقدمه

سیستم تامین برق شامل بخش تولید، انتقال و توزیع است که اگر هر کدام از این بخش‌ها دچار اخلال شوند، خاموشی‌ها از راه خواهند رسید؛ خاموشی‌هایی که طبق تجربه‌های ثبت‌شده با تبعات اجتماعی، اقتصادی و سیاسی همراه خواهند بود. روند میزان تقاضا و توان تولیدی در لحظه پیک از سال ۸۶ تا ۹۹ افزایشی بوده (شکل ۱) به نحوی که از حدود ۳۵ هزار مگاوات در سال ۸۶ به حدود ۵۸ هزار مگاوات در سال ۹۹ رسیده است. در طی این سال‌ها غیر از سال‌های ۹۸ و ۹۹ مقدار تقاضای برق بیش از میزان تولید آن در لحظه پیک بوده است.



شکل ۱: حداکثر توان تولیدی و تقاضای مصرفی در روز اوج بار
مستخرج از داده‌های شرکت مدیریت شبکه برق ایران

در جدول ۱ ساعت پیک شبکه برق در ۱۰ سال اخیر آورده شده است. نکته قابل تامل این است که در سال ۱۳۹۹ بر خلاف سایر سال‌ها پیک شبکه در شب اتفاق افتاده است که نشان دهنده تغییر رفتار مصرف انرژی و بالتبع آن تغییر ساعت پیک از روز به شب است.

جدول ۱: ساعات و مقدار پیک شب و روز شبکه برق در ۱۰ سال اخیر
مستخرج از داده‌های شرکت مدیریت شبکه برق ایران و اداره آمار توانیر

سال	پیک شبکه برق		پیک شبکه برق		تفاوت پیک روز و شب (مگاوات)
	روز (مگاوات)	ساعت	شب (مگاوات)	ساعت	
۳۱ تیر ۱۳۹۹	۵۸,۲۴۴	۱۲:۴۰	**۵۸,۲۵۴**	**۲۱:۲۵**	**۰,۰۱**

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۳۱ تیر ۱۳۹۸	**۵۷,۶۳۵**	**۱۶:۲۳**	۵۶,۵۶۳	۲۱:۲۴	۱,۰۷۲
۲۰ تیر ۱۳۹۷	**۵۷,۰۹۸**	**۱۶:۳۸**	۵۴,۹۴۶	۲۲:۳۲	۲,۱۵۲
۸ مرداد ۱۳۹۶	**۵۵,۴۴۲**	**۱۴:۴۵**	۵۲,۴۵۲	۲۱:۳۶	۲,۹۹
۳۰ تیر ۱۳۹۵	**۵۲,۶۹۳**	**۱۴:۵۰**	۵۰,۳	۲۱:۳۰	۲,۳۹۳
۲۰ تیر ۱۳۹۴	**۵۰,۱۷**	**۱۵**	۴۸	۲۲	۲,۱۷
۴ مرداد ۱۳۹۳	**۴۸,۵۲۷**	**۱۵:۲۴**	۴۶,۳	۲۲	۲,۲۲۷
۲۶ تیر ۱۳۹۲	**۴۵,۶۹۳**	**۱۴:۴۳**	۴۴,۸	۲۲	۰,۸۹۳
۲۴ مرداد ۱۳۹۱	**۴۳**	**۱۶**	۴۲	۲۲	۱
۱۲ مرداد ۱۳۹۰	**۴۲**	**۱۵**	۴۱	۲۲	۱

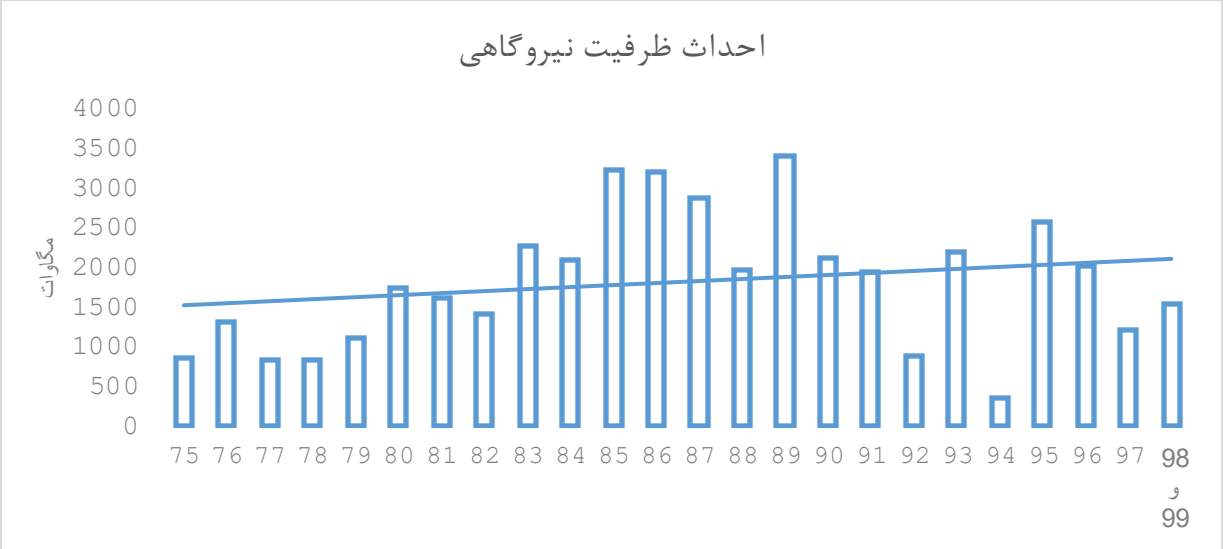
در سال ۹۷ بدلیل کاهش بارندگی و کاهش شدید ظرفیت نیروگاه‌های آبی، ظرفیت تولید برق در ساعت پیک حدود ۸ هزار مگاوات (۵۷ هزار مگاوات تقاضا و ۴۹ هزار مگاوات ظرفیت تولید) از تقاضای آن کم‌تر بود. به‌عبارتی حدود ۸ هزار مگاوات در صورتی که نیروگاه‌های آبی از مدار خارج شوند، کمبود ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی کشور است. برنامه توسعه ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی در سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ حدود ۷ هزار مگاوات بوده است (جدول ۲) که از این میزان فقط ۱۵۰۰ مگاوات ظرفیت جدید احداث شده است.

جدول ۲: برنامه وزارت نیرو برای افزایش ظرفیت نیروگاه‌ها (براساس مگاوات)
شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

سهم هر بخش	۱۳۹۶	۱۳۹۷	۱۳۹۸	۱۳۹۹	۱۴۰۰
دولتی	۲۳۵	۴۲	۶۵۲	۹۳۸	۷۶۰
خصوصی	۹۵۸	۵۴۳	۲۰۹۹	۹۹۸	۵۵۵
بیع متقابل خصوصی	۱۶۰	۴۸۰	۴۸۰	۱۷۸۵	۶۴۰
مجموع تجمعی	۱۳۵۳	۱۰۶۵	**۳۲۳۱**	**۳۷۲۱**	۱۹۵۵

با توجه به روند احداث نیروگاه‌ها در شکل ۲ از سال ۷۶ تا ۹۹ در کشور، در بهترین حالت به طور میانگین سالانه ۲۰۰۰ مگاوات توان افزایش ظرفیت نیروگاهی در کشور وجود دارد که جبران کننده کمبود ظرفیت نیروگاه‌های حرارتی خصوصا در سال‌های کم‌آبی نمی‌باشد. **بنابراین برای حل بحران خاموشی باید راه حل را در کنار افزایش ظرفیت نیروگاه‌ها در سمت تقاضا جستجو کرد.**

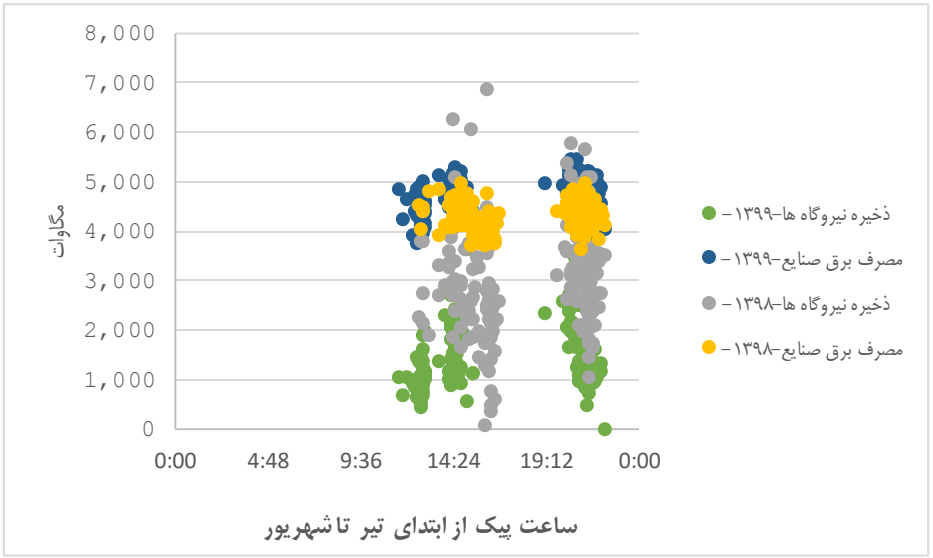
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۲: روند احداث نیروگاه‌ها از سال ۷۵ تا سال ۹۹

شرکت مادر تخصصی تولید نیروی برق حرارتی

همانطور که در شکل ۳ مشخص است مصرف برق صنایع در ساعات پیک تابستان ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ حدود ۵ هزار مگاوات است که بیش از ذخیره حدودا ۳ هزار مگاواتی نیروگاه‌ها در این لحظه است. مصرف بالای برق صنایع در لحظه پیک شبکه برق نشان دهنده عدم وجود برنامه مشخص در زمینه مدیریت بار این بخش است.

