

## مدلسازی الگوی بهینه جنگلکاری شهری با رویکرد کاهش مصرف انرژی در ساختمان

مهدی حیدری<sup>۱\*</sup>، صفورا عبدالله‌زاده<sup>۲</sup>، ساناز لیتکوهی<sup>۳</sup> و نازنین نصراللهی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد معماری، دانش آموخته دانشکده هنر و معماری، دانشگاه پیام نور تهران

<sup>۳</sup> استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه پیام نور تهران

<sup>۴</sup> استادیار گروه معماری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه ایلام

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۱/۲۹؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۴/۳)

### چکیده

جنگل‌های شهری مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی فراوانی را برای شهرها فراهم می‌کنند. از جمله این مزایا کاهش حرارت محیط داخلی توسط سایه‌اندازی بر روی ساختمان‌ها، جذب نور خورشید، کاهش نور فرابنفش، خنک کردن هوا و کاهش سرعت باد است. در بررسی حاضر، الگوهای مختلف درختکاری به‌صورت کمربند سبز در اطراف ساختمان اداری (شبیه‌سازی شده ساختمان راه آهن تهران) با رویکرد کاهش مصرف انرژی بررسی شده است. بدین‌منظور درختکاری در فاصله ۵ و ۱۰ متر از ساختمان به‌صورت یک و دواشکوبه مد نظر قرار گرفت. در این بررسی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای مدلسازی استفاده شد. خصوصیات کمی گونه‌های کاج تهران و طاووسی شامل قطر تاج، ارتفاع و قطر برابر سینه درخت اندازه‌گیری شد و برای مدلسازی درخت در نرم‌افزار به‌کار رفت. برای اعتبارسنجی نرم‌افزار در شبیه‌سازی شرایط واقعی، ابتدا ساختمان راه آهن تهران در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شد و سپس نمودارهای دما و رطوبت نسبی ثبت‌شده از ساختمان شبیه‌سازی شده و اطلاعات واقعی ثبت‌شده به‌وسیله حسگر حرارتی و رطوبتی با یکدیگر مقایسه شد. نتایج نشان داد که بین مدل‌های مختلف درختکاری و در هر دو حالت یک و دواشکوبه، اختلاف معنی‌داری از نظر مصرف انرژی در ساختمان وجود دارد. درختکاری به‌طور هم‌زمان در همه جهت‌های اطراف ساختمان نسبت به مدل‌های یک‌جهته کمترین مصرف انرژی را نشان داد. در بین مدل‌های یک‌طرفه، درختکاری در جهت غربی ساختمان مناسب‌تر بود، درحالی‌که درختکاری در جهت جنوبی ساختمان موجب کاهش مصرف انرژی نشد. از نظر کاهش مصرف انرژی در همه مدل‌ها و در هر دو فاصله ۵ و ۱۰ متری از دیوار، درختکاری دواشکوبه نسبت به یک‌اشکوبه بهتر بود. نتایج مدلسازی نشان داد که بین فاصله درختکاری از ساختمان و مصرف انرژی همبستگی مثبت وجود دارد.

واژه‌های کلیدی: جنگل شهری، ساختمان اداری، شبیه‌سازی، مصرف انرژی.

## مقدمه و هدف

به مجموعه درختان و فضای سبز موجود در محیط زندگی شهری که سیمای جنگلی دارد، جنگل شهری می‌گویند. برای حفظ موجودیت و پایداری آنها باید ملاحظات ویژه و متعددی از قبیل مدیریت، کاشت و اصلاح و گسترش را به‌کار گرفت که بی‌شبهت به فعالیت‌های جنگلداری در حالت طبیعی نیست. به‌همین دلیل به کلیه اقداماتی که در مدیریت این جنگل‌ها به‌کار گرفته می‌شود جنگلداری شهری گفته می‌شود (Nilon, 1991).

اهمیت گیاهان، به‌ویژه درختان، در پالایش و کاستن آلودگی‌های گوناگون هوا، صدا و نور و زیباسازی محیط زیست بسیار زیاد است (روحانی، ۱۳۸۴; Glaeser and Kahn, 2010). در دنیایی که شهرنشینی اجتناب‌ناپذیر است، توسعه فضای سبز و پوشش گیاهی در شهرها اقدامی ارزشمند است تا بدین‌وسیله بتوان تا اندازه‌ای روح طبیعت را به پیکره مرده شهرها دمید. استقرار درخت یک نیاز مداوم و پیوسته در جنگل و فضای سبز شهری است که به‌منظور جایگزینی درختان مرده، غنی‌سازی توده‌های درختی و بهبود مناظر جدید استفاده می‌شود. در این راستا انتخاب درختان، مکان‌یابی، کاشت، مراقبت و ارزیابی در طراحی جنگلکاری اهمیت دارد (ایرانی بهبهانی و رازی‌مفتخر، ۱۳۸۴). فعالیت‌هایی از قبیل کمربند سبز، پارک، درختکاری در حاشیه خیابان‌ها، بزرگراه‌های داخل و خارج از شهرها، مدیریت درختکاری در مناطق مسکونی، همه و همه در راستای جنگلکاری شهری است (Carter, 2001).

کارکردهای اقتصادی این مجموعه می‌تواند مانند ارزش اقتصادی تولید چوب و دیگر فرآورده‌ها به‌صورت مستقیم یا به‌طور غیرمستقیم با صرفه‌جویی در مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی محاسبه شود (Payton et al., 2008). در مورد نحوه کاشت درختان در اطراف ساختمان‌ها، تعداد اشکوب‌ها، برای کاشت و اثر این اقدامات بر مقدار مصرف انرژی مبنای علمی

چندانی ارائه نشده است. آنچه از طرف شهرداری‌ها به‌عنوان الگوی کاشت ارائه شده، بیان‌کننده الگویی بهینه نیست و به‌خصوص جایگاه طراحی کاشت در رابطه با کاهش مصرف انرژی در آن مدنظر قرار نگرفته است. شاید یکی از دلایل چنین نقصانی پیچیدگی محاسبات باشد. از سویی ارزیابی آثار اقدامات و شیوه‌های مختلف جنگلکاری باید پس از سپری شدن زمان به‌نسبت طولانی به اندازه عمر درخت انجام گیرد. از این‌رو انتخاب بهینه‌ترین طراحی درختکاری باید در شرایطی انجام گیرد که بتوان گزینه‌های مختلف طراحی را در کوتاه‌ترین زمان انجام داد. برای معماران و مهندسان، راهکار مناسب در این زمینه شبیه‌سازی است (قیابکلو، ۱۳۸۸).

استفاده از شبیه‌سازی به‌وسیله نرم‌افزار دیزاین بیلدر روشی کمی است که از آن برای بررسی و ارزیابی گزینه‌های گوناگون استفاده می‌شود (رنجگری، ۱۳۷۷). چنانچه هزینه و زمان اعمال تغییرات پیشنهادی زیاد باشد (مانند درختکاری و توسعه فضای سبز)، شبیه‌سازی می‌تواند بسیار مفید باشد و حتی در مواردی که هنوز سیستم در عمل خلق نشده و فقط درباره روابط نظری آن اطلاعاتی در دسترس است، این ابزار تنها راه‌حل است (کرمی، ۱۳۸۷).

