

تأثیر اقلیم بر میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی در بخش گرمایش ساختمان‌های آموزشی دانشگاه‌ها در صورت برنامه‌ریزی آموزشی بهینه

امیرحسین فتحی^{۱*}، حسین یوسفی^۲، محمد صالحی^۳، لاله قهرمانی^۴، کیانوش چوبینه^۵ و کیانوش زارعی^۶

۱. استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز

۲. دانشیار، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

۳. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی انرژی، دانشگاه صنعتی شریف، تهران

۴. دانش‌آموخته مقطع کارشناسی ارشد مهندسی نفت اکتشاف، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان

۵. دانشجوی مقطع دکتری، دانشکده علوم و فنون نوین، دانشگاه تهران، تهران

۶. دانشجوی مقطع کارشناسی، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تهران، تهران

(تاریخ دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۰۱؛ تاریخ بازنگری ۱۴۰۰/۱۲/۱۲؛ تاریخ تصویب ۱۴۰۱/۰۱/۲۷)

چکیده

این مقاله به تأثیر برنامه‌ریزی بهینه درسی دانشگاهی بر میزان کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش در اقلیم‌های مختلف می‌پردازد. با اصلاح زمان برگزاری هر درس طی هفته مقید به تمام قیود آموزشی، امکان حضور اساتید، تعداد کلاس‌ها و قوانین اختصاصی هر دانشگاه می‌توان تا حدی کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های کلاسی را تجربه کرد. از آنجا که عموماً دانشگاه‌ها در شهرها قرار گرفته‌اند، همچنین درصد قابل توجهی از ساختمان‌های کشور ایران به‌خصوص ساختمان‌های آموزشی دانشگاه‌ها با استفاده از گاز طبیعی گرم می‌شوند. از این‌رو، این کاهش مصرف انرژی، همراه با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح شهرها است. برنامه‌ریزی بهینه آموزشی می‌تواند کاهش تقاضا را به ارمغان آورد. راهکار مرسوم اصلاح برنامه‌ریزی آموزشی برای کاهش مصرف انرژی، تغییر زمان شروع و پایان هر ترم با حفظ زمان ارائه دروس در ساعات‌های مشخص پیشین یا تغییر دمای اتاق است. در این مقاله با استفاده از یک مدل جامع برنامه‌ریزی آموزشی، تأثیر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه در کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش برای ۲۷۰۰ نقطه از کشور ایران صورت پذیرفته است تا تأثیر برنامه‌ریزی آموزشی در اقلیم‌های مختلف کمی‌سازی شود. نتایج ارزیابی نشان می‌دهد برنامه‌ریزی آموزشی بهینه امکان کاهش شدت مصرف انرژی در بخش گرمایش در بازه ۱ تا ۲۵ درصد (با مقدار متوسط در همسایگی ۴ درصد) فراهم می‌آورد و درصد کاهش مصرف انرژی برای اقلیم‌های بیابانی بیشتر است.

کلمات کلیدی: برنامه‌ریزی آموزشی دانشگاهی، ساعات‌های آموزش، قیود آموزشی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، کاهش شدت مصرف انرژی.

مقدمه

حدود ۹۰ درصد زمان افراد در فضای سرپسته سپری می‌شود [۱]. این مسئله سبب می‌شود تا بر اساس آمار منتشرشده، حدود ۳۰-۴۵ درصد مصرف کل انرژی در ساختمان‌ها صورت پذیرد [۲ و ۳]. بخشی از این حجم مصرف انرژی، مرتبط با سوخت‌های فسیلی است؛ به این معنا که انتشار گازهای گلخانه‌ای و در نتیجه، آلودگی در سطح شهر و روستا است. آلودگی هوا در سطح شهر سبب کاهش کارایی [۴]، کاهش سیستم ایمنی [۵]، متیلاسیون DNA [۶] و آثار مخرب دیگر می‌شود. اهمیت موضوع سبب شده است که تا کنون مطالعات متعددی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌ها صورت پذیرد. به طور کلی، می‌توان راهکارهای تأثیرگذار برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان را به دو دسته تأثیرگذار بر مقدار تقاضای انرژی مفید و تأثیرگذار بر سیستم عرضه طبقه‌بندی کرد. از جمله راهکارهای مرسوم برای کاهش مقدار تقاضای انرژی مفید می‌توان به تغییر دمای فضای داخلی ساختمان [۷]، جلوگیری از نشستی ساختمان [۸]، اصلاح پنجره‌ها [۹]، کنترل پنجره‌ها [۱۰]، عایق کردن ساختمان [۱۱] و سایر موارد مشابه اشاره کرد. در ارتباط با راهکارهای تأثیرگذار بر مصرف انرژی از طریق اصلاح سیستم عرضه می‌توان به استفاده از تجهیزات (به طور نمونه، سیستم سرمایش/گرمایش [۱۲]، سیستم‌های بازیافت حرارت [۱۳]) با بازده و کارایی بیشتر اشاره کرد. میزان مصرف انرژی به ازای هر مترمربع ساختمان و همچنین، میزان اثربخشی هر یک از راهکارهای بیان شده به کاربری ساختمان، فرهنگ، درآمد، میزان پس‌انداز و پارامترهای متعدد دیگر از جمله احساس تعلق‌پذیری وابسته است. احساس تعلق‌پذیری ساختمان به فرد بر رفتارهای وی در جهت کاهش تلفات (در نتیجه، کاهش تقاضای انرژی مفید) اثرگذار است. بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد ساختمان‌هایی همچون دانشگاه، مسئولیت‌پذیری دانشجویان و کارمندان برای کاهش مصرف انرژی کمتر مشاهده می‌شود [۱۴-۱۶].

مطالعات فراوان برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان منتشر شده است. در این میان، تعدادی از مقالات به طور اختصاصی به کاهش مصرف انرژی ساختمان‌های دانشگاه پرداخته‌اند. یکی از راهکارهای مرسوم اختصاصی برای کاهش مصرف انرژی در ساختمان

دانشگاه، اصلاح برنامه‌ریزی آموزشی است. بیشتر مقالات منتشرشده با موضوع برنامه‌ریزی آموزشی بهینه با هدف ارضا شدن قیود آموزشی است و به‌ندرت به مسئله برنامه‌ریزی آموزشی برای کاهش مصرف انرژی و همچنین، ارضا شدن قیود آموزشی پرداخته‌اند. از آنجا که قیود آموزشی هر دانشگاه، دانشکده یا بخش با سایر دانشگاه‌ها یا حتی دانشکده‌های همان دانشگاه متفاوت است، مقالات جدید چاپ‌شده بیشتر به منظور در نظر گرفتن قیود منطبق با نیاز آن دانشگاه یا دانشکده است. در حقیقت، مطالعات در جهت انطباق بیشتر مدل با شرایط آموزشی دانشگاه یا اختصاصی‌سازی مدل برای آن دانشگاه صورت پذیرفته است. ممکن است در شروع یک مطالعه به دلیل پیچیدگی‌های تعریف برخی از محدودیت به صورت قیود نرم، نویسنده/نویسندگان محدودیت‌ها را به صورت سخت تعریف کرده باشند و در ادامه (۱) برخی از این قیود از حالت سخت به نرم تغییر کرده باشند یا (۲) قیود با اولویت پایین یا قیود نرم، تعریف شده باشند.

فیضی - درخشانی^۱ و همکاران (۲۰۱۲) برنامه‌ریزی آموزشی دانشگاه را مقید به محدودیت سخت و نرم دانستند [۱۷]. مهم‌ترین قیود سخت، محدودیت‌های فیزیکی برگزاری کلاس و قوانین اصلی آموزشی است. از جمله آن می‌توان به ارائه یک جلسه آموزشی هر درس در هر روز، حضور دانشجویان و حضور اساتید فقط در یک کلاس در هر ساعت اشاره کرد. قیود نرم عموماً به قوانین آموزشی با درجه اهمیت کمتر اشاره می‌کند؛ به طور نمونه می‌توان به عدم ارائه بیش از سه ساعت تدریس پیوسته برای هر استاد در هر روز، حق انتخاب زمان ارائه تدریس توسط استاد و عدم ارائه درس هنگام استراحت اساتید و دانشجویان اشاره کرد.

سانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۷) با اصلاح برنامه‌ریزی آموزشی موفق شدند مصرف انرژی در بخش گرمایش و سرمایش را به میزان ۴ درصد کاهش دهند [۱۴]. مدل توسعه‌یافته برای برنامه‌ریزی آموزشی، قیود آموزشی، حضور اساتید و سایر موارد مشابه را در بر نمی‌گیرد.