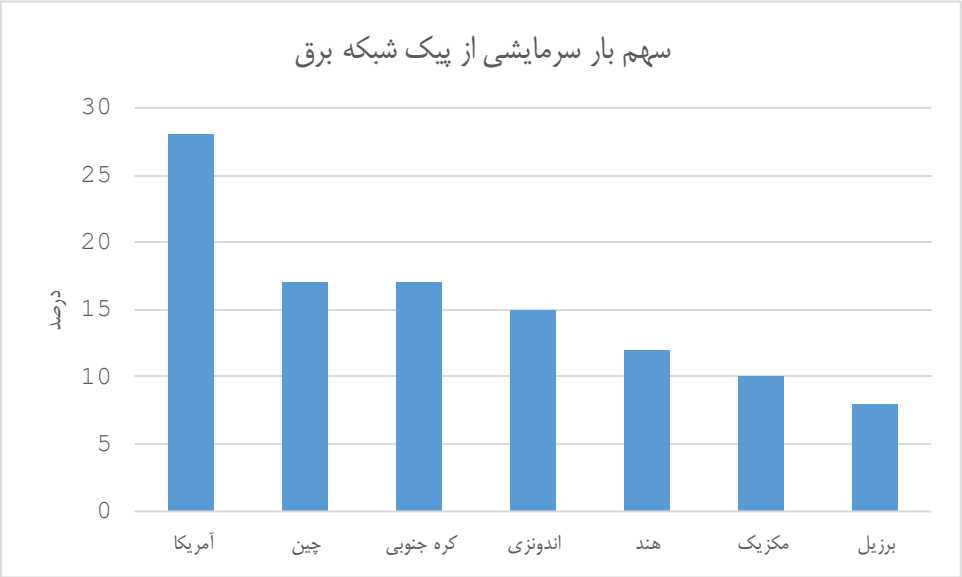


شکل ۳: مقایسه مصرف برق صنایع و ذخیره نیروگاه‌ها در لحظه پیک در سال ۹۸ و ۹۹

مستخرج از داده‌های شرکت مدیریت شبکه برق ایران

پیک شبکه برق در اکثر کشورهای دنیا از جمله ایران تحت تاثیر بار سرمایشی است. همانطور که از شکل ۴ مشخص است سهم بار سرمایشی از پیک شبکه برق در آمریکا حدود ۳۰ درصد و در چین و کره جنوبی بالغ بر ۱۵ درصد است (IEA, ۲۰۱۸).

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۴: سهم بار سرمایشی از پیک شبکه برق در کشورهای مختلف

سهم سرمایش از پیک بار تابستان در ایران، ۳۰ درصد برآورد شده است (حلیمی و توکلی، ۱۳۹۴). با توجه به توضیحات فوق، اهمیت بار سرمایشی در پیک شبکه برق بسیار حائز اهمیت است به نحوی که باعث افزایش پیک تابستان نسبت به سایر فصول می‌شود. بیش از ۵۰ درصد پیک شبکه و عمده بار سرمایشی در بخش مسکونی است (آزاد و همکاران، ۱۳۹۷). این پژوهش با مطالعه جزئیات رفتاری مصرف انرژی خانوار به کمک طرح گذران وقت تابستان ۱۳۹۴ مرکز آمار ایران و با مدل‌سازی پائین به بالای بخش مسکونی در شهر تهران، میزان بار سرمایشی در پیک شبکه برق و پتانسیل کاهش آن با رعایت مسائل رفتاری را در قالب سناریوهای مدون، بررسی می‌کند. به دلیل اینکه مدل توسعه یافته در این پژوهش عامل پایه است، در ادامه مختصری از مدل‌های عامل پایه مصرف انرژی بخش ساختمان آورده شده است.

۲. مدل‌های عامل پایه

در شبیه‌سازی‌های عامل پایه **۲ رویکرد مستقل از فضا و یکپارچه‌سازی افراد و فضا** استفاده می‌شود. برخی نرم‌افزارها نظیر نت لوگو[۱] و انی لاجیک[۲] به منظور شبیه‌سازی عامل‌پایه مستقل از فضا (ساختمان) استفاده می‌شوند. به عنوان مثال آذر و مناسا (Azar & Menassa,۲۰۱۰) باراکات و خوری (Barakat & Khoury, ۲۰۱٦)، پاپادوپولوس و آذر (Papadopoulos & Azar, ۲۰۱٦) ژانگ و همکاران (Zhang et al, ۲۰۱۰) از این روش

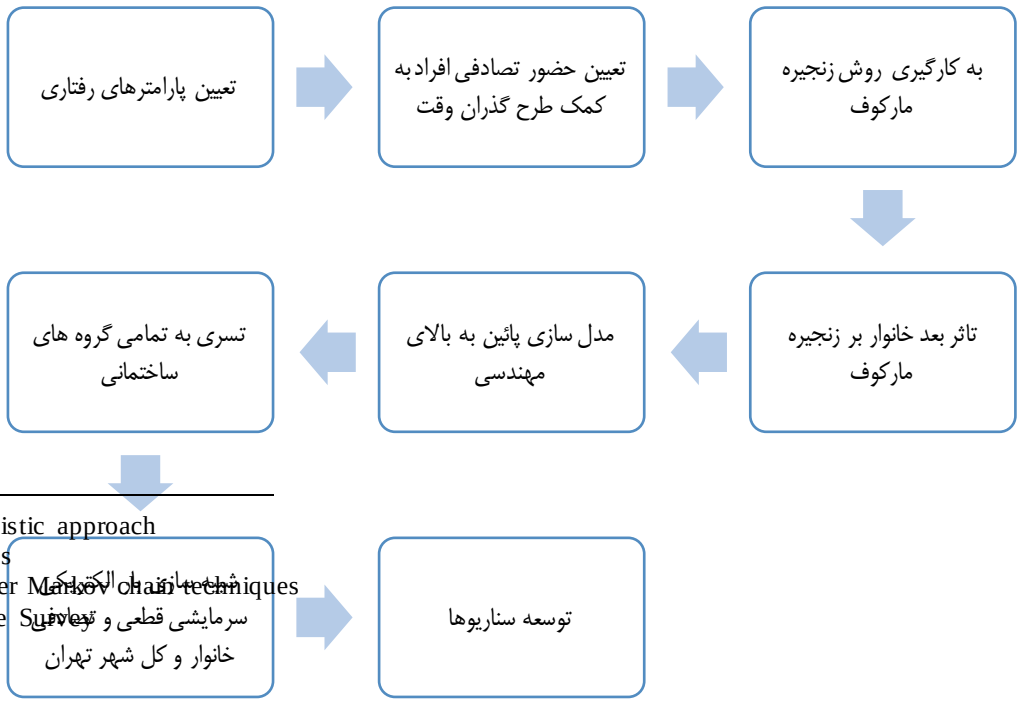
[۱] NetLogo
[۲] AnyLogic

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

برای شبیه‌سازی عامل پایه مصرف انرژی ساختمان استفاده کرده‌اند. در رویکرد یکپارچه‌سازی افراد و فضا از نرم‌افزارهائی نظیر دیزاین بیلدر و هسته محاسباتی انرژی پلاس استفاده می‌شود (Azar & Papadopoulos, ۲۰۱۷). در شبیه سازی‌های عامل پایه‌ای که مباحث رفتاری لحاظ می‌شود، ۲ رویکرد قطعی و تصادفی کاربرد دارد. مدل‌های عامل پایه مبتنی بر رویکردهای قطعی[۳] از قواعد و برنامه‌های معین[۴] پیروی می‌کنند. برنامه‌ها شامل پروفایل‌های بار هستند که به صورت عددی بین صفر و ۱ نشان داده می‌شوند (Abushakra et al, ۲۰۰۱). مدل‌های عامل پایه تصادفی از توزیع‌های آماری برای تعیین شرایط و رفتار ساکنین استفاده می‌کنند. اغلب مدل‌های تصادفی براساس تکنیک زنجیره مارکوف[۵] توسعه پیدا می‌کنند (Richardson et al, ۲۰۰۸). داده مربوط به مدل‌های تصادفی از نظرسنجی مصرف-زمان[۶] که رفتار مصرف کننده را توصیف می‌کند، استخراج می‌شود (Wilke et al, ۲۰۱۳). تعداد پژوهش‌های عامل پایه مبتنی بر رویکردهای تصادفی ۴ برابر بیش‌تر رویکردهای قطعی است (Carlucci et al, ۲۰۲۰). مدل‌سازی مهندسی عامل پایه براساس ۲ رویکرد بالا به پایین و پایین به بالا است (Hu et al, ۲۰۱۹). مدل‌های از بالا به پایین بخش ساختمان را به صورت یک کل واحد در نظر می‌گیرند و مصرف انرژی آن را به صورت کلی برآورد می‌کنند. رویکرد از پایین به بالا با در نظر گرفتن ابعاد مدل و داده‌های ورودی، ساختمان شبیه‌سازی شده را به یک منطقه، شهر و یا کل کشور تسری می‌دهد. رویکرد پائین به بالا به صورت ویژه بر روی توسعه تکنولوژی، فعالیت‌های تولید و تقاضای انرژی تمرکز دارد (Wu et al, ۲۰۱۹).

۳. مدل‌سازی؛ مدل عامل پایه: رویکرد رفتاری تصادفی و رویکرد مهندسی پائین به بالا

فرآیند مدل‌سازی رفتاری تصادفی و مهندسی پائین به بالای عامل پایه این پژوهش مطابق شکل ۵ است.



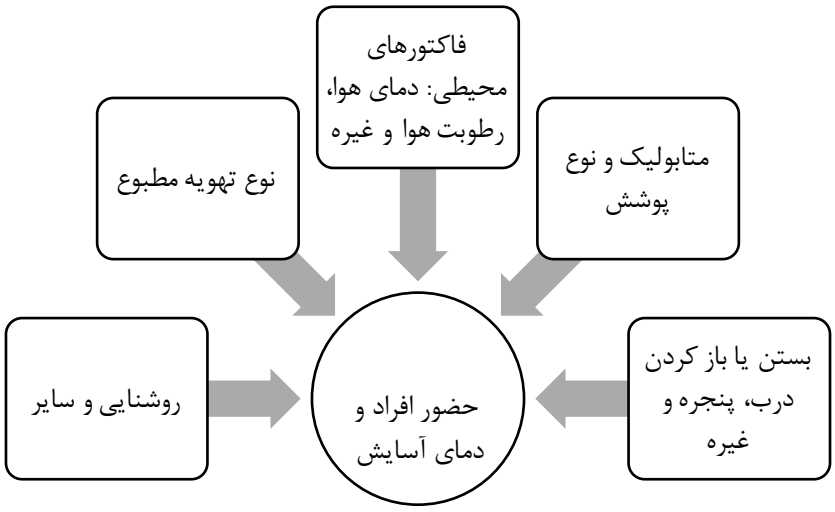
[۳] Deterministic approach
[۴] schedules
[۵] First-order Markov chain techniques
[۶] Time-Use Survey

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

شکل ۵: فرآیند مدل‌سازی رفتاری تصادفی و مهندسی پائین به بالای عامل پایه

۳,۱. پارامترهای رفتاری

تراکم، حضور ساکنین و دمای آسایش مدنظر ایشان به تفکیک تمامی گروه‌های ساختمانی، به عنوان پارامترهای رفتاری مدل در نظر گرفته شده است. شبیه سازی سرمایشی عامل پایه‌ای که حضور افراد را لحاظ کرده با تقریب ۱۰ درصد با حالت واقعی اختلاف دارد (Langevin et al, ۲۰۱۵). در واقع این امر نشان دهنده عملکرد بالای مدل‌های رفتاری است که حضور افراد را در ساختمان بدرستی تشخیص می‌دهند. لازم به ذکر است غالب کنش‌های رفتاری مصرف انرژی سرمایشی در ساختمان به صورت دمای آسایش بروز پیدا می‌کند (شکل ۶). به عنوان مثال آقای هایت و همکاران دمای تنظیم سرمایش و گرمایش (دمای آسایش) را منعکس کننده پارامترهای رفتاری خانوار در نظر گرفته‌اند (Hoyt et al, ۲۰۱۵). در جدول ۳ و ۴ مشخصات پارامترهای رفتاری پژوهش آورده شده است.