کاشت گیاهان در محل‌های مناسب تأثیر مهمی در کاهش سرعت و تغییر جهت و در نتیجه تغییر در کمیت تبادلات هوایی و کاهش انرژی مصرفی ساختمان برای گرمایش دارد. در فصول مختلف سال، درختان با ایجاد مانع در مقابل باد و تابش خورشید بر مقدار مصرف انرژی در ساختمان‌ها مؤثرند (Heisler and DeWalle, 1988; Miller, 1988). نهرلی، (۱۳۸۱). چیدمان درختان نیز در حد کارایی آنها در کاهش مصرف انرژی مؤثر است (Mcpherson, 1994; Wang et al., 2003).

در پژوهش حاضر با توجه به تأثیر درختان بر میزان مصرف انرژی، الگوهای مختلف کاشت درختان

آتریوم انجام گرفت و ۷۲ داده از هر دستگاه استخراج شد. در مرحله بعد، برای اعتبارسنجی داده‌های نرم‌افزار، نمودارهای دما و رطوبت نسبی ثبت‌شده از ساختمان شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر با اطلاعات واقعی ثبت‌شده توسط حسگرهای حرارتی و رطوبتی مقایسه شد. مقدار مصرف انرژی سالیانه این ساختمان براساس صورتحساب‌های سالیانه مصرف انرژی (برق و گاز) محاسبه شد. با اجرای اعتبارسنجی و بر فرض اینکه هرگونه شبیه‌سازی و تغییرات در محیط دیزاین بیلدر با واقعیت تطبیق‌پذیر است، مدل اولیه براساس مشخصات فنی رایج و استاندارد ساختمان‌های اداری در ایران شبیه‌سازی شد. در انتخاب مصالح، از گزینه‌های موجود در نرم‌افزار دیزاین بیلدر که بیشترین تطابق را با مصالح واقعی داشت استفاده شده است.

در همه مدل‌ها نسبت پنجره‌ها ۳۰ درصد و به‌صورت یک‌جداره تعریف شد. سیستم General energy code (پیش فرض نرم‌افزار) با توجه بیشترین تطابق با سیستم تعدیل دما برای شهر تهران انتخاب شد. در مرحله بعد، از بین مدل‌های مختلف کاشت شامل یک‌اشکوبه و دواشکوبه، فاصله کاشت ۵ و ۱۰ متر از دیوار ساختمان و جهت‌های مختلف کاشت در اطراف ساختمان، اقدام به مدلسازی شد (شکل‌های ۲ و ۳).

به‌منظور مدلسازی گونه درختی در این تحقیق از ۵۰ درخت کاج تهران با قطر برابر سیئه ۱۰ تا ۱۵ سانتی‌متر در مناطق مجاور منطقه مورد بررسی آماربرداری شد. متوسط ارتفاع تنه و ارتفاع کل با دستگاه هاگا تعیین شد. قطر تاج نیز با متر نواری بر اساس تصویر تاج بر روی زمین اندازه‌گیری شد (جدول ۱). این داده‌ها در تیر ماه ۱۳۹۲ برداشت و برای مدلسازی درخت در نرم‌افزار استفاده شد.

کاج تهران<sup>۱</sup> و طاووسی<sup>۲</sup> به‌عنوان کمربند سبز در اطراف یک ساختمان اداری بررسی شد. کاج تهران یکی از گونه‌های با دامنه سازگاری زیاد است که در اصل بومی گرجستان است، اما در بسیاری از مناطق کشور به‌ویژه تهران به‌دلیل توان سازگاری زیاد با شرایط اقلیمی و آدافیکی مختلف در فضای سبز شهری کاربرد گسترده و موفق داشته است (حسینی و همکاران، ۱۳۸۶). در این بررسی مدلسازی با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی شهر تهران و دستورالعمل ارائه‌شده و رایج کاشت در قالب مدل‌های مختلف، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر به‌عنوان یک نرم‌افزار جامع در مدلسازی ساختمان انجام گرفت تا بهینه‌ترین الگوی کاشت در راستای کاهش مصرف انرژی معرفی شود.

#### مواد و روش‌ها

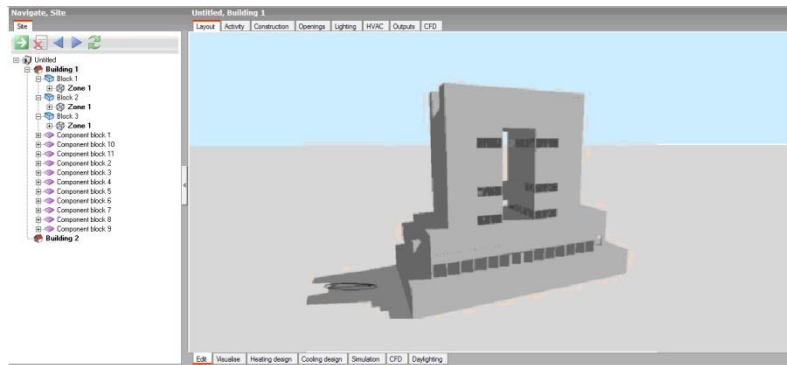
این پژوهش در منطقه ۶ شهرداری تهران و براساس الگوی ساختمان مرکزی راه آهن جمهوری اسلامی ایران اجرا شد. برای مدلسازی ساختمان از جنبه‌های مختلف مثل فیزیک ساختمان (مصالح ساختمانی)، معماری ساختمان و سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی از نرم‌افزار دیزاین بیلدر نسخه ۳,۲,۰,۰۷۰ و موتور انرژی پلاس<sup>۳</sup> استفاده شده است. برای اعتبارسنجی نرم‌افزار در شبیه‌سازی شرایط محیط واقعی، ابتدا ساختمان اداری راه آهن تهران به‌عنوان نمونه مورد بررسی در بهینه‌سازی مصرف انرژی در رابطه با درختکاری در نرم‌افزار دیزاین بیلدر شبیه‌سازی شد (شکل ۱).

در مدت سه شبانه‌روز کاری در فصل تابستان با قرار دادن حسگرهای حرارتی و رطوبتی مدل جی ۹۸۵۸۶ ثبت ساعتی همزمان دما و رطوبت در ساختمان راه آهن تهران به‌عنوان ساختمان دارای