مدل برنامه‌ریزی توسعه‌یافته توسط فیلیپس و همکاران (۲۰۱۷) براساس پیشینه کردن تخصیص کلاس به دروس

ارائه کردند [۲۰]. قیود این مدل به دو دسته قیود سخت و نرم طبقه‌بندی می‌شود. مهم‌ترین قیود سخت عبارت‌اند از: ارائه دروس و آزمایشگاه‌های مشخص طی ترم، عدم امکان حضور دانشجویان و اساتید در بیش از یک درس در آن واحد، عدم امکان ارائه چند درس به طور هم‌زمان در یک اتاق کلاسی، ارائه کلاس در اتاق با امکانات مورد نیاز کلاس در یک زمان. مهم‌ترین قیود نرم عبارت‌اند از: ارائه دروس در اتاق مناسب (امکانات بیشتر از نیاز نداشته باشند)، ارائه دروس در زمان‌های پیشنهادی اساتید و استفاده از یک اتاق درسی به صورت پیوسته. تابع هزینه پیشنهادی این مطالعه متشکل از هزینه‌های انحراف از قیود نرم است. در این مطالعه تأثیر هزینه انرژی در هر ساعت در برگزاری کلاس مشاهده نشده است.

فتحتی و همکاران (۲۰۲۱) مدل برنامه‌ریزی آموزشی دروس دانشگاه با هدف کاهش مصرف انرژی را ارائه کرده‌اند [۲۱]. مدل ارائه‌شده امکان تبادل فضای آموزشی میان دانشکده‌ها و ایجاد فضای آموزشی اشتراکی را دارد. همچنین، تمام قیود آموزشی به صورت قید سخت تعریف شده‌اند. مصرف کاهش مصرف انرژی با استفاده از مدل آن‌گرام^۴ صورت می‌گیرد [۲۲]. این مدل قابلیت کمی‌سازی اثر نشتی هوا، تعداد دانشجویان حاضر در کلاس، محل استقرار کلاس و سایر موارد مشابه را ندارد، از این‌رو ممکن است بدون شبیه‌سازی ساختمان آموزشی حدود کاهش مصرف انرژی برآورد شود. میزان کاهش مصرف انرژی در صورت استفاده از برنامه‌ریزی آموزشی بهینه در حالت‌های مختلف از جمله تغییر دمای کلاس، زمان شروع ترم، دسترسی به تعداد نامحدود کلاس، تبادل کلاس میان دانشکده‌ها و... محاسبه شده است. با این‌وجود، به طور مرسوم می‌توان انتظار کاهش مصرف انرژی حدود ۱۲ درصد داشت. این مقدار وابسته به قوانین آموزشی، محدودیت اساتید، امکانات و اقلیم برای هر دانشکده می‌تواند متفاوت باشد.

مختاری و همکاران (۲۰۲۱) مدل برنامه‌ریزی برای برنامه‌ریزی آموزشی دانشگاه را توسعه داده‌اند [۲۳]. مسئله بهینه‌سازی توسعه‌داده‌شده، چندهدفه است و اهداف مسئله عبارت‌اند از: کمینه انحراف زمان ارائه دروس

تعریف‌شده، اقدام به برنامه‌ریزی آموزشی می‌کند [۱۸]. مهم‌ترین قیود این مسئله برنامه‌ریزی ریاضی عبارت‌اند از: اختصاص کلاس حداکثر به یک درس در هر بازه زمانی تدریس، اختصاص هر درس حداکثر به یک کلاس، عدم برگزاری دو جلسه یک درس در یک زمان در روز.

لینداحل^۱ و همکاران (۲۰۱۸) نوعی مدل برنامه‌ریزی ریاضی را به منظور برنامه‌ریزی دروس دانشگاهی توسعه داده‌اند [۱۹]. ملاک ارزیابی برنامه‌ریزی صحیح آموزشی، کمینه انحراف از قیود نرم است و برنامه‌ریزی آموزشی بر مبنای کاهش مصرف انرژی یا هزینه صورت نمی‌پذیرد. مسئله برنامه‌ریزی بیان‌شده از دو دسته قیود نرم و سخت تشکیل شده است. قیود نرم عبارت‌اند از: انحراف تعداد دانشجویان درس از ظرفیت اتاق، عدم فاصله میان کلاس‌های یک درس، عدم زمان خالی میان برنامه‌های درسی دانشجویان، تغییر نکردن اتاق کلاس در روزهای ارائه درس. قیود سخت عبارت‌اند از: ارائه درس توسط استاد مربوطه، عدم تغییر استاد در روزهای مختلف ارائه یک درس. در این مدل محدودیت حضور اساتید در دانشگاه و امکان اخذ درس خارج از چارت پیشنهادی دانشگاه برای دانشجویان (امکان اخذ دروس اختیاری، زودتر از زمان اخذ کردن برخی از دروس و سایر موارد مشابه)، دیده نشده است. جعفری‌نژاد و همکاران (۲۰۱۹) نوعی مدل برنامه‌ریزی آموزشی دروس دانشگاهی با هدف کاهش مصرف انرژی در ساختمان را ارائه کردند [۱۵]. در پژوهش یادشده به منظور شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان از داده‌های اندازه‌گیری‌شده و شبکه عصبی استفاده شد. همچنین، قیود آموزشی در نظر گرفته شده محدود به قیود حاکم بر دانشکده انرژی دانشگاه صنعتی شریف بوده است. استفاده از مدل شبکه عصبی ساختمان، دقت زیادی در برآورد مصرف انرژی و کمی‌سازی رفتارهای تصادفی افراد حاضر در ساختمان داشت. در صورت مدیریت تقاضا و برنامه‌ریزی آموزشی بهینه می‌توان حدود ۱۹ درصد میزان مصرف گاز طبیعی را کاهش داد.

تحفکارن^۲ و پنگچارون^۳ (۲۰۲۰) نوعی مدل برای برنامه‌ریزی دروس دانشگاه بر مبنای کمینه کردن هزینه

1. Lindahl
2. Thepphakorn
3. Pongcharoen

گونه‌ای که امکان اخذ حداکثر واحد ممکن برای دانشجویان جلو یا عقب افتاده از چارت پیشنهادی وجود داشته باشد) دیده نشده است. همچنین، به‌ندرت ملاک برنامه‌ریزی بهینه، کاهش هزینه انرژی بوده است. از میان همین مطالعات، بیشتر از مدل‌های ساختمان با بار محاسباتی بالا یا اختصاصات توسعه‌یافته برای نمونه مورد مطالعه بوده است. تا کنون مطالعه‌ای مبنی بر تأثیر تغییر اقلیم بر تغییر برنامه آموزشی یا تأثیر تغییر اقلیم بر میزان کاهش مصرف انرژی در صورت برنامه‌ریزی آموزشی بهینه منتشر نشده است. این موضوع از آن جهت حائز اهمیت است که در کشور حدود ۲۵۶۹ مؤسسات آموزش عالی (براساس آمار منتشرشده در سال تحصیلی ۱۳۹۵-۱۳۹۶) فعالیت داشته‌اند. بیشتر این دانشگاه‌ها در ۱۱۴۸ شهر ایران توزیع شده‌اند. کاهش مصرف انرژی به‌خصوص در بخش گرمایش به مبنای کاهش گاز مصرفی در سطح شهر و در نتیجه کاهش آلودگی زیست‌محیطی است. از این‌رو، با توجه به جامع بودن مدل و در نظر گرفتن مسائل مرتبط با انرژی در برنامه‌ریزی آموزشی، در این مطالعه از مدل فتحی و همکاران [۲۱] به منظور بررسی تأثیر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه بر میزان کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش در اقلیم‌های مختلف و تأثیر تغییر اقلیم بر اولویت‌بندی برگزاری کلاس در ساعات‌های آموزشی مختلف استفاده شده است.

مدل‌سازی

مصرف انرژی در یک ساختمان را می‌توان به دلیل تأمین تقاضای طبقه‌بندی‌شده در هفت گروه دانست. این هفت گروه عبارت‌اند از: نظافت، پخت‌وپز، بهداشتی، سرمایش، گرمایش، روشنایی و تجهیزات الکتریکی. براساس آنچه بیان شد، به منظور کاهش هزینه‌های مصرف انرژی در یک ساختمان می‌توان از سه راهکار کلی استفاده از (۱) تجهیزات با بازدهی بیشتر (به طور نمونه، لامپ با بازده بیشتر، عایق با مقاومت حرارتی بیشتر و...)، (۲) کاهش و ممانعت از مصارف انرژی غیرضروری و (۳) جابه‌جایی تقاضا اشاره کرد. از میان این سه راهکار، بیشتر از راهکار جابه‌جایی تقاضا برای تأمین تقاضا در ساعات با هزینه انرژی کمتر استفاده می‌شود. از آنجا که این تغییر ساعت نباید سبب ایجاد اختلال در فعالیت روزمره شود، نمی‌توان از این تکنیک (راهکار) برای

با پیشنهاد اساتید، کمینه کردن زمان سفر دانشجویان و کمینه افزایش ظرفیت کلاس.