شکل ۶: تاثیرپذیری ویژگی‌های رفتاری مصرف انرژی سرمایشی مختلف از حضور افراد و دمای آسایش

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جدول ۳: پارامترهای رفتاری پژوهش

مشخصات مدل	پارامتر		توضیحات
احتمال حضور افراد در خانه	قطعی و تصادفی		بار سرمایشی تابعی از حضور افراد و دمای آسایش است. احتمال حضور افراد در خانه در قالب ماتریس مارکوف و به کمک طرح گذران وقت تابستان سال ۱۳۹۴ استخراج شده است.
تعداد ساکنین به تفکیک گروه‌های ساختمانی جدول ۱	۱ نفر		با توجه به دسترسی آماری به سند "نتایج آمارگیری از مصرف حامل های انرژی وویژگی های محیط زیستی خانوارهای شهری ۱۳۹۵"
	۲ نفر		
	۳ نفر		
	۴ نفر		
	۵ نفر		
	۶ نفر و بیش تر		
دمای آسایش سرمایش به تفکیک گروه‌های ساختمانی جدول ۱	۱۸ درجه سانتی گراد		با توجه به دسترسی آماری به سند "نتایج آمارگیری از مصرف حامل های انرژی وویژگی های محیط زیستی خانوارهای شهری ۱۳۹۵"
	۲۲ درجه سانتی گراد		
	۲۷ درجه سانتی گراد		
	۳۰ درجه سانتی گراد		
تراکم جمعیت در هر متر مربع ساختمان براساس گروه های ساختمانی	۵۰ متر مربع و کمتر	۰,۰۶۵	توسعه توسط نگارنده
	۵۱ تا ۷۵ متر مربع	۰,۰۵	
	۷۶ تا ۸۰ متر مربع	۰,۰۴۱	
	۸۱ تا ۱۰۰ متر مربع	۰,۰۳۸	
	۱۰۱ تا ۱۵۰ متر مربع	۰,۰۲۸	
	۱۵۱ تا ۲۰۰ متر مربع	۰,۰۲	
	۲۰۱ تا ۳۰۰ متر مربع	۰,۰۱۳۸	
	۳۰۱ متر و بیش تر	۰,۰۱۱۵	

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

جدول ۴: تعداد تفرات و تراکم افراد در هر گروه ساختمانی

تعداد نفرات ساکن / گروه های ساختمانی	۱ نفر	۲ نفر	۳ نفر	۴ نفر	۵ تفر	۶ نفر	مجموع	کل متراژ (متر مربع)	تراکم جمعیت در هر متر مربع
۵۰ متر مربع و کمتر	13361	50303	115762	179617	78403	33023	470471	7159486	0/065
۵۱ تا ۷۵ متر مربع	63346	350870	852191	1039407	441192	171929	2918937	58473369	0/05
۷۶ تا ۸۰ متر مربع	15433	108218	192606	288858	124865	74445	804429	19467276	0/041
۸۱ تا ۱۰۰ متر مربع	27397	233474	502502	759694	361697	203676	2088443	54706026	0/038
۱۰۱ تا ۱۵۰ متر مربع	30761	249616	652085	1018710	521648	285132	2757956	97432681	0/028
۱۵۱ تا ۲۰۰ متر مربع	6830	55826	113792	183835	91073	65444	516802	25857202	0/02
۲۰۱ تا ۳۰۰ متر مربع	4700	31812	67539	108698	43132	38353	294236	21328404	0/0138
۳۰۱ متر و بیش تر	1804	15511	23401	19116	18997	25263	104095	9045111	0/0115

۳،۲. تعیین حضور افراد در ساختمان به کمک طرح گذران وقت: رویکرد تصادفی

برای مدل‌سازی رفتاری تصادفی نیاز به پایگاه داده رفتاری افراد با رزولوشن مناسب است (Buttitta & Finn, ۲۰۲۰) که در کشورهای مختلف در قالب طرح گذران وقت توسط دولت ایجاد می‌شود. جز اولین مدل‌های تصادفی مبتنی بر طرح گذران وقت مدل آقای واکر و همکاران (Walker & Pokoski, ۱۹۸۵) است. مدل ریچاردسون

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

نیز که بر اساس طرح گذران وقت سال ۲۰۰۰ در کشور انگلستان توسعه پیدا کرده است الهام بخش پژوهش‌های رفتاری تصادفی در این زمینه بوده است (Richardson et al, ۲۰۰۸). سرشماری طرح گذران وقت که توسط مرکز آمار ایران در سال ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ انجام شده مطابق جدول ۵ است. به دلیل اینکه این مطالعه مربوط به پیک شبکه برق است و این پیک در تابستان اتفاق می‌افتد، داده‌های تابستان ۱۳۹۴ این سرشماری مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول ۵: مشخصات داده‌های پایش شده طرح گذران وقت در پژوهش

ردیف	عنوان	توضیحات
۱	**جامعه هدف**	جامعه‌ی هدف این طرح، شامل تمامی افراد ۱۵ ساله و بیش‌تر در خانوارهای معمولی ساکن و گروهی در مناطق شهری کشور، در فصل‌های پاییز و زمستان سال ۱۳۹۳ و بهار و **تابستان** سال ۱۳۹۴ است
۲	**زمان آماری**	زمان آماری این طرح برحسب مورد، هفته‌ی گذشته یا یک شبانه روز پیوسته در طول هفته‌ی آمارگیری است.
۳	**روش جمع‌آوری اطلاعات**	در این آمارگیری، اطلاعات خانوار مورد نیاز از طریق مصاحبه‌ی رودررو مأمور آمارگیر با مطلع‌ترین عضو خانوار و تکمیل پرسشنامه جمع‌آوری می‌شود. اطلاعات فردی نیز به **شیوه‌ی خود اظهاری از طریق تکمیل پرسشنامه**، توسط هر یک از **افراد ۱۵ ساله و بیش‌تر** خانوارهای نمونه جمع‌آوری می‌شود.
۴	**حجم نمونه**	طرح مذکور طی ۴ فصل در نقاط شهری کشور اجرا شده است. حجم نمونه در کل سال آماری (پاییز و زمستان ۱۳۹۳ و بهار و تابستان ۱۳۹۴) برابر ۱۶۹۱۲ خانوار بوده است. **در فصل تابستان به ۸۲۴۸ فرد که متعلق به ۴۲۲۸ خانوار بوده اند**، مراجعه شده است.
۵	**گام زمانی**	گذران وقت افراد در هر **۱۵ دقیقه** مورد سوال قرار گرفته است.
۶	**فعالیت‌ها**	**تمامی فعالیت‌هائی که فرد در طول شبانه‌روز انجام می‌دهدکه براساس طبقه‌بندی ICATUS[۷] به ۱۵ گروه اصلی تقسیم می‌شود. این ۱۵ گروه نهایتا در ۹ گروه ادغام می-گردند.**
۷	**مکان انجام فعالیت**	**مکان انجام فعالیت در ۲۲ کد** آورده شده است. ۳ کد از این ۲۲ کد نشان‌دهنده حضور افراد در خانه و ۱۹ کد نشان دهنده عدم حضور افراد در خانه است.

۱۵ کد فعالیت و دسته‌بندی آن در ۹ گروه مطابق جدول ۶ صورت پذیرفته است.

جدول ۶: کد فعالیت‌ها و دسته‌بندی آن در گروه‌های مختلف

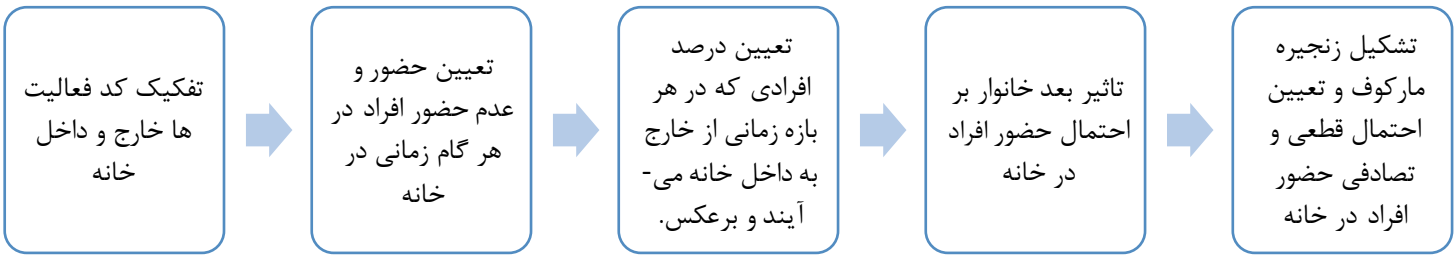
کد	طبقه بندی ICATUS	طبقه‌بندی ادغام شده
۰۱	کار برای شرکت‌ها یا شبه شرکت‌ها، موسسات غیرانتفاعی و دولت(کار در بخش رسمی)	کار و فعالیتهای شغلی (کدهای ۰۱ تا ۰۵)
۰۲	کار برای خانوار در فعالیت‌های تولیدی ابتدایی	

[۷] International Classification of Activities for Time Use Statistics

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۰۳	کار برای خانوار در فعالیت‌های تولیدی غیرابتدایی	
۰۴	کار برای خانوار در فعالیت‌های ساختمانی	
۰۵	کار برای خانوار در ارائه خدمات برای کسب درامد	
۰۶	ارائه خدمات داخلی بدون دستمزد برای مصرف نهایی در خانوار خود	فعالیت‌های خانه‌داری (کد ۰۶ و ۰۷)
۰۷	ارائه خدمات مراقبتی بدون دستمزد به اعضای خانوار	
۰۸	ارائه خدمات به جامعه محلی و کمک به خانوارهای دیگر	فعالیت‌های داوطلبانه و خیریه (کد ۰۸)
۰۹	فراگیری	فعالیت‌های فراگیری (کد ۰۹)
۱۰	مشارکت اجتماعی و جامعه‌پذیری	مشارکت اجتماعی (کد ۱۰)
۱۱	رفتن به مکان‌ها یا بازدید از رویدادهای فرهنگی، تفریحی و ورزشی	تفریح و سرگرمی (کد ۱۱ و ۱۲)
۱۲	سرگرمی‌ها، بازی‌ها و دیگر فعالیت‌های تفریحی	
۱۳	شرکت در ورزش‌های فضای بسته و فضای باز و دوره‌های مرتبط	فعالیت‌های ورزشی (کد ۱۳)
۱۴	استفاده از رسانه‌های جمعی	استفاده از رسانه‌های جمعی (کد ۱۴)
۱۵	نگهداری و مراقبت شخصی	نگهداری و مراقبت شخصی (کد ۱۵)

مدل فرآیندی استخراج آمار حضور/ عدم حضور افراد از داده‌های خام طرح گذران وقت مطابق شکل ۷ است.