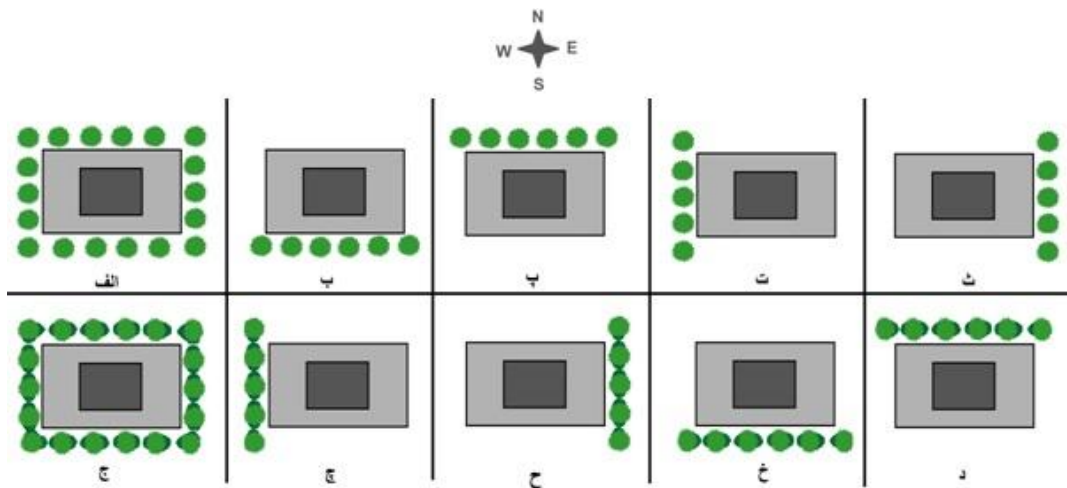
1 *Pinus eldarica*

2 *Spartium janceum*

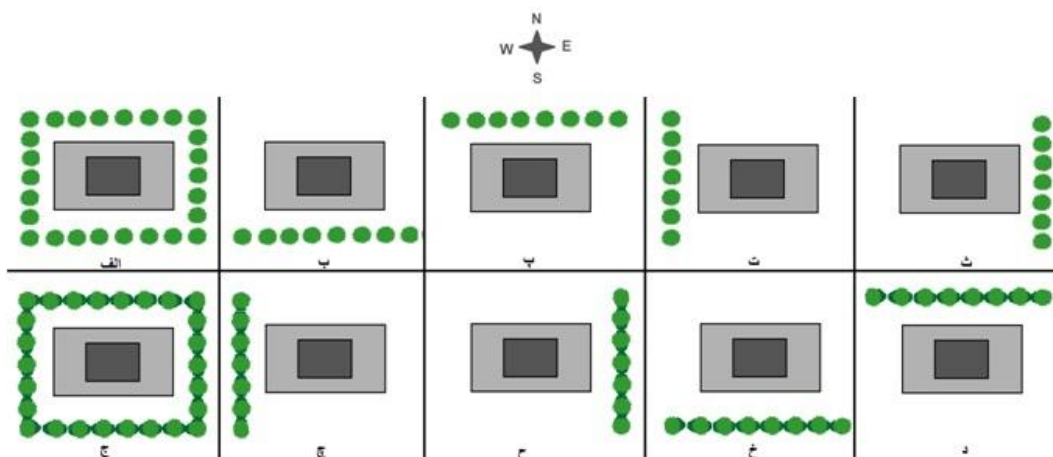
3 Energy plus



شکل ۱- مدل هندسی شبیه‌سازی شده ساختمان راه آهن تهران



شکل ۲- استقرار درختان در فاصله ۵ متر به صورت یک‌اشکوب و دواشکوب در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر (الف، ب، پ، ت و ث: یک‌اشکوبه - ج، چ، ح، خ و د: دواشکوبه)



شکل ۳- استقرار درختان در فاصله ۱۰ متر به صورت یک‌اشکوب و دواشکوب در محیط نرم‌افزار دیزاین بیلدر (الف، ب، پ، ت و ث: یک‌اشکوبه - ج، چ، ح، خ و د: دو اشکوبه)

جدول ۱- مشخصات کاج تهران بر اساس اندازه‌گیری انجام گرفته در شهر تهران

ارتفاع کل (متر)	ارتفاع تنه (متر)	قطر تاج (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)
۴/۶۷± (۰/۷۲)	۲/۵۲± (۰/۷۱)	۲/۶۱± (۰/۳۴)	۱۳/۲۲± (۰/۱۱)

اعداد داخل پرانتز انحراف معیار هستند.

واریانس دوطرفه برای بررسی اثر متقابل فاصله و مدل کاشت بر مقدار مصرف انرژی در حالت‌های یک‌اشکوب و دو‌اشکوب استفاده شد. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۶ استفاده شد.

### نتایج

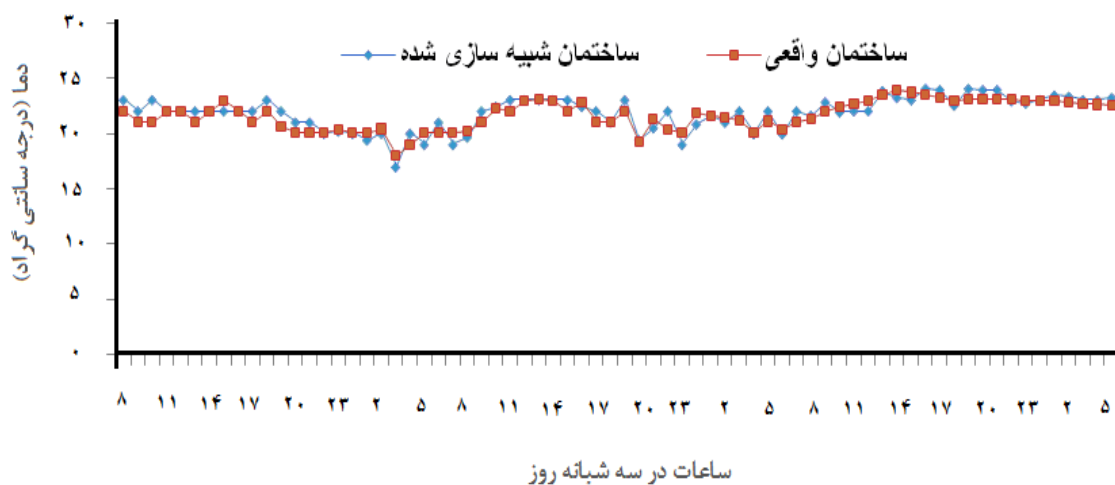
#### اعتبارسنجی نرم‌افزار دیزاین بیلدر

نتایج نشان داد که بین ساختمان شبیه‌سازی شده در این تحقیق و ساختمان واقعی از نظر میانگین دما، رطوبت نسبی و انرژی مورد نیاز اختلاف آماری معنی‌داری وجود ندارد ( $Sig > 0/05$ ) که نمودارهای مربوط نیز انطباق را تأیید می‌کنند (شکل‌های ۴، ۵ و ۶). از این رو می‌توان گفت هر نوع تغییر و مدلسازی در نرم‌افزار به‌مقدار زیادی بر واقعیت انطباق دارد.

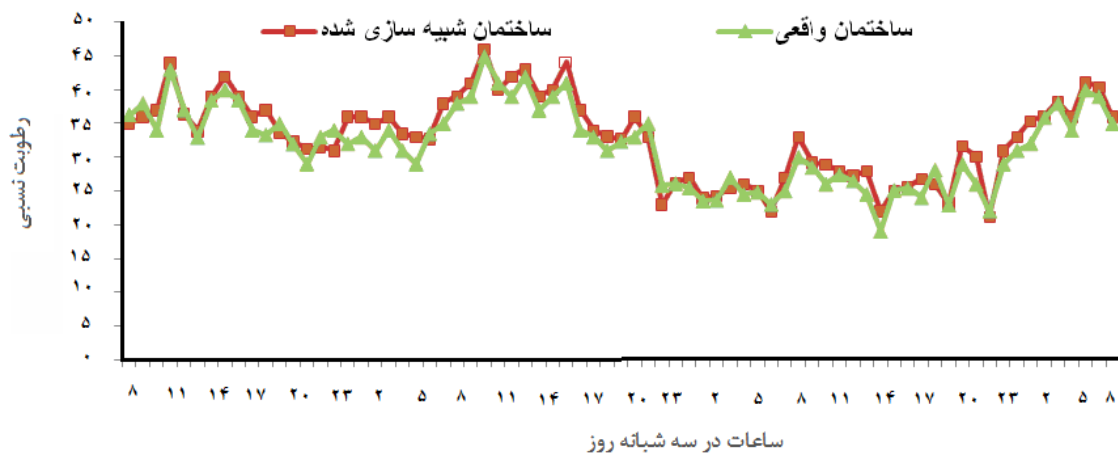
فاصله کاشت نیز بر اساس دستورالعمل سازمان پارک‌ها و فضای سبز تهران برای درختان بلند، ۶ متر در نظر گرفته شد. در اشکوب دوم نیز گونه‌های درختچه‌ای با ارتفاع ۲ متر در نظر گرفته شد و الگوی تاج گونه طاووسی که در بسیار از مناطق شهر در زیراشکوب و کنار کاج تهران به‌صورت موفقیت‌آمیزی دیده می‌شود مدنظر قرار گرفت.