مسئله بهینه‌سازی مقید به محدودیت‌های زیر است:
 (۱) یک درس باید در یک ساعت زمانی و در یک کلاس برای یک استاد صورت پذیرد. (۲) یک استاد تنها می‌تواند یک درس در یک ساعت زمانی و در یک کلاس برگزار کند. (۳) حداکثر یک درس در یک ساعت و در یک کلاس برگزار می‌شود. (۴) اساتید نمی‌توانند بیشتر از یک تعداد درس طی یک روز ارائه کنند.

الگت‌حامی^۱ و لسانکلنگ^۲ (۲۰۲۱) بر مبنای تابع هدف چندگانه است [۲۴]. ملاک برنامه‌ریزی بهینه، بیشینه کردن تخصیص یافتن اتاق کلاس به دروس تعریف‌شده، بیشینه کردن تخصیص کلاس به اساتید براساس یک تابع (ورودی‌های این تابع عبارت‌اند از: انتخاب استاد و رابطه‌ای میان قرارداد استاد، مرتبه استاد، تجربه استاد) حداقل کردن درس‌های بدون تخصیص کلاس، حداقل کردن تعداد روزهای حضور دانشجو در دانشکده است. قیود مسئله را می‌توان در دو گروه طبقه کرد: دسته نخست قیود عام نامیده می‌شوند و می‌توان ادعا کرد که این قیود در تمام دانشگاه‌ها صادق هستند. از جمله می‌توان به حداکثر حضور استاد در یک کلاس درس در هر ساعت، برگزاری کلاس براساس تئوری و عملی بودن در زمان مناسب. دسته دوم قیود خاص نامیده می‌شود؛ از جمله می‌توان به متفاوت بودن امکانات اتاق تدریس در صورت برگزاری کلاس توسط استاد مرد برای دانشجویان دختر اشاره کرد.

چن^۳ و همکاران (۲۰۲۱) مدل برنامه‌ریزی آموزشی را متشکل از ۱۵ دسته قید دانستند [۲۵]. مهم‌ترین این ۱۵ دسته قید عبارت‌اند از: ارائه حداکثر یک درس توسط استاد در هر ساعت تدریس، اختصاص اتاق در هر ساعت حداکثر به یک استاد، ارائه تمام دروس ترم، متناسب بودن فضای کلاس به تعداد دانشجویان، شرکت دانشجو در بیش از یک درس در هر روز، ارائه تمام جلسات یک درس در یک اتاق.

بررسی مدل‌های منتشرشده برای برنامه‌ریزی آموزشی نشان می‌دهد مدل‌های توسعه‌داده‌شده بیشتر قیود آموزشی (پیش‌نیاز و هم‌نیازی، و امکان تنظیم برنامه به

بخش سرمایش، گرمایش و روشنایی استفاده کرد. از میان این سه گروه تقاضا، اصولاً میزان روشنایی به دلیل امکان کنترل توسط دانشجویان (به عنوان ساکنان ساختمان آموزشی) به راحتی کنترل پذیر نیست، چرا که در صورت تمایل یک دانشجو به روشن کردن سیستم روشنایی، سیستم روشنایی طی مدت برگزاری کلاس فعال خواهد بود. بررسی سیستم‌های گرمایش و سرمایش مورد استفاده در دانشگاه‌های ایران نشان می‌دهد برای یک ساختمان کلاسی امکان استفاده از سیستم سرمایش و گرمایش به طور هم‌زمان وجود ندارد (در نتیجه، اصولاً نمی‌توان انتظار سیستم یکپارچه سرمایش/گرمایش با سیستم توزیع آب سه یا چهار لوله آب داشت) همچنین، غالباً سیستم سرمایش و گرمایش در یک بازه زمانی خاص فعال می‌شود.

تغییر در برنامه‌های آموزشی به دلیل قیود آموزشی و شخصی‌سازی فراوان توسط بخش، دانشکده و دانشگاه، غالباً به‌سختی توسط مسئولان آموزش مورد پذیرش قرار می‌گیرد، چرا که با تغییر در برنامه یک درس لازم است قیود زیر ارضا شود:

۱. امکان اخذ درس برای دانشجویان همگام و

غیرهمگام با چارت آموزشی: به طور نمونه، در بسیاری از برنامه‌های آموزشی انتظار می‌رود درسی همچون ترمودینامیک ۱ دانشجویان ترم سوم اخذ کنند، اما با توجه به ریزش بسیاری از دانشجویان در این درس یا عقب افتادن از برنامه آموزشی به دلیل عدم موفقیت در گذراندن دروس پایه پیش‌نیاز در ترم دوم، ناچار به اخذ این دروس در ترم چهارم آموزشی می‌شوند. در صورتی که درس ترمودینامیک ۱ با دروس هم‌نیاز آن مطابق برنامه آموزشی استاندارد ترم ۴ رشته مهندسی مکانیک، در یک زمان ارائه شوند، در عمل امکان اخذ تعدادی از دروس برای این گروه از دانشجویان امکان‌پذیر نیست. این مسئله سبب می‌شود تا دانشجویان با افزایش سنوات تحصیلی روبه‌رو شوند.

۲. برگزاری دروس با شماره درس یکسان توسط

چند استاد به طور هم‌زمان: در برخی از قوانین آموزشی دانشکده‌ها همچون دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز، در صورت ارائه یک درس

هر تقاضا و در هر زمان استفاده کرد. به طور نمونه، بیشتر می‌توان برنامه استفاده از ماشین لباسشویی (قرارگرفته در طبقه تجهیزات الکتریکی) را برای کاهش هزینه‌های انرژی الکتریکی به ساعات غیرپیک یا کم‌باری تغییر داد، اما تعدادی از تقاضاها همچون روشنایی ضروری در ساعات تاریک را نمی‌توان برای کاهش هزینه، تغییر داد مگر آنکه ساعات حضور در ساختمان تغییر یابد؛ اگرچه این تغییر ساعات استفاده از ساختمان را همواره برای تمام کاربری‌ها نمی‌توان استفاده کرد. به طور نمونه، می‌توان به ساعت کار فروشگاه‌ها اشاره کرد. در صورت تغییر ساعات کار فروشگاه، امکان از دست دادن مشتریان وفادار وجود دارد، اما می‌توان برای ساختمان‌های آموزشی دانشگاه (ساختمان کلاسی) تا حدودی استفاده کرد. در عمل برنامه‌ریزی آموزشی می‌تواند تأثیرگذار بر تمام بخش‌ها باشد. به طور نمونه، ممکن است با نزدیک شدن ساعات برگزاری کلاس به ساعات نهار و شام، تقاضا دانشجویان مقیم و غیرمقیم (خوابگاهی) برای صرف غذا در سلف دانشگاه افزایش یابد. از آنجا که این پژوهش، بخشی از پروژه کمی‌سازی تأثیر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه بر مصرف انرژی در دانشگاه‌ها است، تأثیر تغییر برنامه آموزشی در بخش‌های سوم تا هفتم، در مطالعه آتی کمی‌سازی می‌شود. در ساختمان‌های آموزشی دانشگاه‌ها می‌توان با تغییر برنامه کلاسی در بازه ساعات کاری دانشگاه، علاوه بر منظر جابه‌جایی بار در ساعات با کمترین هزینه مصرف انرژی، به دید کاهش میزان تقاضا نیز نگاه کرد، اما از آنجا که در بسیاری از کشورها همچون ایران، بازه ساعات مجاز برگزاری کلاس در بخش میان‌باری قرار می‌گیرد، نمی‌توان تغییر برنامه آموزشی را با انگیزه قرارگیری در ساعات با هزینه انرژی کمتر انجام داد. از سوی دیگر، تغییر ساعات برگزاری کلاس (تغییر برنامه آموزشی) به دلیل تغییر دمای محیط اطراف و شدت تابش خورشید به طور مستقیم بر بار سرمایش، گرمایش و روشنایی تأثیر می‌گذارد. این تغییر برنامه آموزشی با هدف کاهش هزینه انرژی به دو صورت بر قبوض انرژی تأثیرگذار است. این دو تأثیر عبارت‌اند از: کاهش مصرف انرژی کل و تغییر پلکان مصرف انرژی. در بسیاری از کشورها همچون ایران، قیمت هر واحد انرژی متناسب با میزان مصرف انرژی است.