شکل ۷: مدل فرآیندی استخراج و پایش داده از طرح گذران وقت

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۳،۳. زنجیره مارکوف

در این پژوهش برای فهم حضور تصادفی افراد در خانه از روش زنجیره مارکوف استفاده شده است. اغلب پژوهش-های با رویکرد تصادفی از روش زنجیره مارکوف استفاده می‌کنند (Carlucci et al, ۲۰۲۰). زنجیره مارکوف[۸] مدلی برای نمایش دنباله‌ای از متغیرهای تصادفی است که در آن احتمال رویداد هر پیشامد فقط به پیشامد قبلی وابسته است[۹]. به این ترتیب احتمال رخداد پیشامدها در چنین مدلی فقط به زمان قبل وابسته بوده و بقیه پیشامدها در میزان احتمال دخالت نمی‌کنند. این گزاره به بیان متغیرهای تصادفی و تابع احتمال به صورت معادله ۱ است.

$$P\ (Xt+۱=x|X۱=x۱,X۲=x۲,\ldots,Xn=xt)=P\ \ (Xt+۱=x|Xt=xt) \qquad (۱)$$

ماتریس زنجیره مارکوف به صورت ماتریس احتمال انتقال[۱۰] قابل نمایش است. در این حالت عناصر ماتریس که به صورت p_{ij} نوشته می‌شوند، احتمال انتقال از نقطه i به j را نشان می‌دهد. به این ترتیب ماتریس انتقال ناظر به مقادیر مربوط به مجموعه فضای حالت است. در پژوهش حاضر فضای حالت دارای ۲ عنصر و مطابق معادله ۲ است. ماتریس احتمال انتقال نیز مطابق معادله ۳ است.

$$S=\{۱,۲\}=\{\text{عدم حضور در ساختمان، حضور در ساختمان}\} \qquad (۲)$$

$$P_{ij}=\begin{bmatrix} P_{۱۱} & P_{۱۲} \\ P_{۲۱} & P_{۲۲} \end{bmatrix} \qquad (۳)$$

البته در این ماتریس با توجه به اصول احتمال باید $\sum_{J=۱}^{K} P_{ij} = ۱$ باشد. یعنی مجموع احتمالات هر سطر در ماتریس باید برابر با ۱ باشد. بطور کلی در زنجیره مارکوف، احتمال اینکه از وضعیت i به j در گام nام برسیم به صورت $p_{ij}^{(n)}$ مطابق معادله ۴ نشان داده می‌شود.

$$\boldsymbol{P_{ij}^{(n)} = \sum_{r\epsilon s} P_{ir}^{(K)}\ P_{rj}^{(n-k)}\ \cdot \forall K \cdot ۰ < K < n} \qquad (۴)$$

[۸] Markov Chain
[۹] http://mathworld.wolfram.com/MarkovChain.html.
[۱۰] Transition Probability Matrix

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

در حقیقت اگر بخواهیم احتمال گذر از یک نقطه و رسیدن به نقطه‌ای دیگر از فضای حالت را در n گام محاسبه کنیم باید ماتریس انتقال فرآیند را n بار در خودش ضرب کنیم. برای مثال اگر قرار باشد احتمال اینکه در یک گام از نقطه i به j برسیم را محاسبه کنیم از احتمال شرطی زیر استفاده خواهیم کرد (معادله ۵).

$$P_{ij}=P\ (X^{۱}=j|X^{۰}=i) \qquad (۵)$$

انجام این کار در طی n گام برای یک زنجیره مارکوف همگن-زمان، نیز به شکل زیر نوشته می‌شود (معادله ۶).

$$p^{(n)}_{ij}=Pr(X_{k+n}=j|X_k=i) \qquad (۶)$$

گام زمانی انتقال در این پژوهش ۱۵ دقیقه است و به کمک زنجیره مارکوف باید ماتریس احتمال انتقال برای هر گام زمانی مشخص شود. نمونه‌ای از یک گام زنجیره مارکوف بدون در نظر گرفتن بعد خانوار و با در نظر گرفتن بعد خانوار (جدول ۴) مطابق جدول ۷ و ۸ است.

جدول ۷: یک گام از زنجیره مارکوف بدون در نظر گرفتن بعد خانوار

رزولوشن	حالت	تعداد	احتمال قطعی	حالت بعد	تعداد	احتمال	احتمال تصادفی
00:15	حضور	8191	99/30892338	حضور	8186	99/93896	0/99248303
				عدم حضور	5	0/061043	
	عدم حضور	57	0/691076625	حضور	0	0	0/00751697
				عدم حضور	57	100	

جدول ۸: یک گام از زنجیره مارکوف با در نظر گرفتن بعد خانوار

رزولوشن	احتمال حضور حداقل یک نفر در خانه (دترمینیستیک)	احتمال حضور حداقل یک نفر در خانه (استوکستیک)
00:15	0/999967728	0/999357322

۳،۴. مدل پائین به بالا

در جدول ۹ مشخصات مدل پائین به بالا استفاده شده برای شبیه سازی پیک بار سرمایشی آورده شده است. با توجه به داده‌های سامانه داده نمای شهرداری تهران[۱۱]، در پایتخت ایران بیش از ۲ میلیون و ۸۶۷ هزار منزل

[۱۱] data.tehran.ir

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

مسکونی در ۸ گروه ساختمانی وجود دارد که از این حیث بیش‌ترین سهم را در پیک بار سرمایشی شبکه دارد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶). در این شبیه‌سازی از هسته محاسباتی انرژی پلاس به واسطه رابط کاربری دیزاین بیلدر استفاده شده است. این هسته محاسباتی به صورت منبع باز[۱۲] توسط وزارت انرژی آمریکا[۱۳] توسعه داده شده است (Field et al, ۲۰۱۰). استاندارد اشری ۹۰,۱[۱۴] به عنوان حالت پایه شبیه‌سازی نسخه‌های جدید (۲۰۱۷ به بعد) هسته محاسباتی انرژی پلاس مورد استفاده قرار گرفته است (Abushakra et al, ۲۰۰۱). بار سرمایشی شبیه‌سازی شده با در نظر گرفتن تجهیزات سرمایشی رایج در کشور مطابق داده‌های مرکز آمار ایران (پیوست) به بار الکتریکی تبدیل شده است. روش تسری مدل پائین به بالا، روش الگوبرداری است. در جدول ۹ مشخصات مدل پائین به بالا پژوهش آورده شده است.

جدول ۹: مشخصات مدل پائین به بالا

مشخصات مدل	پارامتر	توضیحات
سایت شبیه سازی	شهر تهران	با توجه به داده های هواشناسی شهر تهران در پایگاه داده نرم افزار دیزاین بیلدر
نوع ساختمان	آپارتمان ۳ طبقه	طبقه اول و طبقه سوم متناظر با طبقات اول و نهائی هر ساختمان و طبقه دوم به عنوان طبقات میانی ساختمان ها
هسته محاسباتی	انرژی پلاس	استفاده از رابط گرافیکی دیزاین بیلدر ۶,۱,۴,۰۰,۷
جهت ساختمان	۲۰ درجه زاویه با جهت شمال	جهت غالب ساختمان های تهران
ضریب سرمایش ساختمان	۹۶,۱ درصد	۹۶/۱درصد زیربنای ساختمان ها در تهران خنک می شوند.
گام های زمانی شبیه سازی	۱۵ دقیقه	
حالت پایه شبیه سازی	استاندارد اشری ۹۰,۱	مطابق با حالت پایه نرم افزار دیزاین بیلدر
مصالح ساختمان	آجر و آهن و سایر مصالح معمول در قسمت داخلی ساختمان	براساس سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵
تکنولوژی سرمایشی	تکنولوژی‌های رایج	"نتایج آمارگیری از مصرف حامل‌های انرژی و ویژگی‌های محیط زیستی خانوارهای شهری ۱۳۹۵"

[۱۲] Open source
[۱۳] Department of Energy (DOE)
[۱۴] Ashrae ۹۰,۱

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

روش تسری مدل	الگوبرداری	این روش بخش ساختمان را به گروه هایی بر اساس مشابهت های زیربنایی، اندازه ای، مصالح به کار رفته و دیگر موارد تقسیم بندی می کند. انرژی برآورد شده برای نماینده هر گروه که تعداد قابل توجهی را دارا است به عنوان نماینده مصرف انرژی منطقه و یا کل بخش ساختمان تعمیم داده می شود.
گروه های 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 ۱۷۵متر
	۲۰۱ تا ۳۰۰ متر مربع	ساختمان نمونه: متراژ ۲۵۰ متر
	۳۰۱ متر و بیش تر	ساختمان نمونه: متراژ ۳۰۰ متر

۳,۵. سناریوها

در این قسمت ۳ سناریو در زمینه دمای آسایش و تاثیر هر کدام از آن‌ها در بار الکتریکی سرمایشی پیک شبکه برق مورد بررسی قرار گرفته است.