#### تجزیه و تحلیل داده‌ها

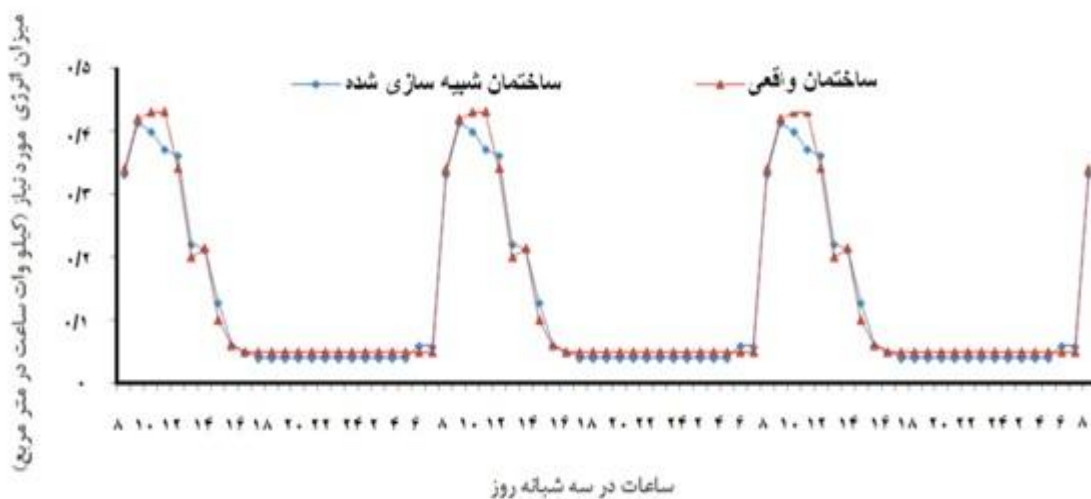
نرمال بودن داده‌ها در هر یک از گروه‌ها به‌وسیله آزمون کولموگروف اسمیرنوف و همگن بودن داده‌ها با استفاده از آنالیز لون بررسی شد. با توجه به نرمال و همگن بودن داده‌ها از آنالیز تجزیه واریانس یک‌طرفه برای بررسی اختلاف مقدار مصرف انرژی سالانه در متر مربع ساختمان در حالت‌های مختلف درختکاری استفاده شد. آزمون دانکن نیز به‌منظور مقایسه چندگانه میانگین‌ها به‌کار گرفته شد. از تحلیل



شکل ۴- مقایسه دمای ثبت شده توسط حسگرهای حرارتی در ساختمان راه‌آهن و دمای شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار دیزاین بیلدر در طول سه شبانه‌روز



شکل ۵- مقایسه مقدار رطوبت نسبی ثبت شده توسط حسگر در ساختمان راه آهن و رطوبت نسبی شبیه سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر در طول سه شبانه روز



شکل ۶- مقایسه مصرف انرژی در ساختمان راه آهن و ساختمان شبیه سازی شده در نرم افزار دیزاین بیلدر در سه شبانه روز

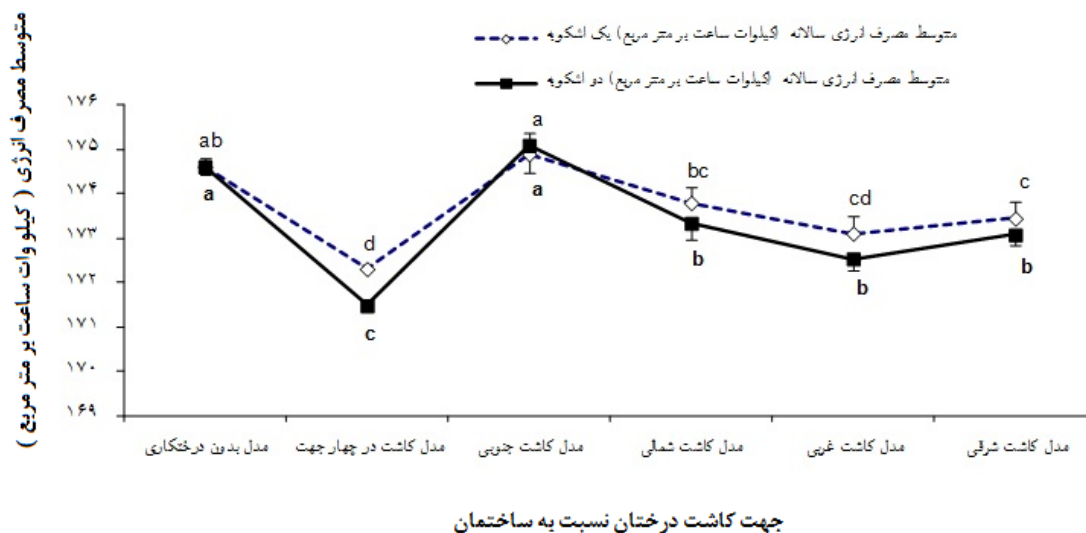
نسبت به حالت بدون درختکاری شد. همچنین درختکاری به طور همزمان در تمام جهات اطراف ساختمان کمترین مصرف انرژی را نسبت به مدل بدون درخت و دیگر مدل های درختکاری داشته است. درختکاری در جهت جنوبی ساختمان، مصرف انرژی بیشتری همانند مدل پایه نشان داد. در بین دیگر مدل های درختکاری، پس از مدل کاشت چهارطرفه که کمترین مقدار مصرف را داشت، به ترتیب مدل های شمالی، شرقی و غربی بیشترین مصرف انرژی را داشتند. براساس آزمون مقایسه میانگین دانکن در

بررسی متوسط مصرف انرژی سالانه در هر متر مربع ساختمان در درختکاری در فاصله ۵ متر به صورت یک و دو اشکوب

بررسی متوسط مصرف انرژی سالانه در ساختمان نشان داد که در هر دو حالت یک و دو اشکوب بین مدل های مختلف براساس تحلیل واریانس یک طرفه اختلاف آماری معنی داری وجود دارد ( $p < 0.01$ ). براساس آزمون مقایسه میانگین دانکن در حالت یک اشکوب، به طور کلی درختکاری موجب کاهش مقدار متوسط مصرف انرژی سالانه در ساختمان اداری

تا بیشترین مصرف انرژی را نشان داده‌اند. بررسی همزمان هر دو حالت یک و دو اشکوب نشان داد که روند مشابهی در تغییر مقدار مصرف انرژی وجود دارد، اما در کل مقدار مصرف انرژی سالانه در حالت یک‌اشکوبه بیشتر از دو اشکوبه بود (شکل ۷).