همان‌طور که بیان شد، به طور مستقیم می‌توان با تغییر ساعات آموزشی (برنامه‌ریزی کلاسی)، تقاضای انرژی در سه

صورت مجازی بهره برد. در این حالت، تابع هدف و قیود تحت تأثیر قرار می‌گیرند. تابع هدف مسئله می‌تواند به کمینه شدن هزینه برق سرور و دانشجویان تغییر یابد. همچنین، قید ظرفیت دانشجویان آنلاین به صورت هم‌زمان باید در نظر گرفته شود (این قید می‌تواند جایگزین محدودیت تعداد کلاس‌های حقیقی باشد).

درخور یادآوری است مدل‌های برنامه‌ریزی آموزشی از بار محاسباتی بالا رنج می‌برند. غیرخطی شدن این مدل‌ها می‌تواند بر بار محاسباتی آن‌ها بیفزاید. غیرخطی شدن مدل حرارتی می‌تواند با افزایش دقت در برآورد کاهش مصرف انرژی همراه باشد، اما بر دو بخش تأثیرگذار است:

I. پاسخ بهینه به‌دست‌آمده از الگوریتم حل مسئله بهینه‌سازی و زمان حل: در این حالت الگوریتم حل می‌تواند بر زمان حل و پاسخ به‌دست‌آمده تأثیرگذار باشد.

II. عملیاتی شدن مدل (کاربرد مدل در عمل): به طور مرسوم، برنامه‌ریزی آموزشی در دانشگاه‌ها پس از دریافت درخواست اساتید و ریاست بخش‌ها/دانشکده‌ها توسط کارشناس آموزشی صورت می‌پذیرد. کارشناسان آموزشی غالباً دسترسی به کامپیوتر با قابلیت بالا ندارند.

از این‌رو، در این مطالعه از مدل خطی استفاده شده است. تغییر دانشگاه به صورت مستقیم روی قیود و تغییر اقلیم به طور مستقیم روی ضرایب تابع هدف تأثیرگذار است. از آنجا که در این پژوهش تأثیر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه بر میزان کاهش مصرف انرژی در اقلیم‌های مختلف بررسی شده، قوانین دانشگاه و دروس یکسان فرض می‌شود و فقط تأثیر تغییر اقلیم روی ضرایب تابع هدف مورد مطالعه قرار می‌گیرد. اگر تغییر اقلیم بر اولویت انتخاب زمان ارائه کلاس از نظر فقط انرژی تأثیرگذار نباشد، نتیجه تغییر اقلیم تأثیری بر تغییر برنامه آموزشی بهینه نخواهد داشت، اما می‌تواند بر میزان صرفه‌جویی انرژی تأثیرگذار باشد. همچنین، می‌توان تغییر دمای اتاق کلاسی بر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه را نیز مورد مطالعه قرار داد. در صورت عدم تأثیر این دو مهم بر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه، می‌توان این راهکار را به عنوان یک راهکار مناسب برای کاهش هزینه مصرف انرژی برشمرد. در اینجا روش حل پیشنهادی مسئله بهینه‌سازی، روش نقطه داخلی است.

یکسان توسط دو یا تعداد بیشتر استاد، الزاماً تمام دروس باید در یک زمان ارائه شود تا ملاک انتخاب برای دانشجویان کیفیت آموزش باشد.

۳. محدودیت موجود بودن کلاس خالی: ارضای دو

قید یادشده زمانی دشوارتر می‌شود که محدودیت تعداد کلاس نیز وجود داشته باشد.

براساس آنچه بیان شد، این نتیجه حاصل می‌شود که در برخی موارد تغییر زمان یک درس نیازمند هماهنگی با سایر اساتید است که این مسئله دوباره به دلایل بیان‌شده و همچنین، محدودیت حضور اساتید برای برگزاری کلاس (به دلیل مسئولیت‌های دیگر اساتید و جلسات تنظیم‌شده) بسیار سخت می‌شود.

براساس آنچه بیان شد، واضح است که تغییر در برنامه آموزشی به‌سختی امکان‌پذیر است. همچنین، در عمل مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی برای دانشکده‌های بزرگ با قیود آموزشی شخصی‌سازتر، بار محاسباتی بالا دارند. مدل مورد استفاده در این مطالعه براساس مطالعه فتیحی و همکاران [۲۱] است. این مدل علاوه بر قیود آموزشی بیان‌شده با توجه به کم بودن نسبت تعداد دروس ارائه‌شده توسط یک استاد به تعداد دروس ارائه‌شده در دانشکده، راهکاری برای کاهش بار محاسباتی مطرح کرده است. در ادامه، در جدول ۱ مدل فتیحی و همکاران [۲۱] بیان شده است. محدودیت‌های بیان‌شده در جدول ۱، ممکن است برای تمام بخش‌ها، دانشکده‌ها، دانشگاه‌ها و حتی برای دانشکده‌های یک دانشگاه نیز یکسان نباشد. دسته محدودیت اول تا ششم به استثنای دسته قید سوم به صورت عمومی برای تمام دانشگاه‌ها یکسان است، اما دسته قید سوم (الزام به ارائه دروس با کد درس یکسان ارائه‌شده توسط چند استاد در یک ساعت) اختصاص به دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه شیراز دارد و ممکن است حتی در تمام دانشکده‌های دانشگاه شیراز رعایت نشود. علاوه بر این، در برخی دانشکده‌ها دسته قیود اول تا چهارم ممکن است به صورت قیود نرم (اجازه این وجود دارد با دریافت جریمه، این قیود ارضا نشوند) تعریف شوند، اگرچه در این مطالعه تمام قیود به صورت سخت (قیود سخت باید ارضا شوند) تعریف شده‌اند. اگرچه مدل مطالعه‌شده در این پژوهش به منظور برنامه‌ریزی آموزشی در دوره برگزاری کلاس‌ها به صورت حضوری است، اما با اصلاح این مدل می‌توان از آن به منظور برنامه‌ریزی آموزشی در دوره برگزاری کلاس‌ها به

جدول ۱. مدل برنامه‌ریزی ریاضی آموزشی ارائه‌شده توسط فتحی و همکاران [۲۱]

$Min Z_d = \sum_k \sum_{j_d} \sum_{i_d} \bar{C}_k x_{i_d j_d k d}$		
<i>St.</i>		
دسته قید نخست	$x_{i_d j_d \lambda d} = 0$	$\forall \lambda \in \lambda, \lambda \subseteq K$
دسته قید عام		ارائه نشدن دروس به دلیل نامناسب بودن زمان به طور نمونه زمان استراحت
دسته قید دوم	$x_{i_d j'_d k' d} = 0$	$\forall j'_d \in J'_d, j'_d \subseteq J_d$
دسته قید عام		$\forall k' \in k', k' \subseteq K$
		ارائه نشدن دروس به دلیل عدم حضور استاد
دسته قید سوم	$x_{\alpha j_d k d} = x_{\alpha j'_d k d}$	$\forall j_d \& j'_d \in J_d$ $\forall \alpha \in I_d$ $\forall k \in K$
دسته قید اختصاصی		ارائه تمام دروس یکسان در یک زمان
دسته قید چهارم	$x_{i_d j_d k d} + x_{i'_d j'_d k d} \leq \tau_{j j'}$	$\tau \in \text{Error! Bookmark not defined.}$ $\forall i_d \& i'_d \in I_d$ $\forall j_d \& j'_d \in J_d$
دسته قید پنجم		جلوگیری از ارائه دروس مورد نیاز دانشجویان در یک زمان
دسته قید ششم	$\sum_{i_d=1}^{I_d} \sum_{j_d=1}^{J_d} x_{i_d j_d k d} \leq N_{k d}$	$\forall k \in K$
دسته قید اختصاصی		محدودیت تعداد کلاس تخصیص‌یافته به هر دانشکده در هر بازه زمانی
دسته قید ششم	$\sum_{j_d=1}^{J_d} x_{i_d j_d k d} \leq 1$	$\forall k \in K$ $\forall i_d \in I_d$
دسته قید اختصاصی		محدودیت امکان حضور استاد در یک زمان تدریس حداکثر در یک کلاس درس
کران بالا و پایین	$x_{i_d j_d k d}: \text{Boolean}$	برگزاری درس i وسط استاذ در زمان k توسط دانشکده d

نتایج

با ۱۶ اتاق در دو طبقه برای ارائه دروس میان سه دانشکده مهندسی مکانیک، مهندسی کامپیوتر و عمومی (منظور از عمومی استفاده شدن توسط سایر دانشکده‌ها است) مشترک در نظر گرفته شده است. هر یک از دانشکده‌های بیان‌شده، دارای حق استفاده از تعدادی مشخص کلاس در ساعات مختلف آموزشی هستند.