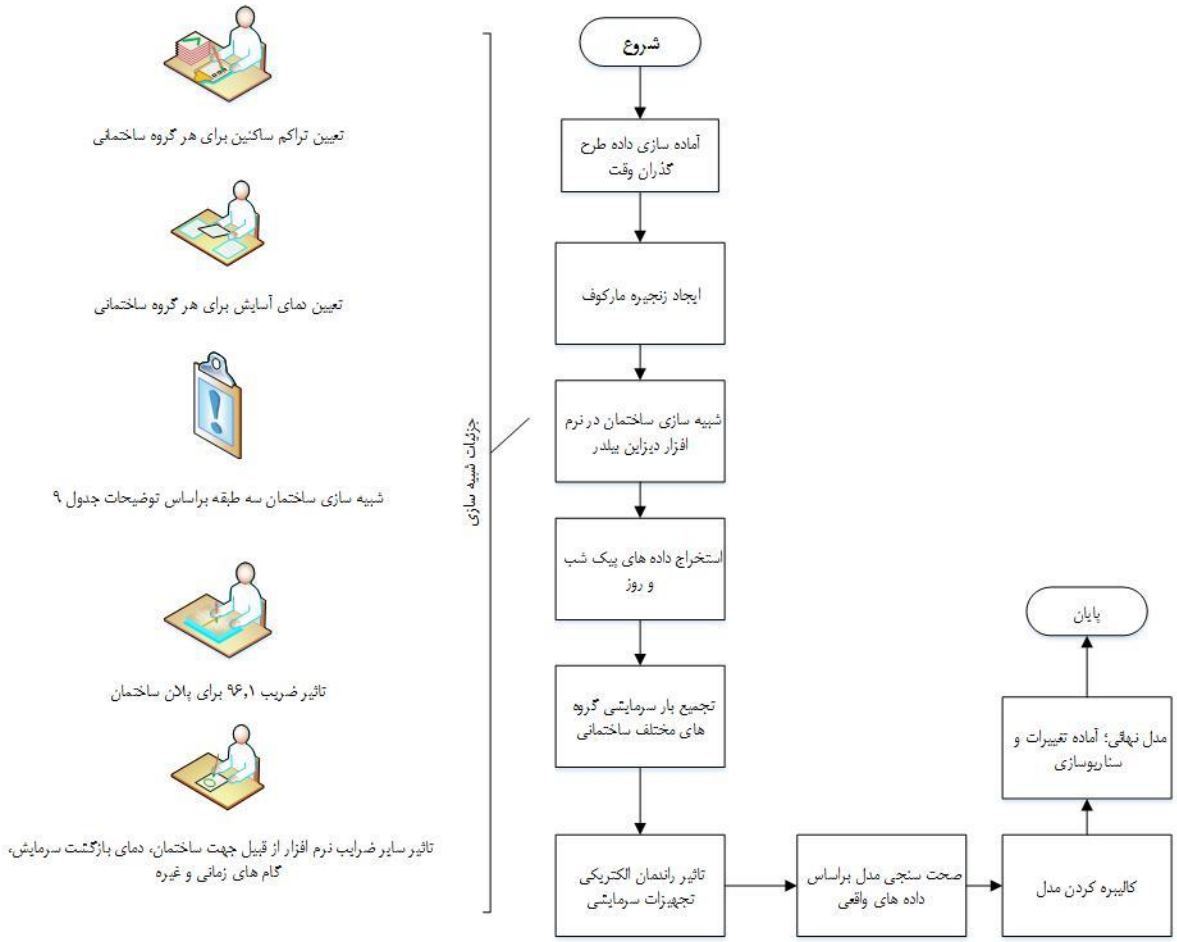
سناریو ایده آل: دمای آسایش ایده آل شهر تهران حدود ۲۷ درجه سانتی گراد است (حیدری، ۱۳۸۸). ۲۳ درصد (درصد پراکندگی کولرهای گازی، چیلرهای جذبی و تراکمی؛ کولرهای آبی قابلیت تنظیم دما را ندارند) از ساختمان‌های با دمای آسایش ۱۸، ۲۲ و ۳۰ درجه سانتی گراد، دمای آسایش خود را در ۲۷ درجه تنظیم می‌کنند.

سناریو اتاق سرد: ۲۳ درصد (درصد پراکندگی کولرهای گازی، چیلرهای جذبی و تراکمی؛ کولرهای آبی قابلیت تنظیم دما را ندارند) از ساختمان‌های با دمای آسایش ۱۸، ۲۷ و ۳۰ درجه سانتی گراد، دمای آسایش خود را در ۲۲ درجه تنظیم می‌کنند.

سناریو یخچال: ۲۳ درصد (درصد پراکندگی کولرهای گازی، چیلرهای جذبی و تراکمی؛ کولرهای آبی قابلیت تنظیم دما را ندارند) از ساختمان‌های با دمای آسایش ۲۲، ۲۷ و ۳۰ درجه سانتی گراد، دمای آسایش خود را در ۱۸ درجه تنظیم می‌کنند.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

در شکل ۸ فلوچارت شبیه‌سازی پژوهش با ذکر جزئیات ترسیم شده است.



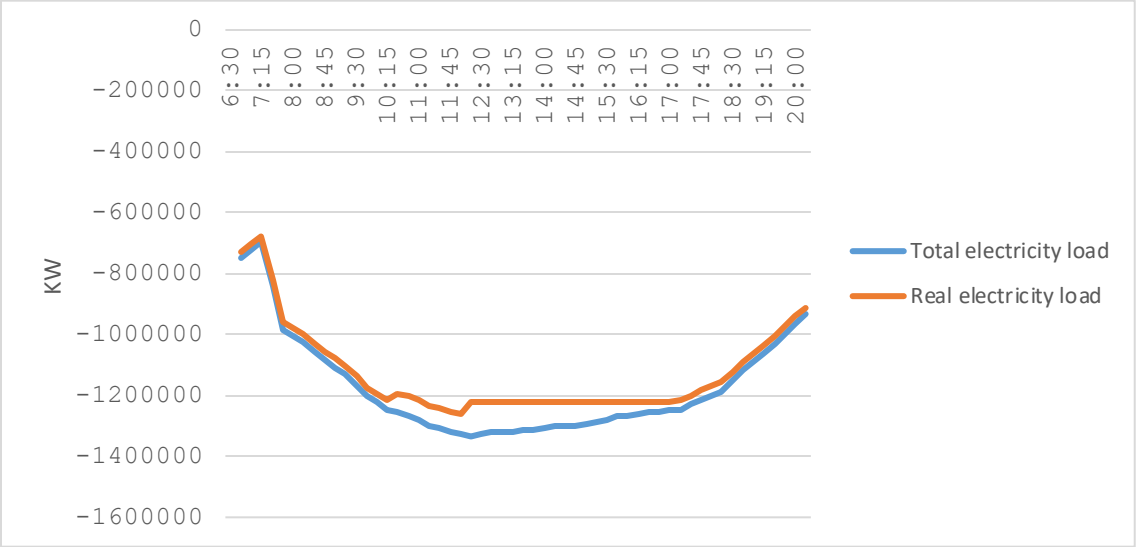
شکل ۸: فلوچارت مدل‌سازی پژوهش

۴. نتایج

۴،۱. صحت سنجی مدل

مطابق شکل ۹ نتایج حالت پایه مدل نشان دهنده این است که بار الکتریکی مدل در روز پیک، بین ۲ تا ۸ درصد با حالت واقعی اختلاف دارد که تطابق قابل قبولی است (البته سهم بخش مسکونی از پیک مدل شده است).

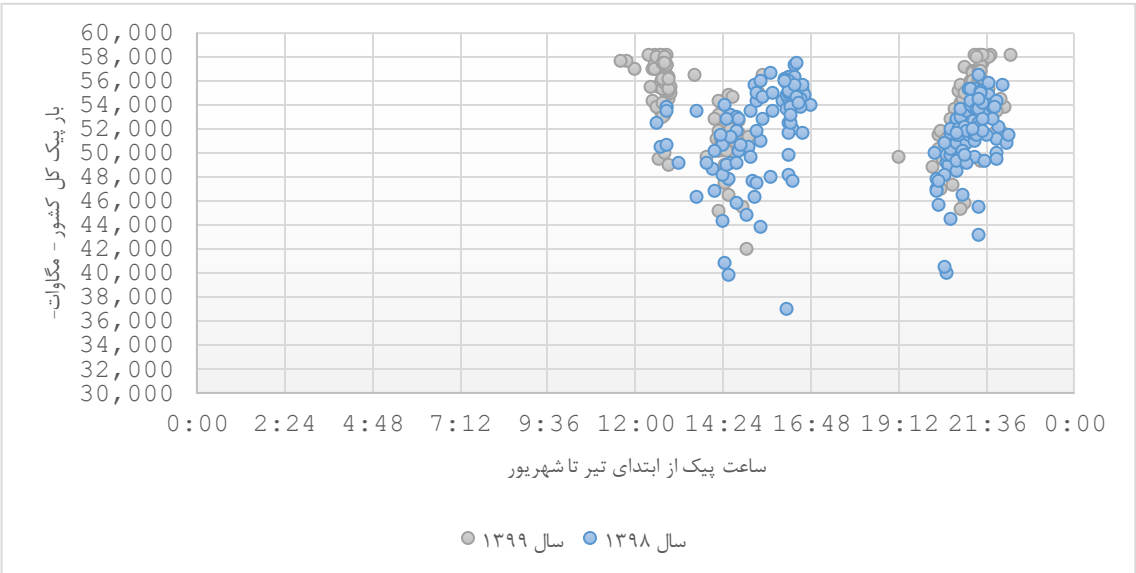
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۹: صحت سنجی مدل: مقایسه بار الکتریکی واقعی و بارالکتریکی شبیه‌سازی شده در مدل