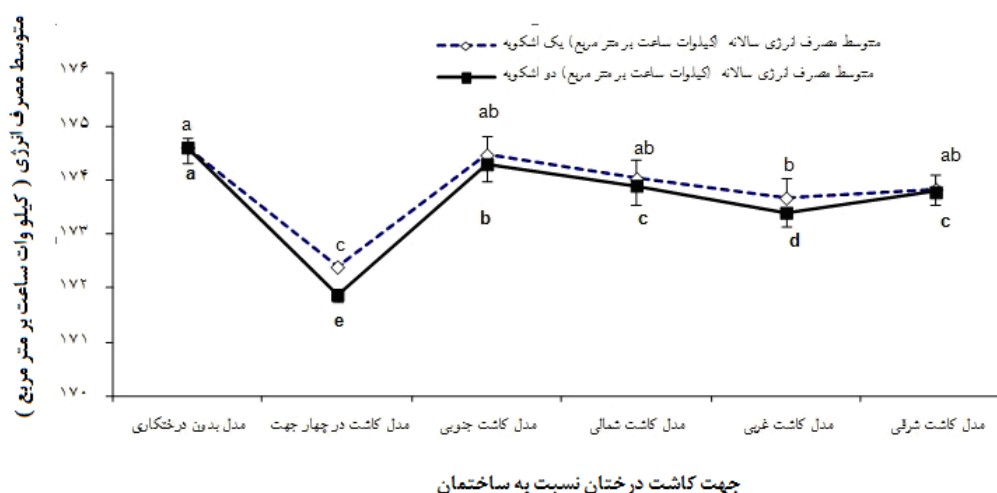
حالت دواشکوب، باز هم درختکاری (به‌جز در جهت جنوب) موجب کاهش مصرف انرژی نسبت به مدل پایه (بدون درخت) شد. در بین مدل‌های مختلف، مدل چهار جهت کاشت بیشترین کاهش مصرف انرژی را داشت. در بین مدل‌های کاشت در یک طرف، مدل غربی، شرقی، شمالی و جنوبی به ترتیب کمترین



شکل ۷- مصرف انرژی سالانه در متر مربع ساختمانی که در فاصله ۵ متری آن درختکاری یک و دواشکوب وجود دارد (یک‌اشکوبه و دواشکوبه جداگانه تجزیه و تحلیل شد و حروف یکسان بیانگر نبود تفاوت معنی‌دار آماری است).

جهت جنوبی ساختمان، مصرف انرژی را در هر دو حالت یک و دواشکوبه افزایش داد. براساس آزمون مقایسه میانگین دانکن در هر دو حالت یک و دواشکوب، درختکاری در جهت کاشت غربی کمترین مصرف انرژی را داشت. جهت شمالی و شرقی از این نظر تفاوت معنی‌داری نشان ندادند. جهت جنوبی نیز بیشترین مصرف انرژی را نشان داد. بررسی همزمان هر دو حالت یک و دواشکوب در فاصله ۱۰ متری از ساختمان نشان داد که روند مشابهی در تغییر مقدار مصرف انرژی وجود دارد؛ اما در کل مقدار مصرف انرژی سالانه در حالت یک‌اشکوبه بیشتر از دواشکوبه بود (شکل ۸).

بررسی متوسط مصرف انرژی سالانه در هر متر مربع ساختمان در حالت‌های درختکاری در فاصله ۱۰ متر به صورت یک و دواشکوب  
بررسی متوسط مصرف انرژی سالانه نشان داد که در هر دو حالت یک و دواشکوب بین مدل‌های مختلف براساس تحلیل واریانس یکطرفه اختلاف آماری معنی‌داری وجود دارد. براساس آزمون مقایسه میانگین دانکن در حالت یک و دواشکوب، درختکاری موجب کاهش مقدار متوسط مصرف انرژی سالانه در ساختمان اداری نسبت به حالت بدون درختکاری شد. همچنین درختکاری در فاصله ۱۰ متر از ساختمان در تمام جهات اطراف ساختمان کمترین مصرف انرژی را نسبت به دیگر مدل‌ها داشت. درختکاری فقط در



شکل ۸- مصرف انرژی سالانه در متر مربع ساختمانی که در فاصله ۱۰ متری آن درختکاری یک و دو اشکوب وجود دارد (یک اشکوبه و دو اشکوبه جداگانه تجزیه و تحلیل شده و حروف یکسان بیانگر نبود تفاوت معنی دار آماری است).

معنی داری ندارد. اثر همزمان فاصله کاشت و نوع مدل در حالت یک اشکوبه بر مقدار مصرف انرژی معنی دار نبود ( $p > 0.05$ ). به عبارتی متوسط مصرف انرژی در دو فاصله ۵ و ۱۰ متر در تمام مدل ها برابر است. به طور کلی، تفاوت مقدار مصرف انرژی بیشتر وابسته به نوع مدل هاست تا فاصله کاشت و این را از روی سطح معنی داری می توان درک کرد. در حالت دو اشکوب تأثیر جداگانه متغیر مدل بر مقدار مصرف انرژی معنی دار ( $p < 0.01$ ) بود؛ یعنی بین مدل های مختلف از نظر مقدار مصرف انرژی اختلاف وجود دارد.

**اثر متقابل فاصله کاشت و مدل بر مقدار مصرف انرژی**

نتایج بررسی معنی داری کل مدل و همچنین تأثیر جداگانه هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته در جدول ۲ نشان داده شده است. بر این اساس در حالت یک اشکوب، تأثیر جداگانه مدل ( $p < 0.01$ ) بر مقدار مصرف انرژی معنی دار بوده است. یعنی بین مدل های مختلف از نظر مقدار مصرف انرژی اختلاف وجود دارد. در مورد تأثیر متغیر فاصله کاشت بر مصرف انرژی، بر اساس مقدار آزمون F ( $p > 0.05$ ) اختلاف معنی داری وجود نداشت. یعنی میانگین مصرف انرژی در دو فاصله ۵ و ۱۰ متر یکسان است و تفاوت آماری