جدول ۲ سهم هر دانشکده برای در اختیار داشتن تعداد کلاس را در هر ساعات آموزشی در ساختمان شماره ۲ دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز بیان می‌کند.

در این بخش تأثیر تغییر اقلیم بر (۱) برنامه‌ریزی آموزشی بهینه و (۲) میزان کاهش مصرف انرژی در سناریوهای مختلف مورد مطالعه قرار می‌گیرد. به همین منظور، یک ساختمان آموزشی در دو حالت استفاده از برنامه آموزشی بهینه در سناریوهای مختلف با برنامه‌ریزی آموزشی مرسوم در شرایط آب‌وهوایی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. ساختمان آموزشی مورد بررسی در این مطالعه، ساختمان شماره ۲ دانشکده مهندسی است. این ساختمان

جدول ۲. تعداد کلاس برگزاری در هر ساعات آموزشی در ساختمان شماره ۲ دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز در حالت برنامه‌ریزی آموزشی مرسوم (۱۵)

مهندسی مکانیک		مهندسی کامپیوتر		عمومی	
تعداد اعضای هیئت علمی	۲۵	۲۱	۱۷		
تعداد شماره درس	۴۳	۴۰	۲۲		
تعداد گروه درس‌ها	۵۱	۴۳	۲۲		
مهندسی مکانیک		مهندسی کامپیوتر		عمومی	
شنبه -	یکشنبه -	شنبه -	یکشنبه -	شنبه -	یکشنبه -
دوشنبه	سه‌شنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	دوشنبه	سه‌شنبه
۱۴	۱۱	۱	۴	۱	۱
۱۰	۹	۵	۶	۱	۱
۹:۰۰-۷:۳۰					
۱۰:۳۰-۹:۰۰					
مهندسی مکانیک		مهندسی کامپیوتر		عمومی	
شنبه -	یکشنبه -	شنبه -	یکشنبه -	شنبه -	یکشنبه -
دوشنبه	سه‌شنبه	دوشنبه	سه‌شنبه	دوشنبه	سه‌شنبه
۷	۱۰	۵	۵	۴	۱
۱	۲	۰	۰	۰	۰
۰	۰	۸	۶	۴	۴
۷	۶	۶	۶	۳	۴
۳	۳	۲	۲	۳	۳
۱۲:۰۰-۱۰:۳۰					
۱۴:۰۰-۱۲:۳۰					
۱۵:۳۰-۱۴:۰۰					
۱۷:۳۰-۱۶:۰۰					
۱۹:۰۰-۱۸:۰۰					

طبیعی برای ساختمان‌ها متناسب با مترمکعب مصرفی در یک بازه زمانی حدود یک ماه است و به خلاف قیمت انرژی الکتریکی، قیمت هر مترمکعب گاز طبیعی در یک پایه مصرفی مشخص، در ساعات و روزهای مختلف طی یک فصل ثابت است.

بررسی حاضر اثر تغییر اقلیم و دمای اتاق بر اولویت انتخاب کلاس از نظر کاهش هزینه گاز مصرفی جهت گرمایش را نشان می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر اقلیم، تعداد زیادی نقطه از کشور برگزیده شدند. از این میان، ۲۷۰۰ نقطه از کشور با اولویت انتخاب شهرها و باقی نقاط به صورت تصادفی برگزیده شدند. این ۲۷۰۰ نقطه از کشور، بیشترین مصرف انرژی در بازه زمانی ساعت ۱۸:۰۰ تا ۱۹:۳۰ را دارند که به خلاف نتیجه مطالعه فتهی و همکاران [۲۱] است. درخور یادآوری است برآورد مصرف انرژی در دو بازه ۷:۳۰ تا ۹:۰۰ و ۱۸:۰۰ تا ۱۹:۳۰ تقریباً نزدیک به یکدیگر است؛ همان‌طور که در ادامه در شکل ۱ مشاهده می‌شود.

اطلاعات آب‌وهوا با استفاده از نرم‌افزار متونورم^۱ برای

برای ملاحظه تأثیر اقلیم بر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه و کاهش میزان مصرف انرژی، در نظر گرفته شده است که این ساختمان در شهرها و نقاط مختلف ایران قرار گرفته است. سناریوهای مورد مطالعه در این پژوهش مرتبط با تأثیر تغییر دمای اتاق و اقلیم بر برنامه‌ریزی آموزشی بهینه است و باید به این سؤال پاسخ داده شود که آیا با تغییر دمای اتاق یا تغییر اقلیم، برنامه آموزشی بهینه از نظر کمینه شدن مصرف انرژی در بخش گرمایش ساختمان تغییر می‌یابد. در صورت عدم تغییر اقلیم بر برنامه‌ریزی آموزشی و همچنین دمای اتاق، می‌توان ادعا کرد ورودی تصادفی تأثیرگذار بر مصرف انرژی، تأثیر بر تغییر برنامه آموزشی ندارند. در اینجا منظور از ورودی‌های تصادفی، اشاره به تغییر دمای پیش‌بینی‌نشده اقلیم و تغییر دمای اتاق (به دلیل باز و بسته شدن دما یا هر عامل دیگر) دارد. از این‌رو، برنامه آموزشی پیشنهادی با اطمینان بیشتر قابل پذیرش است.

در کشور ایران به دلیل قیمت ناچیز هر واحد انرژی، حرارتی گاز طبیعی در برابر هر واحد انرژی الکتریکی، سبب شده است تا عمده فناوری‌های مورد استفاده برای گرمایش برپایه گاز طبیعی باشد و همچنین، قیمت گاز

1. Meteonorm

مناطق از کشور وجود دارند که نیاز به سیستم گرمایش ندارند، در حالی که در همان بازه زمانی مناطقی هستند که به سیستم گرمایش نیاز دارند.

در ادامه در شکل ۳ ضریب نرمال کردن هزینه‌های سیستم گرمایش در هر اقلیم و دمای اتاق نشان داده شده است.

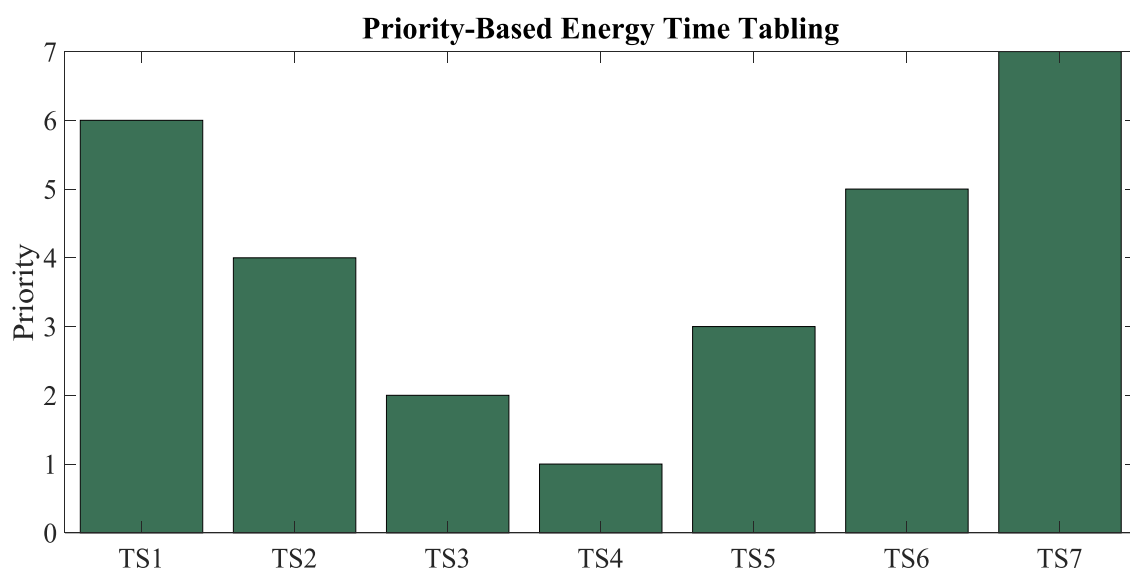
همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، ضریب بیشینه هزینه انرژی در بخش گرمایش در مناطق مختلف کشور متفاوت است و مقدار این ضریب با شروع زودهنگام دانشگاه کاهش می‌یابد. این کاهش به دلیل، آغاز ترم نخست تحصیلی در زمان معتدل سال است، چرا که مدت زمان کمتری از ترم تحصیلی نیاز به سیستم گرمایش خواهد بود. با کاهش مدت زمان و همچنین، تفاضل میان دمای آسایش با دمای محیط، این ضریب کاهش می‌یابد. همان‌طور که از نقشه‌های ارائه شده و بررسی داده‌های آب‌وهوایی قابل رؤیت است، در مناطق گرمسیری (نواحی جنوبی) مقدار این ضریب نسبت به مناطق سردسیر (نواحی شمال غرب و همچنین، غربی) کمتر است. در ادامه، تأثیر استفاده از برنامه‌ریزی آموزشی بهینه بر کاهش شدت مصرف انرژی در بخش گرمایش در سه سناریوی تعریف شده، مورد بررسی قرار گرفته است.