۴,۲. نتایج حالت پایه

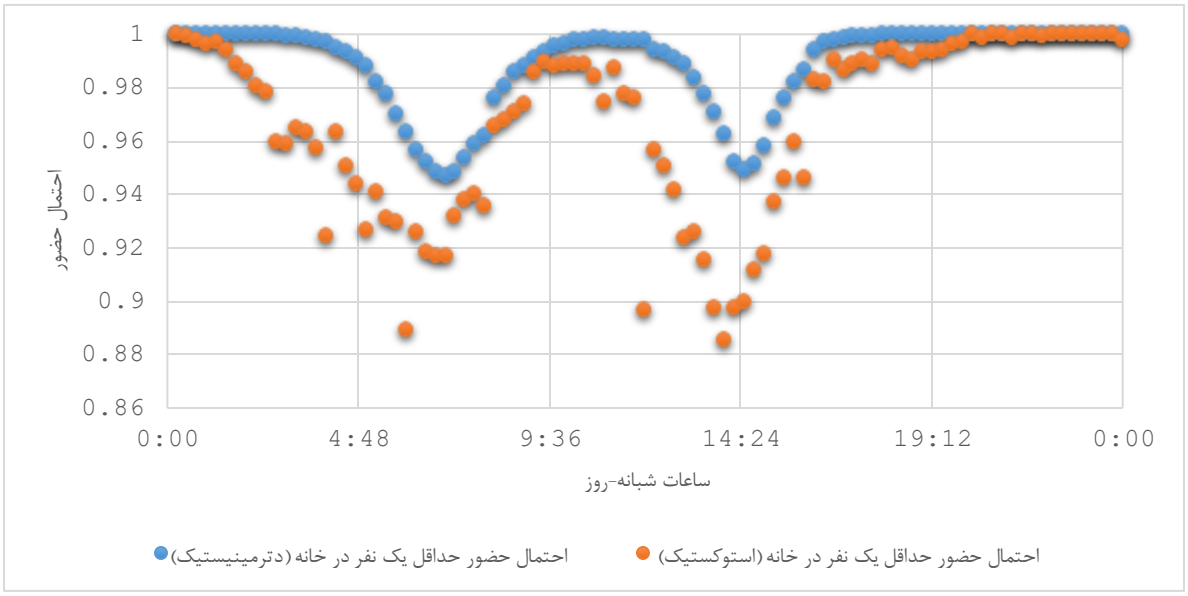
پراکندگی ساعت‌های پرمصرف برق در روز و شب در طول تابستان سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ مطابق شکل ۱۰ است. پراکندگی ساعات پیک شب تابستان سال ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹ شبیه هم و بین ساعات ۲۰ تا ۲۲ و بیش‌تر متمرکز در حدود ساعت ۲۱:۳۰ دقیقه است. پیک روز در تابستان ۱۳۹۸ بین ساعت ۱۴ تا ۱۶:۵۰ است این در صورتی است که در سال ۱۳۹۹ بیش‌تر ساعات پیک تابستان حدود ساعت ۱۲ و ۱۴:۳۰ ظهر بوده است. در واقع پیک روز در تابستان ۱۳۹۹ نسبت به سال ۱۳۹۸، ۲ ساعت برگشت به عقب داشته است.



شکل ۱۰: پراکندگی ساعات پیک روز و شب تابستان ۹۸ و ۹۹

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

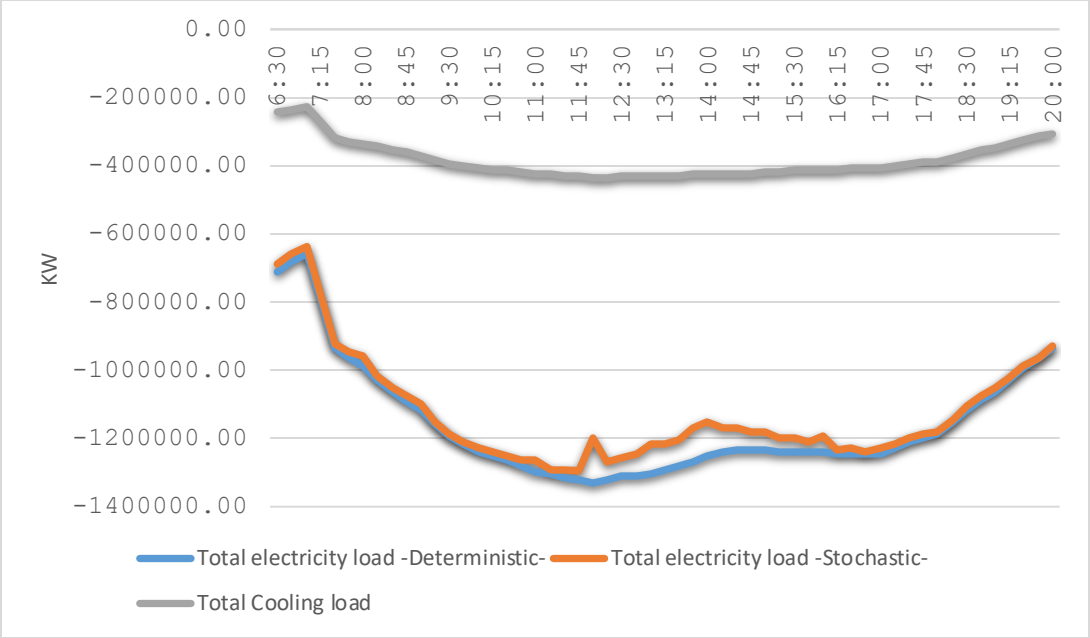
احتمال تصادفی و قطعی حضور افراد در ساختمان مطابق شکل ۱۱ است. بیش‌ترین اختلاف احتمال حضور حداقل یک نفر در خانه، در حالت تصادفی با حالت قطعی ۵ درصد است که در ساعت ۱۴:۲۴ رخ می‌دهد. از ساعت ۱۲ بامداد تا ۷:۱۲ اختلاف احتمال تصادفی و واقعی بین ۲ تا ۳ درصد است. بین ساعات ۱۰ تا ۱۵ اختلاف احتمال تصادفی و واقعی تقریبا ۲ درصد است. از ساعت ۱۶:۴۸ تا ۱۲ بامداد، اختلاف احتمال تصادفی و واقعی حضور افراد رو به کاهش و به سمت صفر پیش می‌رود.



شکل ۱۱: احتمال تصادفی و قطعی حضور افراد در ساختمان

در حدود ساعات ۱۲ تا ۱۴ بیش ترین انعطاف رفتاری در زمینه کاهش پیک وجود دارد (شکل ۱۲). بنابراین یک راهبرد در زمینه پیک سائی هدایت زمان پیک به این ساعات است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۱۲: مصرف برق در حالت پایه و مقایسه بار الکتریکی تصادفی و قطعی (پیک روز)

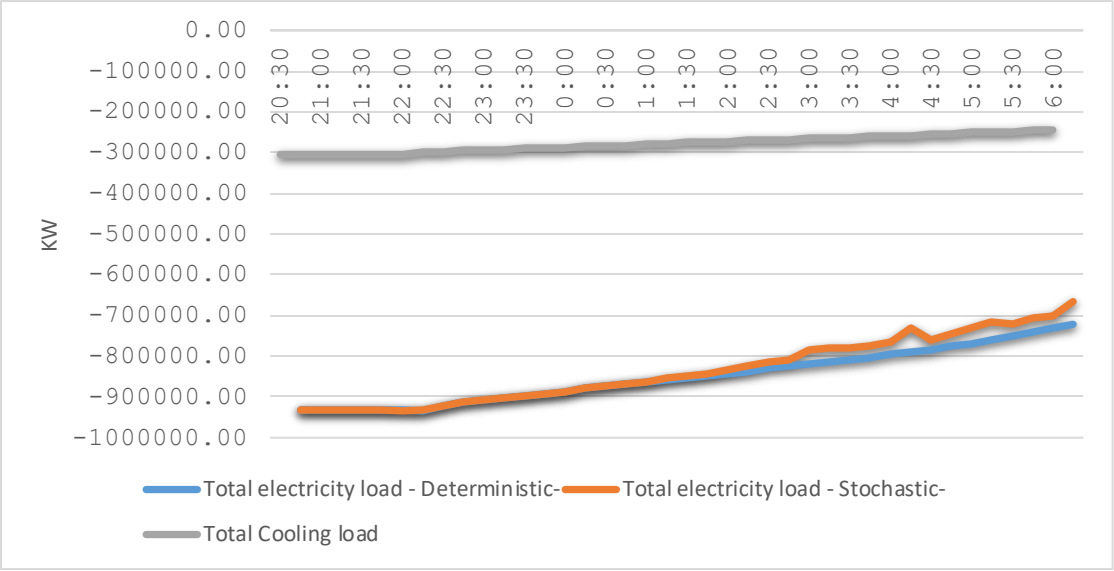
از ساعت ۱۱ تا ۱۷ پتانسیل انعطاف رفتاری مصرف انرژی سرمایشی خانوار بین ۷۰ تا ۱۳۴ مگاوات است که تقریبا برابر با ۱۰ درصد پیک سرمایشی شبکه برق شهر تهران می‌باشد.

جدول ۱۰: پتانسیل انعطاف رفتاری مصرف انرژی سرمایشی به تفکیک گروه‌های مختلف ساختمانی (پیک روز)

گروه‌های ساختمانی	متوسط پتانسیل انعطاف رفتاری- مگاوات-	بازه زمانی	بیشینه پتانسیل انعطاف رفتاری -مگاوات-	نقطه زمانی
۵۰ متر مربع و کمتر	حدود ۴,۳	۱۲ تا ۱۶:۱۵	۵,۸	۱۳:۳۰
۵۱ تا ۷۵ متر مربع	حدود ۲۵,۴	۱۱ تا ۱۶:۳۰	۳۹	۱۲
۷۶ تا ۸۰ متر مربع	حدود ۵,۳	۱۰:۳۰ تا ۱۷	۸,۷۵	۱۲
۸۱ تا ۱۰۰ متر مربع	حدود ۱۴	۱۰:۳۰ تا ۱۶:۴۵	۲۷	۱۲
۱۰۱ تا ۱۵۰ متر مربع	حدود ۱۸	۱۰:۴۵ تا ۱۶:۱۵	۳۴	۱۲
۱۵۱ تا ۲۰۰ متر مربع	حدود ۶,۸	۱۰:۴۵ تا ۱۶:۴۵	۱۲,۵	۱۲
۲۰۱ تا ۳۰۰ متر مربع	حدود ۱,۵	۱۰:۳۰ تا ۱۸	۳,۱	۱۲
۳۰۱ متر و بیش تر	حدود ۰,۸	۱۰:۴۵ تا ۱۶:۴۵	۱,۴	۱۲

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

از ساعت ۱:۴۵ تا ۶ بامداد پتانسیل انعطاف رفتاری مصرف انرژی سرمایشی خانوار حدود ۵۰ تا ۶۵ مگاوات پیک است (شکل ۱۳ و جدول ۱۱) که تقریبا برابر با ۵ درصد پیک سرمایشی شبکه برق شهر تهران می‌باشد.