جدول ۲- تأثیرات بین آزمودنی ها (آزمون مدل)،

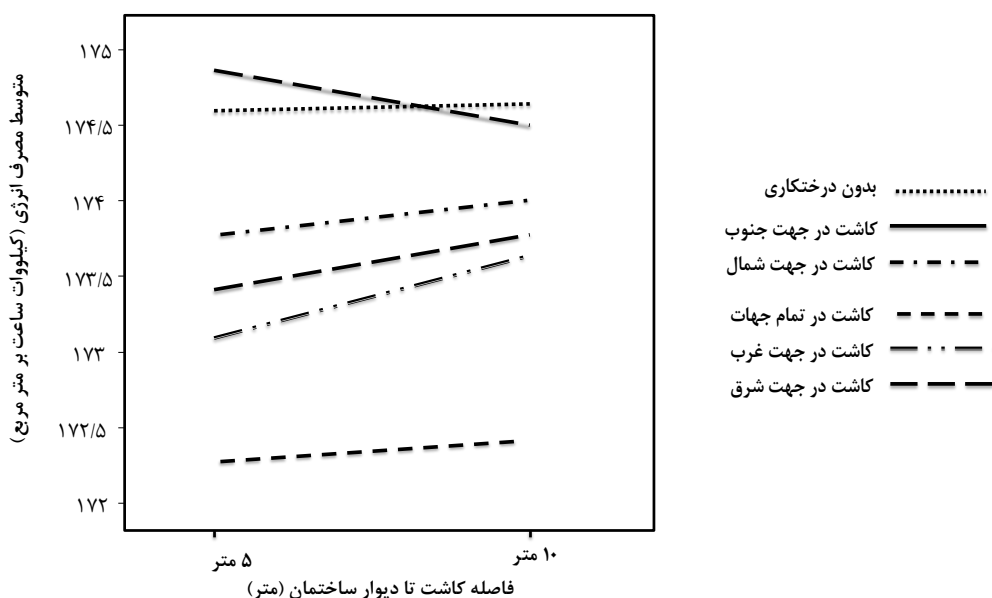
نتایج بررسی معنی داری کل مدل و همچنین تأثیر جداگانه هر متغیر مستقل بر متغیر وابسته

اشکوب	منبع تغییرات	df	میانگین مربعات	F	سطح معنی داری
یک اشکوب	مدل	۵	۱۸	۸	۰/۰۰۰
	فاصله تا دیوار	۱	۰/۷۳	۰/۳۵	۰/۵۳
	مدل × فاصله تا دیوار	۵	۰/۷	۰/۳۳	۰/۸
دو اشکوب	مدل	۵	۳۱	۴۲	۰/۰۰۰
	فاصله تا دیوار	۱	۲/۹	۳/۹	۰/۰۴۹
	مدل × فاصله تا دیوار	۵	۲/۲	۳	۰/۰۱۳

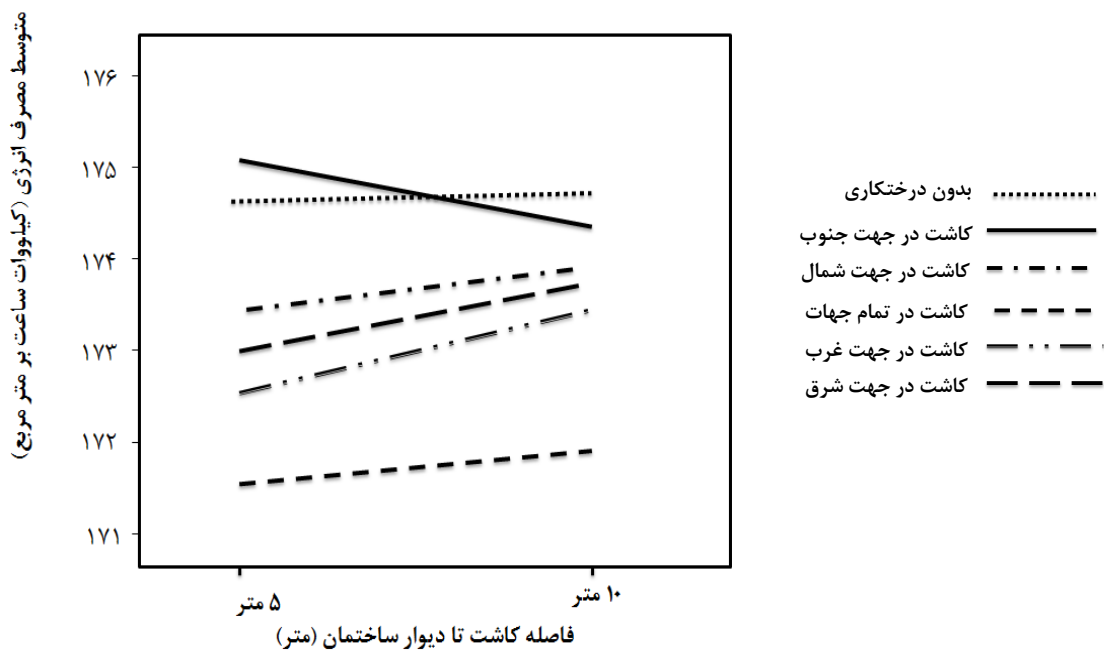


متر نسبت به ۵ متر بیشتر است. اثر همزمان فاصله کاشت و نوع مدل در حالت دواشکوب بر مقدار مصرف انرژی معنی‌دار بود ( $p < 0.05$ ). به عبارتی متوسط مصرف انرژی در دو فاصله ۵ و ۱۰ متر در مدل‌ها اختلاف دارد (جدول ۲ و شکل‌های ۹ و ۱۰).

در مورد تأثیر متغیر فاصله کاشت بر مصرف انرژی، براساس مقدار آزمون F اختلاف معنی‌داری ( $p < 0.05$ ) وجود داشت. یعنی میانگین مصرف انرژی در دو فاصله ۵ و ۱۰ متر متفاوت است. به‌طور کلی در همه مدل‌ها به جز جهت جنوبی مقدار مصرف انرژی در فاصله ۱۰



شکل ۹- متوسط مصرف انرژی در فاصله ۵ و ۱۰ متر براساس مدل کاشت در حالت یک‌اشکوب



شکل ۱۰- متوسط مصرف انرژی در فاصله ۵ و ۱۰ متر بر اساس مدل کاشت در حالت دواشکوب

## بحث

انسان اکنون از لحاظ صرفه‌جویی در انرژی در موقعیتی قرار دارد که هیچ‌گاه تا بدین حد بحرانی نبوده است (مدنی و همکاران، ۱۳۹۱). برای اجرای استانداردها و معیارهای دائمی صرفه‌جویی در انرژی، تعیین و کنترل دقیق مصرف انرژی در ساختمان، اهمیت حیاتی دارد (Iwano and Mwashu, 2010). شهرنشینی موجب افزایش مصرف انرژی، افزایش گازهای گلخانه‌ای و تهدید جدی برای آینده بشر شده است، چنین مشکلاتی با موضوع تغییر اقلیم در بعد جهانی نگران‌کننده است (Akbari et al., 1990). برای کاهش مصرف انرژی، علاوه بر طراحی داخلی، می‌توان از ابزارهای دیگر از قبیل جنگلکاری شهری و کمربندهای سبز درختی استفاده شود. دامنه اثر جنگلداری شهری بر کاهش این مشکلات ناگوار وابسته به وجود و به‌کارگیری روش‌های مناسب کمی کردن مصرف انرژی و هزینه‌های آن در حالت‌های مختلف جنگلکاری و نشان دادن مزایای بالقوه آن است (Rowntree, 1998).