این نقاط استخراج شده است. همچنین، تأثیر زمان شروع ترم در حالت تنظیم دمای بروی ۲۶°C مورد مطالعه قرار گرفته است.

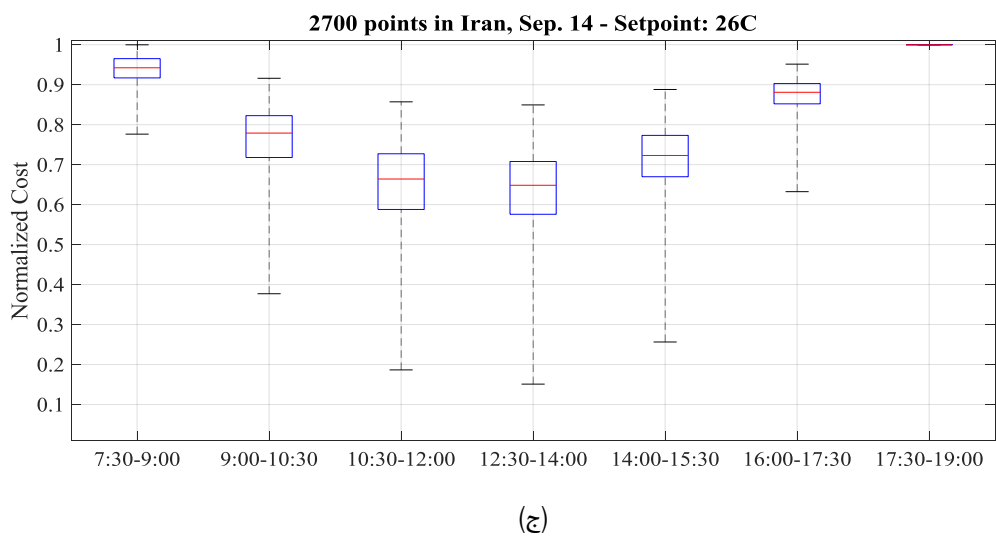
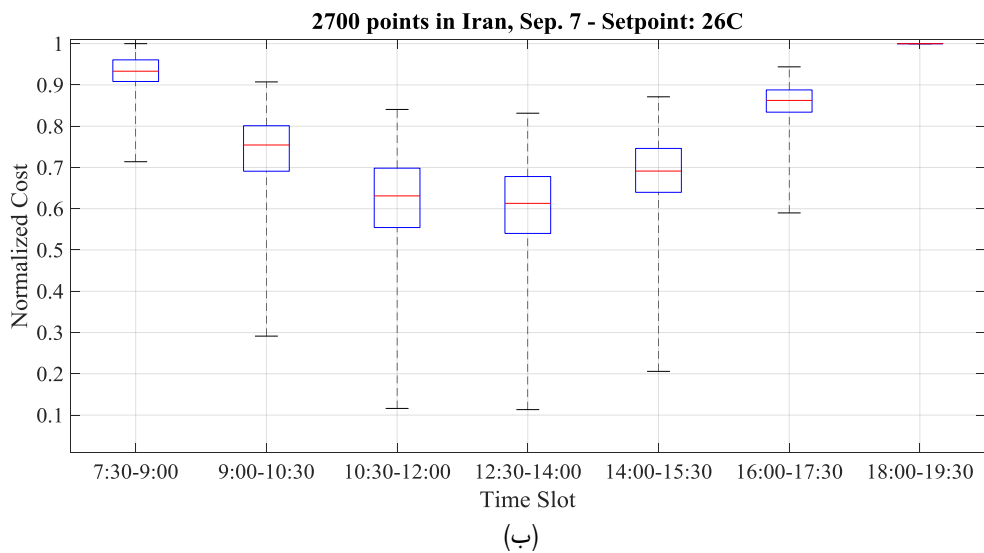
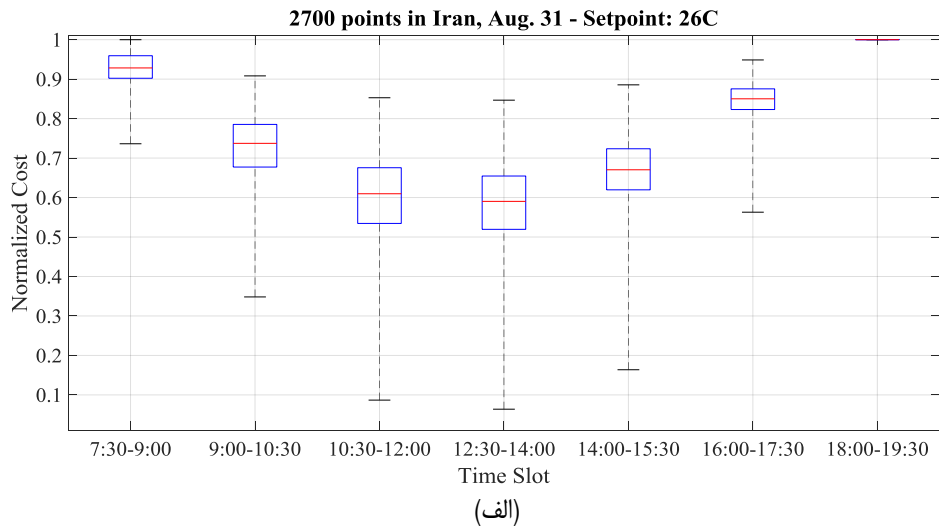
نتایج بررسی نشان می‌دهد این دو پارامتر تأثیر بر انتخاب اولویت ندارند. درخور یادآوری است در این مقاله فقط ۲۷۰۰ نقطه از کشور ایران بررسی شده است و این امکان وجود دارد برای برخی از نقاط برنامه‌ریزی آموزشی متفاوت از آنچه گزارش شده است، برنامه‌ریزی آموزشی بهینه باشد، به خصوص در رقابت ساعت نخست و پایان کلاس این مهم بسیار امکان‌پذیر است. شکل ۱ اولویت انتخاب ساعت تدریس از نظر کمینه شدن مصرف انرژی در بخش گرمایش را نشان می‌دهد.

تغییر دما و اقلیم تأثیر مستقیم بر میزان انرژی مصرفی در بخش گرمایش ساختمان دارند. به منظور نشان دادن این موضوع، ضریب وزنی محاسبه شده برای برگزاری کلاس در هر دما برای هر اقلیم نرمال شده است. همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، در تمام حالت‌ها برگزاری کلاس در ساعت زمانی ۱۸:۰۰ تا ۱۹:۳۰ در اولویت آخر قرار دارد، اما ضریب وزنی برای هر اقلیم و هر دما متفاوت است.