شکل ۱۳: مصرف برق در حالت پایه و مقایسه بار الکتریکی تصادفی و قطعی (پیک شب)

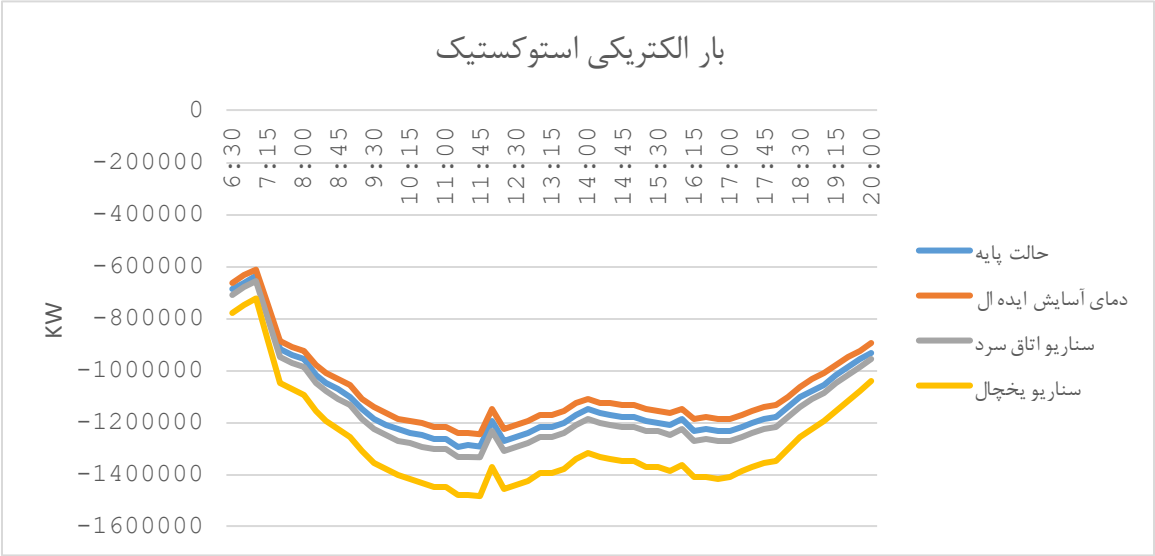
جدول ۱۱: پتانسیل انعطاف رفتاری مصرف انرژی سرمایشی به تفکیک گروه‌های مختلف ساختمانی (پیک شب)

گروه‌های ساختمانی	متوسط پتانسیل انعطاف رفتاری- مگاوات-	بازه زمانی	بیشینه پتانسیل انعطاف رفتاری -مگاوات-	نقطه زمانی
۵۰ متر مربع و کمتر	حدود ۱,۲	۱:۴۵ تا ۶	۲,۹	۴:۱۵
۵۱ تا ۷۵ متر مربع	حدود ۱۵,۲	۲ تا ۶	۱۷,۲	۴:۳۰
۷۶ تا ۸۰ متر مربع	حدود ۰,۶۵	۲ تا ۶	۲,۸	۴:۳۰
۸۱ تا ۱۰۰ متر مربع	حدود ۵	۱:۴۵ تا ۶	۱۱,۲	۴:۱۵
۱۰۱ تا ۱۵۰ متر مربع	حدود ۷	۱:۴۵ تا ۶	۱۶,۳	۴:۱۵
۱۵۱ تا ۲۰۰ متر مربع	حدود ۱,۱	۲ تا ۶	۲,۸	۴:۱۵
۲۰۱ تا ۳۰۰ متر مربع	حدود ۰,۹	۱:۴۵ تا ۶	۱,۹	۴:۱۵
۳۰۱ متر و بیش تر	حدود ۰,۲	۲:۴۵ تا ۶	۰,۶	۴:۱۵

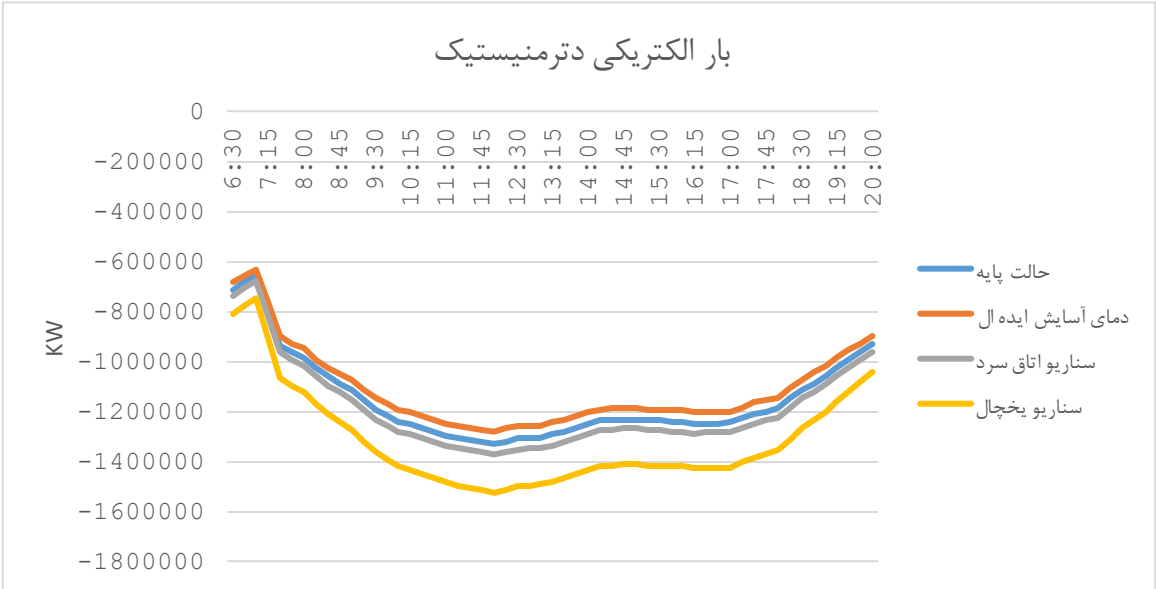
[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۴،۳. نتایج سناریوها

پیک بار سرمایشی در سناریو یخچال ۱،۴۸ هزار مگاوات و در سناریو ایده آل ۱،۲۴ هزار مگاوات به ترتیب بیشترین و کم‌ترین پیک بار سرمایشی در شهر تهران برآورد می‌شود. فاصله ۲۰۰ مگاواتی این ۲ سناریو حاکی از پتانسیل بالای کاهش پیک شبکه برق شهر تهران صرفا با تنظیم دمای آسایش است. بیشینه اختلاف بار الکتریکی استوکستیک و دترمنیستیک در سناریو یخچال ۱۵۰ مگاوات و در سناریو ایده آل ۱۳۰ مگاوات است که این امر نشان دهنده انعطاف مصرف انرژی سرمایشی مبتنی بر حضور افراد در ساختمان، در سناریوهای مختلف است. شبیه به همین در سناریوهای مربوط به پیک شب اتفاق افتاده است.

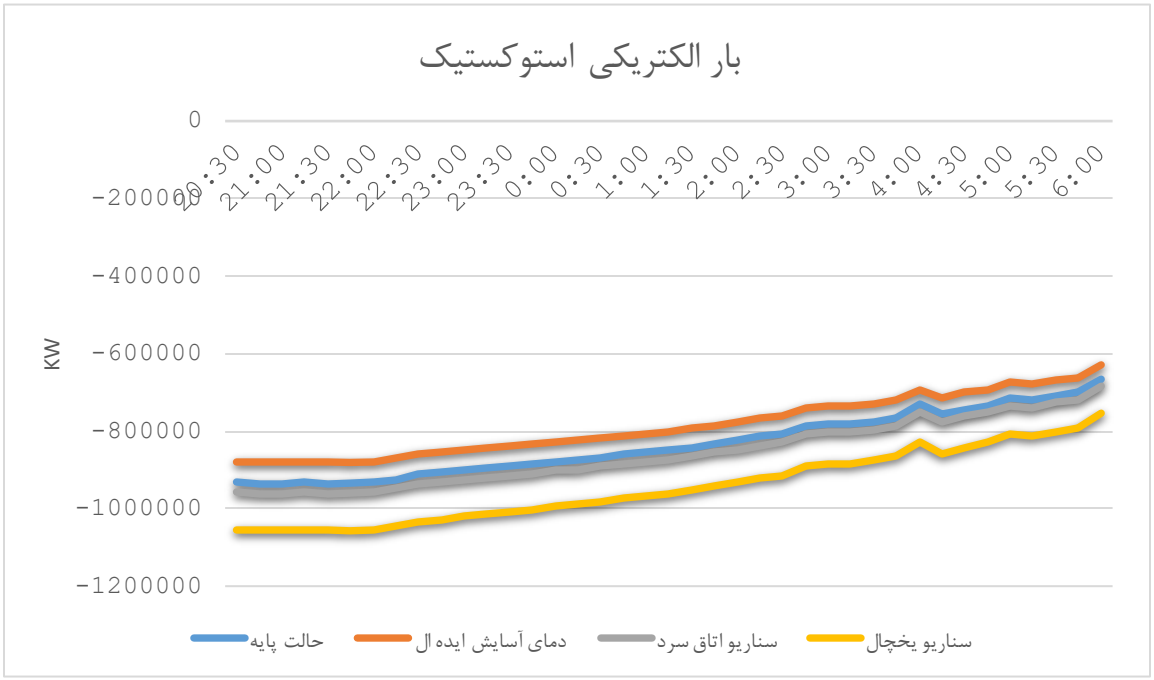


شکل ۱۴: مقایسه بار الکتریکی تصادفی ناشی از سناریوهای مختلف (پیک روز)

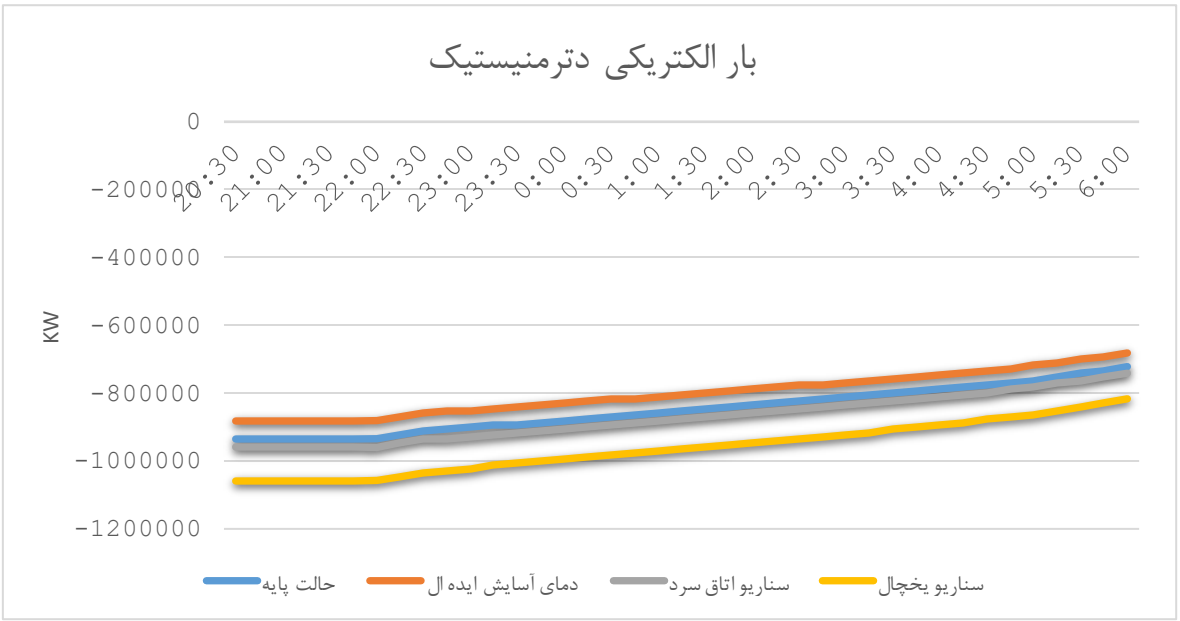


شکل ۱۵: مقایسه بار الکتریکی قطعی ناشی از سناریوهای مختلف (پیک روز)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]