(Simpson, 2002) با برآورد حدتأثیر درخت بر مقدار مصرف انرژی در رابطه با ساختار جنگل شهری بیان کرد که اندازه و محل کاشت درخت به دلیل پیچیدگی آثار متقابل درخت، خورشید و ساختمان دشوار است، اما سایه‌اندازی درخت با تغییر تابش اشعه خورشید به ساختمان می‌تواند موجب تغییر مقدار مصرف انرژی سرمایشی ساختمان شود. جنگلداری شهری، صرف انرژی را از راه‌های مختلف مانند سایه‌اندازی و ممانعت از برخورد مستقیم نور خورشید، تبخیر و تعرق که آب گیاهان را به بخار تبدیل می‌کند و در نتیجه با ایجاد رطوبت موجب خنک شدن هوا می‌شود، و کاهش سرعت باد که نفوذ هوای بیرون را کاهش می‌دهد (Donovan and Butry, 2009; Simpson and McPherson, 2003) متعادل می‌کند. مدل‌های درختکاری باید براساس خصوصیات ساختمان‌ها و شرایط اقلیمی منطقه طراحی و معرفی شوند

(Rowntree, 1998). تغییر موقعیت استقرار درختان نسبت به ساختمان و ابعاد آنها بر مقدار و طول مدت سایه‌اندازی آنها بر ساختمان اثرگذار است (Simpson, 2002). نتایج تحقیق ما نیز نشان داد که با تغییر محل کاشت درختان نسبت به ساختمان، مقدار مصرف انرژی تغییر معنی‌داری کرده است. به‌طوری‌که براساس نتایج این بررسی، درختکاری در تمام جهات ساختمان کمترین مقدار مصرف انرژی را نسبت به مدل بدون درخت و دیگر مدل‌های درختکاری داشت. وجود ردیف‌های درختی در تمام جهات ساختمان در تابستان با ایجاد سایه از گرم شدن محیط داخل ساختمان جلوگیری می‌کند. در زمستان نیز درختان از وزش بادهای سرد به دیواره ساختمان ممانعت می‌کنند و یک دیواره عایق (محبوس کردن هوا) در اطراف ساختمان پدید می‌آورند. بنابراین درختکاری در تمام جهات ساختمان، مصرف انرژی سالانه (گرمایش و سرمایش) را کاهش می‌دهد. درختکاری فقط در جهت جنوبی ساختمان مصرف انرژی زیادی، مشابه مدل پایه نشان داده است. دریافت نور غالب در جهت جنوبی و ممانعت درخت از دریافت این نور در زمستان ممکن است علت چنین نتیجه‌ای باشد. در تابستان نیز برخلاف مدل کاشت در تمام جهات که سایه مناسبی در مقابل نور خورشید در ساعات مختلف روز ایجاد می‌کند، مدل کاشت در جهت جنوبی با سایه‌اندازی یکطرفه در سایه‌اندازی و خنک شدن محیط داخلی ناموفق‌تر بوده است. در بین دیگر مدل‌های درختکاری، پس از مدل کاشت چهارطرفه که کمترین مصرف را داشته است، مدل غربی-شرقی، و مدل شمالی کمترین تا بیشترین مصرف انرژی را نشان دادند. کاشت گیاهان در محل‌های مناسب تأثیر مهمی در کاهش سرعت و تغییر جهت و در نتیجه تغییر در کمیت تبادل هوایی و کاهش انرژی مصرفی ساختمان برای گرمایش دارد. هیسلر در سال ۱۹۸۹ گزارش داد که کاهش سرعت باد به اندازه ۹۰-۵۰ درصد در طول تابستان توسط شاخه‌های خزان‌کننده و در طول

درخت در جهت غرب و یک درخت در جهت شرق ۱۰ تا ۱۵ درصد انرژی مصرفی برای سرمایش کاهش یافت. درختان در جهت غربی ساختمان در تابستان سایه مناسب و در زمستان سایه کمی دارند این مسئله در کاهش مصرف انرژی ساختمان اثر چشمگیری دارد (Doick and Hutchings, 2013). که با نتایج تحقیق ما مبنی بر کاهش بیشتر مصرف انرژی در درختکاری یکجانبه غربی تطابق دارد. نتایج این بررسی نشان داد که درختکاری یک و دواشکوب در هر دو فاصله ۵ و ۱۰ متر به طور کلی موجب کاهش متوسط مصرف انرژی سالانه در ساختمان اداری نسبت به حالت بدون درختکاری شده است. بررسی همزمان هر دو حالت یک و دواشکوب نشان می‌دهد که روند مشابهی در تغییر مقدار مصرف انرژی در جهات مختلف کاشت وجود دارد؛ اما در کل در این بررسی مقدار مصرف انرژی سالانه در حالت یک‌اشکوبه بیشتر از دواشکوبه بود. این نتیجه می‌تواند بیانگر افزایش کارایی کمر بند درختی با پر شدن دیواره در حالت دواشکوبه باشد. ارتفاع درختان نیز به عنوان عامل مهمی در تغییر عملکرد درخت در رابطه با ساختمان مطرح شده است (McPherson and Simpson, 2003). این ویژگی در رابطه با تغییر مقدار گذردهی عوامل محیطی بخصوص باد و نور با تغییر ابعاد درختان است. محاسبات نشان می‌دهد که ۶۰-۷۰ درصد انرژی گرمایی که گیاه جذب می‌کند صرف تبخیر و تعرق می‌شود. این پدیده می‌تواند دمای سطوح ساختمان‌ها و نیاز به انرژی برای سرمایش را در فصول گرم به میزان ۱۷ درصد کاهش دهد. این ویژگی گیاهان در اقلیم‌های گرمسیری می‌تواند بسیار حایز اهمیت باشد (نهرلی، ۱۳۸۱). همان‌طور که تحقیقات نشان می‌دهد انرژی مصرفی برای خنک کردن خانه‌هایی که درخت با تراکم مناسب در اطراف آنها وجود دارد کمتر است (Miller, 1988). از این رو تغییر و چیدمان عمودی که با اشکوب‌بندی میسر می‌شود با ایجاد دیواره مترکم‌تر می‌تواند از عوامل افزایش بهره‌برداری از مزایای درختان باشد. براساس نتایج این تحقیق، برعکس روند

زمستان نیز به واسطه مقاومت تنه‌ها در برابر سرعت باد امکان پذیر است و گیاهان، به‌ویژه درختان می‌توانند تا محدوده‌ای معادل ۲۵-۱۰ برابر ارتفاعشان را از تأثیرات باد حفظ کنند. در پنسیلوانیا کاشت درخت به‌عنوان بادشکن، سرعت باد را تا ۵۰ درصد کاهش داد و موجب ذخیره ۱۶/۶ درصد از انرژی گرمایی مصرفی خانه‌ها شد. همچنین مطالعات نشان داده است که یک پوشش جنگلی از درختان پهن‌برگ با وجود ایجاد محدودیت در مقابل نفوذ نور آفتاب، به میزان ۸ درصد در کاهش انرژی گرمایی مصرف‌شده در مقایسه با مناطق باز تأثیر داشته است (نهرلی، ۱۳۸۱). (Thayer and Maeda (1985). دریافتند که وجود درختان در حاشیه جنوبی موجب صرفه‌جویی سالانه در مصرف انرژی به میزان معادل ۶۰ دلار در پالم اسپیرینگ و ۱۶ دلار در ساکرامنتو در مقایسه با خانه‌های بدون درخت شد. در توکسون و میامی میزان صرفه‌جویی سالانه در مصرف انرژی برای هر خانه ۲۳۵ تا ۲۴۹ دلار محاسبه شده است (Mcpherson, 1994). (Simpson (2002). نیز نشان داد که مصرف انرژی برای خنک کردن ساختمان در حالت بدون درخت، به‌طور معنی‌داری بیشتر از حالت‌های مختلف درختکاری در جهت‌های شمالی، جنوبی، شرقی و غربی است.