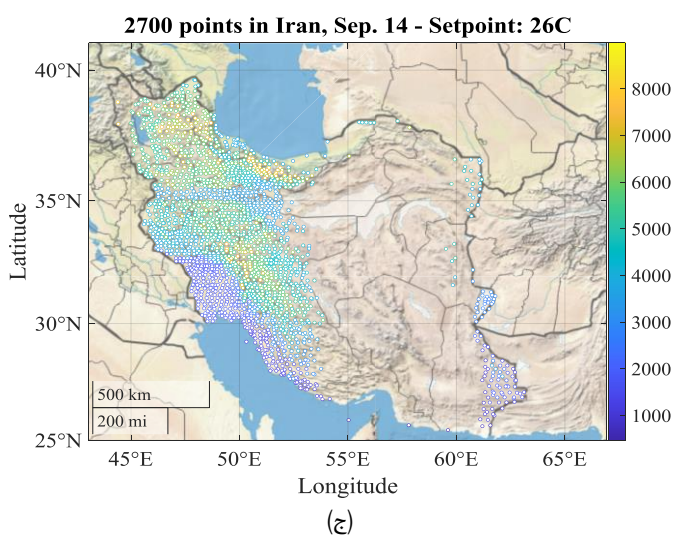
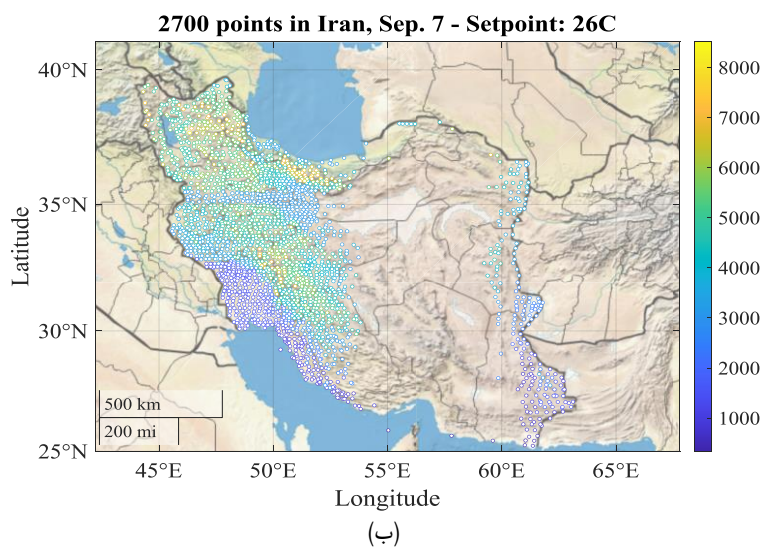
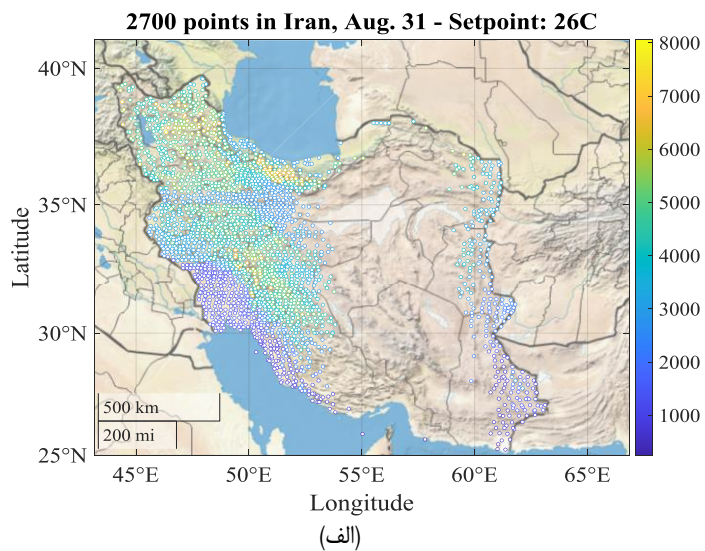
شکل ۲ گستردگی تفاوت اقلیم در کشور را نیز نشان می‌دهد. در شکل ۲ در بازه زمانی ۱۲:۳۰ تا ۱۴:۰۰



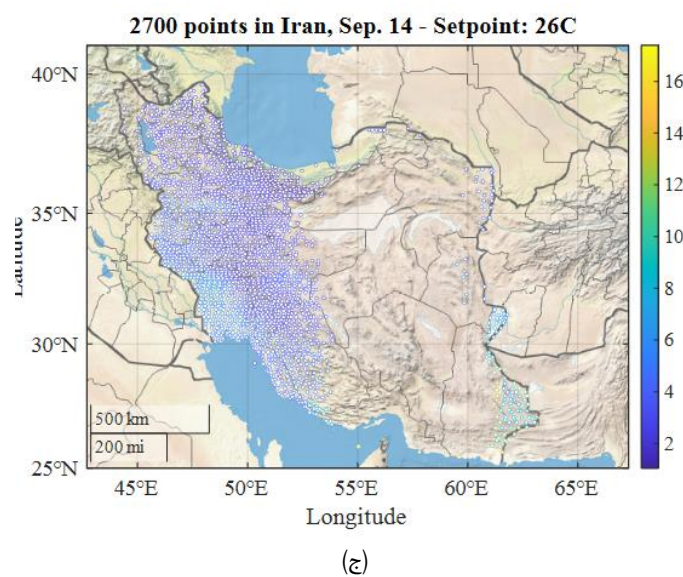
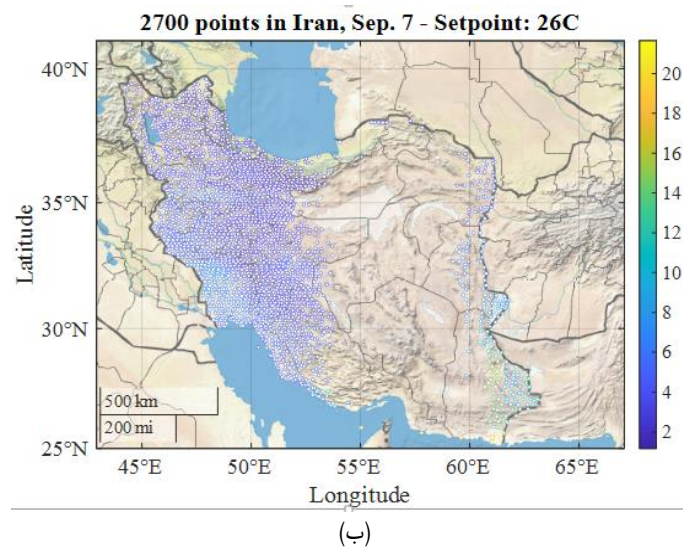
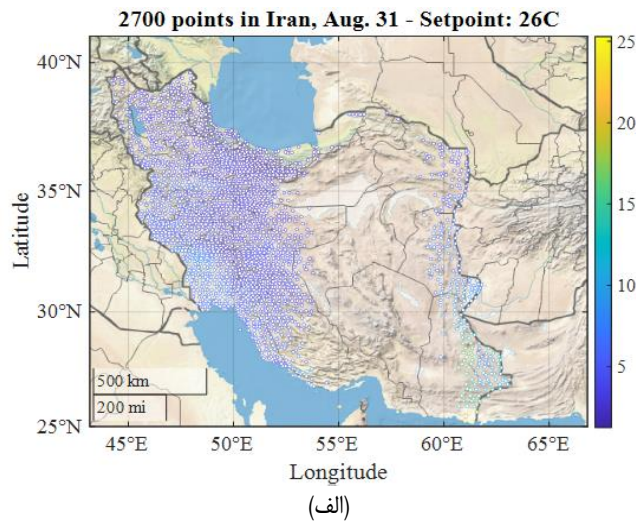
شکل ۱. اولویت‌بندی هر ساعت آموزشی برای کاهش مصرف انرژی در برنامه‌ریزی آموزشی



شکل ۲. ضرایب نرمال شده برگزاری کلاس در هر اقلیم در سه بازه زمانی شروع ترم (الف-شروع ترم ۳۱ آگوست، ب- شروع ترم ۷ سپتامبر و ج- شروع ترم ۱۴ سپتامبر)



شکل ۳. ضریب نرمال کردن هزینه‌های سیستم گرمایش در هر اقلیم در سه بازه زمانی شروع ترم (الف- شروع ترم ۳۱ آگوست؛ ب- شروع ترم ۷ سپتامبر و ج- شروع ترم ۱۴ سپتامبر)



شکل ۴. میزان کاهش هزینه‌های سیستم گرمایش در هر اقلیم در سه بازه زمانی شروع ترم (الف- شروع ترم ۳۱ آگوست؛ ب- شروع ترم ۷ سپتامبر و ج- شروع ترم ۱۴ سپتامبر)

میزان کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش در بازه ۱/۳ تا ۲۵/۳ درصد (با مقدار متوسط ۴/۶ درصد) برآورد می‌شود. در ادامه، در جدول ۳ بازه پیش‌بینی شده از شدت کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش در صورت استفاده از برنامه‌ریزی آموزشی بهینه برای چند شهرستان نمونه در حالت شروع ترم تحصیلی از ۳۱ آگوست و تنظیم دمای اتاق بروی ۲۳°C را نشان می‌دهد.