شکل ۱۶: مقایسه بار الکتریکی تصادفی ناشی از سناریوهای مختلف (پیک شب)



شکل ۱۷: مقایسه بار الکتریکی قطعی ناشی از سناریوهای مختلف (پیک شب)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۵. جمع‌بندی

این پژوهش با مدل‌سازی رفتاری تصادفی و شبیه‌سازی پائین به بالای مهندسی بار سرمایشی الکتریکی بخش مسکونی شهر تهران در لحظه پیک شبکه برق را شبیه سازی کرده است. تراکم، حضور ساکنین و دمای آسایش مدنظر ایشان به تفکیک تمامی گروه‌های ساختمانی، به عنوان پارامترهای رفتاری مدل در نظر گرفته شده است. حضور تصادفی و قطعی افراد براساس داده‌های خام سرشماری طرح گذران وقت مرکز آمار ایران در تابستان ۱۳۹۴ که از میان ۴۲۲۸ خانوار صورت پذیرفته، به کمک روش زنجیره مارکوف برای هر گام زمانی ۱۵ دقیقه مدل شده است. از هسته محاسباتی انرژی پلاس (رابط کاربری دیزاین بیلدر) برای توسعه مدل پائین به بالا استفاده گردیده است. در این پژوهش سناریوهائی مبتنی بر دمای آسایش خانوار توسعه داده شده است. پیشنهادات سیاستی این پژوهش به شرح ذیل است:

- نتایج این پژوهش نشان دهنده این است که در حدود ساعات ۱۲ تا ۱۴ بیش ترین انعطاف رفتاری در زمینه کاهش پیک وجود دارد. بنابراین یک راهبرد در زمینه پیک سائی هدایت زمان پیک به این ساعات است.
- از ساعت ۱۱ تا ۱۷ بین ۷۰ تا ۱۳۴ مگاوات پتانسیل انعطاف رفتاری کاهش پیک شبکه برق وجود دارد که تقریبا برابر با ۱۰ درصد پیک سرمایشی شبکه برق شهر تهران است. این مقدار مدیریت انرژی برق برابر با ۶۵ میلیون دلار ایجاد ظرفیت نیروگاهی جدید است. با تسری این کاهش ۱۰ درصدی به کل کشور، حدود ۶ هزار مگاوات (معادل ۳ میلیارد دلار ایجاد ظرفیت نیروگاهی جدید) پیک شبکه کشور کاهش یافته و بحران خاموشی به راحتی قابل کنترل است.
- این پژوهش ضمن برآورد انعطاف رفتاری کاهش پیک شبکه برق (۱۰ درصد پیک) و مدل‌سازی مصرف انرژی مبتنی بر پارامترهای رفتاری با گام زمانی ۱۵ دقیقه، ابزار توانمندی برای مدیریت و کنترل پیک شبکه برق برای سیاست‌گذاران ایجاد کرده است. توسعه چنین مدل‌های کمیِ مسائل سیاستی کشور، منجر به تصمیم‌گیری دقیق‌تر و کم‌هزینه‌تر در نظام سیاست‌گذاری کشور می‌شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

۶. منابع

احمدی معین، ملکی عباس، ودادی کلانتر سعید (۱۳۹۶). "برآورد میزان صرفه‌جویی انرژی در صورت جایگزینی کولرهای آبی برچسب A در بخش ساختمان شهر تهران (مسکونی)" فصلنامه پژوهش های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی ۳ (۹) :۵۷-۷۴

آزاد، قریشی و امیدی (۱۳۹۷). " ارزیابی ابعاد بحران تأمین برق تابستان و راهکارهای مقابله با آن" مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.

حلیمی, قمر و احمدرضا توکلی (۱۳۹۴). "مطالعه و بررسی تاثیر بار سرمایش در پیک مصرف برق کشور" اولین کنگره ملی طراحی نوین مهندسی با رویکرد توسعه پایدار و حفظ محیط زیست، سمنان، بنیاد ملی آرمان روشن

حیدری، شاهین (۱۳۸۸). "دمای آسایش حرارتی مردم شهر تهران" نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی.

Abushakra, B., Sreshthaputra, A., Haberl, J. S., & Claridge, D. E. (۲۰۰۱). Compilation of Diversity Factors and Schedules for Energy and Cooling Load Calculations, ASHRAE Research Project ۱۰۹۳-RP, Final Report.

Azar, E., & Menassa, C. (۲۰۱۰). A conceptual framework to energy estimation in buildings using agent based modeling. Paper presented at the Proceedings of the ۲۰۱۰ Winter Simulation Conference.

Azar, E., Papadopoulos, S., & Dhabi, A. (۲۰۱۷). Human Behavior and Energy Consumption in Buildings: An Integrated Agent-Based Modeling and Building Performance Simulation Framework. Paper presented at the Proceedings of the ۱۵th IBPSA Conference, San Francisco, USA.

Barakat, M., & Khoury, H. (۲۰۱٦). An agent-based framework to study occupant multi-comfort level in office buildings. Paper presented at the ۲۰۱٦ Winter Simulation Conference (WSC).

Buttitta, G., Finn, D. P. J. E., & Buildings. (۲۰۲۰). A high-temporal resolution residential building occupancy model to generate high-temporal resolution heating load profiles of occupancy-integrated archetypes. ۲۰٦, ۱۰۹۵۷۷.

Carlucci, S., De Simone, M., Firth, S. K., Kjærgaard, M. B., Markovic, R., Rahaman, M. S., ... & van Treeck, C. (۲۰۲۰). Modeling occupant behavior in buildings. *Building and Environment*, ۱۰٦۷٦۸.

Field, K., Deru, M., & Studer, D. (۲۰۱۰). Using DOE commercial reference buildings for simulation studies (No. NREL/CP-۵۵۰-٤۸۵۸۸). National Renewable Energy Lab.(NREL), Golden, CO (United States).

Hoyt, T., Arens, E., & Zhang, H. (۲۰۱۵). Extending air temperature setpoints: Simulated energy savings and design considerations for new and retrofit buildings. Building and Environment, ۸۸, ۸۹-۹٦.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

Hu, S., Yan, D., & Qian, M. (۲۰۱۹). Using bottom-up model to analyze cooling energy consumption in China's urban residential building. Energy and Buildings, ۲۰۲, ۱۰۹۳۵۲.

IEA. (۲۰۱۸). The Future of Cooling

Retrieved from Paris, https://www.iea.org/reports/the-future-of-cooling:

Papadopoulos, S., Azar, E. J. E., & Buildings. (۲۰۱٦). Integrating building performance simulation in agent-based modeling using regression surrogate models: A novel human-in-the-loop energy modeling approach. ۱۲ .۲۲۳-۲۱٤ ,۸

Richardson, I., Thomson, M., & Infield, D. (۲۰۰۸). A high-resolution domestic building occupancy model for energy demand simulations. Energy and buildings, ٤۰(۸), ۱٥٦۰-۱٥٦٦.

Walker, C. F., Pokoski, J. L. J. I. T. o. P. A., & Systems. (۱۹۸٥). Residential load shape modelling based on customer behavior. (۷), ۱۷۰۳-۱۷۱۱.

Wilke, U., Haldi, F., Scartezzini, J. L., & Robinson, D. (۲۰۱۳). A bottom-up stochastic model to predict building occupants' time-dependent activities. Building and Environment, ٦۰, ۲٥٤-۲٦٤.

Wu, Y. H., Liu, C. H., Hung, M. L., Liu, T. Y., & Masui, T. (۲۰۱۹). Sectoral energy efficiency improvements in Taiwan: Evaluations using a hybrid of top-down and bottom-up models. Energy Policy, ۱۳۲, ۱۲٤۱-۱۲٥٥.

Zhang, T., Siebers, P.-O., & Aickelin, U. J. A. a. S. (۲۰۱۰). Modelling office energy consumption: An agent based approach.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]

Blackout Crisis Policy Research: Agent base Stochastic modeling of electricity consumption in Tehran

Abstract

Increasing the peak of electricity network in summer leads to power outages in industries and residential sectors, the most obvious example of which was power outages in the summer of ۲۰۱۸. Due to the high cost of power plant capacity development ($ ۵۰۰ per kilowatt), demand-side management is the most important strategy to reduce the grid peak. In this study, the effect of behavioral parameters in reducing the peak of the power grid with the help of bottom-up modeling has been identified. Behavioral simulation in this study has been performed with the help of time use data of the Statistics Center of Iran. In this plan, ٤٢٢٨ urban households have been surveyed and the quality of people's behavior in each time step of ۱۵ minutes during the day and night has been determined with ۲ deterministic and stochastic approaches. In the stochastic approach, the Markov chain method is used. In this study, scenarios based on household comfort temperature have been developed. The results of the present study indicate that with the flexibility of cooling electricity consumption due to the presence of people in the house and the desired comfort temperature, it is possible to reduce the peak of the electricity network between ۷۰ and ۱۳٤ MW (equivalent to $ ٦۵ million to build new power plant capacity). It is equal to ۱۰٪ of the cooling peak of Tehran electricity network. With the spread of this ۱۰٪ reduction to the whole country, about ٦,۰۰۰ MW (equivalent to $ ۳ billion to create a new power plant capacity) the country's peak network has been reduced and the blackout crisis can be easily controlled.

Keywords: Behavioral modeling, Bottom-up modeling, Stochastic approach, Power grid peak, Power outage crisis

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-11-10]