جدول ۳. بازه پیش‌بینی شده از شدت کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش در صورت استفاده از برنامه‌ریزی آموزشی بهینه برای چند شهرستان نمونه در حالت شروع ترم تحصیلی از ۳۱ آگوست و تنظیم دمای اتاق بروی

شهرستان	بازه کاهش مصرف انرژی
اردبیل، استان اردبیل نمین، استان اردبیل ماهدشت، استان البرز سمنان، استان سمنان اورمیه، استان آذربایجان غربی	<۵٪
زاهدان، استان سیستان و بلوچستان سراوان، استان سیستان و بلوچستان سربیشه، استان خراسان جنوبی زابل، استان سیستان و بلوچستان دزفول، استان خوزستان	۵٪ ≤ کاهش شدت مصرف انرژی ≤ ۱۵٪
سیب و سوران، استان سیستان و بلوچستان چابهار، استان سیستان و بلوچستان خاش، استان سیستان و بلوچستان بندر جاسک، استان هرمزگان ایرانشهر، استان سیستان و بلوچستان	کاهش شدت مصرف انرژی ≤ ۱۵٪

مختلف می‌پردازد. از آنجا که بیشتر گرمایش ساختمان‌های کلاسی در ایران از طریق مصرف سوخت‌های فسیلی از جمله گاز طبیعی صورت می‌پذیرد. از این‌رو، علاوه بر کاهش مصرف انرژی در این بخش، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ارمغان می‌آورد به‌خصوص که بیشتر دانشگاه‌های کشور در شهرهای ایران قرار دارد و این مسئله می‌تواند سبب کاهش آلودگی شود. در این مطالعه ۲۷۰۰ شهر و نقطه از کشور ایران با اولویت بیشترین مصرف انرژی در بازه زمانی ۱۸:۰۰ تا ۱۹:۳۰ انتخاب شده است. مشاهده می‌شود تغییر اقلیم و زمان شروع ترم، تأثیر بر اولویت‌بندی زمان‌های ارائه کلاس از نظر مصرف انرژی ندارد. این مسئله نشان می‌دهد برنامه پیشنهادی تا حد قابل قبول مستقل از نوسان‌های گذرای محیط پیرامون است. از این‌رو، نیاز به پیش‌بینی دقیق دما طی ترم نیست، به‌خصوص اگر با تغییر دمای اتاق

بر اساس شکل ۴ درصد کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش با کمک اصلاح برنامه‌ریزی آموزشی، برای مناطق بیابانی بیشتر است. همچنین، علاوه بر کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش با شروع زود هنگام ترم نخست تحصیلی، درصد کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش نیز در صورت استفاده از برنامه‌ریزی آموزشی بهینه بیشتر خواهد بود. در حالتی شروع ترم تحصیلی از ۳۱ آگوست،

در صورت شروع ترم تحصیلی از ۷ سپتامبر، میزان کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش در بازه ۱/۲ تا ۲۱/۶ درصد (با مقدار متوسط ۴/۳ درصد) پیش‌بینی می‌شود. همچنین در صورت شروع ترم تحصیلی از ۱۴ سپتامبر میزان کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش در بازه ۱/۰۵ تا ۱۴/۴ درصد (با مقدار متوسط ۳/۷ درصد) برآورد می‌شود. از این‌رو، میزان کاهش شدت مصرف انرژی در بخش گرمایش ساختمان را می‌توان بین ۱-۲۵ درصد برآورد کرد. این مقدار با نتایج گزارش شده در پژوهش سانگ و همکاران [۱۴] همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

این مقاله به بررسی تأثیر برنامه‌ریزی آموزشی بر کاهش مصرف انرژی در بخش گرمایش/سرمایش در اقلیم‌های

- [9]. Xia T, Xi L, Du S, Xiao L, Pan E. Energy-oriented maintenance decision-making for sustainable manufacturing based on energy saving window. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2018;140 (5).
- [10]. Chen Y, Tong Z, Samuelson H, Wu W, Malkawi A. Realizing natural ventilation potential through window control: The impact of occupant behavior. *Energy Procedia*. 2019;158:3215-21.
- [11]. Simona PL, Spiru P, Ion IV. Increasing the energy efficiency of buildings by thermal insulation. *Energy Procedia*. 2017;128:393-9.
- [12]. Lee K, Choo S. A hierarchy of architectural design elements for energy saving of tower buildings in Korea using green BIM simulation. *Advances in Civil Engineering*. 2018; 2018.
- [13]. Mardiana-Idayu A, Riffat S. Review on heat recovery technologies for building applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2012;16(2):1241-55.
- [14]. Song K, Kim S, Park M, Lee H-S. Energy efficiency-based course timetabling for university buildings. *Energy*. 2017;139:394-405.
- [15]. Jafarinejad T, Erfani A, Fathi A, Shafii MB. Bi-level energy-efficient occupancy profile optimization integrated with demand-driven control strategy: University building energy saving. *Sustainable Cities and Society*. 2019;48:101539.
- [16]. Sun Y, Luo X, Liu X. Optimization of a university timetable considering building energy efficiency: An approach based on the building controls virtual test bed platform using a genetic algorithm. *Journal of Building Engineering*. 2021;35:102095.
- [17]. Feizi-Derakhshi M-R, Babaei H, Heidarzadeh J, editors. A survey of approaches for university course timetabling problem. *Proceedings of 8th international symposium on intelligent and manufacturing systems*, Sakarya University Department of Industrial Engineering, Adrasan, Antalya, Turkey; 2012.
- [18]. Phillips AE, Walker CG, Ehrgott M, Ryan DM. Integer programming for minimal perturbation problems in university course timetabling. *Annals of Operations Research*. 2017;252(2):283-304.
- [19]. Lindahl M, Sørensen M, Stidsen TR. A fix-and-optimize metaheuristic for university timetabling. *Journal of Heuristics*. 2018;24(4):645-65.

نیز همچنان اولویت‌بندی ثابت باقی بماند. بررسی‌ها نشان می‌دهد در صورت شروع زود هنگام ترم از ۳۱ آگوست و تنظیم دمای اتاق بروی ۲۶°C، میزان کاهش مصرف انرژی جهت گرمایش ساختمان در بازه ۱/۳ تا ۲۵/۳ درصد (با مقدار متوسط ۴/۶ درصد) خواهد بود. در صورتی که شروع ترم از ۷ سپتامبر و ۱۴ سپتامبر صورت پذیرد، علاوه بر افزایش مصرف انرژی، میزان کاهش مصرف انرژی در صورت برنامه‌ریزی آموزشی بهینه به ترتیب در بازه ۱/۲ تا ۲۱/۶ درصد (با مقدار متوسط ۴/۳ درصد) و بازه ۱/۰۵ تا ۱۴/۴ درصد (با مقدار متوسط ۳/۷ درصد) پیش‌بینی می‌شود و این مهم نشان می‌دهد با شروع زود هنگام و استفاده از برنامه‌ریزی آموزشی بهینه امکان کاهش شدت مصرف انرژی بیشتر وجود دارد.

منابع

- [1]. Matter UAP. *Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts*. by F Zereini, CLS Wiseman (Heidelberg, Springer, Berlin, 2011). 2010.
- [2]. Cui S, Wang Y-W, Xiao J-W. Peer-to-peer energy sharing among smart energy buildings by distributed transaction. *IEEE Transactions on Smart Grid*. 2019;10(6):6491-501.
- [3]. Mariano-Hernández D, Hernández-Callejo L, Zorita-Lamadrid A, Duque-Pérez O, García FS. A review of strategies for building energy management system: Model predictive control, demand side management, optimization, and fault detect & diagnosis. *Journal of Building Engineering*. 2021;33:101692.
- [4]. Kahn ME, Li P. Air pollution lowers high skill public sector worker productivity in China. *Environmental Research Letters*. 2020;15(8):084003.
- [5]. Glencross DA, Ho T-R, Camina N, Hawrylowicz CM, Pfeffer PE. Air pollution and its effects on the immune system. *Free Radical Biology and Medicine*. 2020;151:56-68.
- [6]. Rider CF, Carlsten C. Air pollution and DNA methylation: effects of exposure in humans. *Clinical epigenetics*. 2019;11(1):1-15.
- [7]. Wang N, Zhang J, Xia X. Energy consumption of air conditioners at different temperature set points. *Energy and Buildings*. 2013;65:412-8.
- [8]. Hassouneh K, Alshboul A, Al-Salaymeh A. Influence of infiltration on the energy losses in residential buildings in Amman. *Sustainable Cities and Society*. 2012;5:2-7.

- [20]. Thepphakorn T, Pongcharoen P. Performance improvement strategies on Cuckoo Search algorithms for solving the university course timetabling problem. *Expert Systems with Applications*. 2020;161:113732.
- [21]. Fathi A, Salehi M, Mohammadi M, Rahimof Y, Hajjaligol P. Cooling/heating load management in educational buildings through course scheduling. *Journal of Building Engineering*. 2021;41:102405.
- [22]. Krarti M. *Energy audit of building systems: an engineering approach*: CRC press; 2016.
- [23]. Mokhtari M, Vaziri Sarashk M, Asadpour M, Saeidi N, Boyer O. Developing a Model for the University Course Timetabling Problem: A Case Study. *Complexity*. 2021;2021.
- [24]. Algethami H, Laesanklang W. A mathematical model for course timetabling problem with faculty-course assignment constraints. *IEEE Access*. 2021;9:111666-82.
- [25]. Chen MC, Goh SL, Sabar NR, Kendall G. A survey of university course timetabling problem: perspectives, trends and opportunities. *IEEE Access*. 2021;9:106515-29.