شبیه‌سازی رایانه‌ای نشان داد که تحت تأثیر سایه درختان خیابان در فاصله ۵ تا ۱۰ متری جنوبی یک ساختمان در مقایسه با ساختمان بدون درخت، مصرف انرژی بیشتری است و این به دلیل محروم شدن ساختمان دارای درخت از اثر گرمایشی خورشید از نور جهت جنوبی است (Thayer and Maeda, 1985). این مسئله می‌تواند عامل زیاد بودن مصرف انرژی در درختکاری جهت جنوبی نسبت به دیگر جهت‌ها در تحقیق حاضر باشد. (Simpson and McPherson (1995). مورد اثر کاشت درختان بر صرفه‌جویی در مصرف انرژی در ساختمان در کالیفرنیا نشان دادند که وجود درخت در جهت غربی بیشترین کاهش مصرف انرژی را در پی دارد. آنها بیان کردند که تنها با کاشت دو

درختکاری در جهت جنوبی ساختمان موجب کاهش مصرف انرژی نشد. نتایج مدلسازی نشان داد که با افزایش فاصله درختکاری از ساختمان مصرف انرژی سالانه افزایش پیدا کرد. با توجه به اینکه درختکاری در جهت جنوبی موجب افزایش مصرف انرژی شده می‌توان گفت در فصل زمستان، ساختمان بخشی از انرژی گرمایشی مورد نیاز را از خورشید می‌گیرد و با توجه به میل بیشتر زاویه تابش خورشید، درختان جهت جنوبی سایه بیشتری بر ساختمان می‌اندازند و ساختمان از نور خورشید محروم می‌شود و انرژی حرارتی بیشتری برای گرمایش آن صرف می‌شود. از این رو می‌توان گفت درختان خزان‌کننده در زمستان سایه کمتری دارند و مناسب‌ترند.

#### منابع

- ایرانی بهبهانی، هما و نرمین رازی‌مفتخر، ۱۳۸۴. طراحی پایدار توسعه پارک جنگلی شیخ‌تپه ارومیه، محیط‌شناسی، ۳۱: ۸۹ - ۱۰۴.
- بیات، زبیده، ۱۳۹۳. عملکرد حرارتی خانه‌های حیاط مرکزی در اقلیم گرم و خشک، پایان‌نامه جهت دریافت کارشناسی ارشد، دانشگاه ایلام، دانشکده معماری، ۲۰۲ ص.
- قیابکلو، زهرا، ۱۳۸۸. آشنایی با نرم‌افزار اکوتکت، چاپ اول، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر، ۱۰۱ ص.
- کرمی، سمیه، ۱۳۸۷. تجزیه و تحلیل عوامل مؤثر در انتخاب گونه برای ایجاد فضای سبز حاشیه مسیرهای ریلی (بررسی موردی: مترو صادقیه - اکباتان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده منابع طبیعی، ۸۹ ص.
- حسینی، سید عطاله، محمدرضا پورمجیدیان، اصغر فلاح و مهدیس محمودیان، ۱۳۸۶. بررسی موفقیت کاج الدار برای ایجاد فضای سبز در تهران، محیط‌شناسی، ۴۲: ۷۵-۸۲.
- روحانی، غزاله، ۱۳۸۴. راهنمای انتخاب و کاشت درختان زینتی در فضای سبز، انتشارات آبیژ، ۱۷۴ ص.

کلی مقدار مصرف انرژی کاشت در جهت جنوبی در حالت دواشکوب بیشتر از یک‌اشکوب بود. در تابستان وجود دیواره متراکم تر با ایجاد اشکوب بیشتر می‌تواند سبب ایجاد سایه مناسب‌تر و کاهش مصرف انرژی مصرفی برای خنک کردن در تابستان شود. در حالت کاشت در جهت جنوبی با افزایش فاصله ردیف درخت از ساختمان مصرف انرژی کم شده است.

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که با افزایش فاصله کاشت، مصرف انرژی افزایش می‌یابد. بین مقدار مصرف انرژی ساختمان و فاصله درختان از ساختمان رابطه مستقیم وجود دارد و دلیل آن، کاهش آثار مثبت درختان با افزایش فاصله از ساختمان است. (Simpson and McPherson, 1995) نیز نشان دادند که اثر سایه درخت بر مقدار مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش تحت تأثیر مستقیم فاصله درختان ساختمان قرار می‌گیرد. آنها بیان کردند که اثر درختان با فاصله گرفتن درخت از ساختمان کم می‌شود که نتایج تحقیق حاضر نیز مؤید این موضوع است. مدلسازی طراحی کاشت درختان و ساختمان می‌تواند برای بررسی اثر درختان بر مصرف انرژی استفاده شود (Simpson et al., 1994; Carver et al., 2004) و براساس نتایج این تحقیق، نرم‌افزار دیزاین بیلدر چنین پتانسیلی را به خوبی نشان داده است که تأییدی بر قابلیت‌های زیاد این نرم‌افزار در مدلسازی است (بیات، ۱۳۹۱). هر چند بر اثر درختان بر تعدیل شرایط محیطی تأکید شده است (مرروی مهاجر، ۱۳۸۴) تأثیر آنها و الگوی بهینه چیدمان درختان به صورت کمی با توجه به عمر طولانی درختان و عدم امکان آزمایش و خطا در چنین شرایطی کمتر بررسی شده است. در این راستا مدلسازی امکان بررسی این گونه شرایط را با هزینه و زمان کم فراهم می‌کند. نتیجه‌گیری کلی این تحقیق این است که درختکاری در هر دو حالت یکو دواشکوبه بر مقدار مصرف انرژی در ساختمان اثر می‌گذارد. از نظر کاهش مصرف انرژی، درختکاری در جهت غربی ساختمان مناسب‌تر بود، درحالی‌که

- McPherson, E.G., 1994. Effects of vegetation on building energy performance. Academic Press, Syracuse, 490 pp.
- McPherson, E.G., and J.R. Simpson, 2003. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California, *Urban Forestry and Urban Greening*, 2(2): 73-86.
- Miller, R.W., 1988. Urban forestry planning and managing urban green space, Prentice Hall, New Jersey, USA. 1988 pp.
- Nilon, C.H., 1991. Classification of urban forests in three U.S. cities: a test of Moll's urban forest zone model, *Arboricultural Journal*, 15(3): 255-263.
- Payton, S., G. Lindsey, J. Wilson, J.R. Ottensman, and J. Man, 2008. Valuing the benefits of the urban forest: a spatial hedonic approach, *Journal of Environmental Planning and Management*, 51: 717-736.
- Rowntree, R.A., 1998. Urban forest ecology: conceptual points of departure, *Journal of Arboriculture*, 24: 62-71.
- Simpson, J.R., E.G. McPherson, and R.A. Rowntree, 1994. Potential of tree shade for reducing building energy use in the PG and E service area, final report to Pacific Gas and Electric company, San Francisco, California, 187 pp.
- Simpson, J.R., and E.G. McPherson, 1995. Impact evaluation of the Sacramento municipal utility district's shade tree program, final report, agreement no. 95-CL-004, Sacramento municipal utility district, monitoring and evaluation, Sacramento, California, 44 pp.
- Simpson, J.R., 2002. Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use, *Energy and Buildings*, 34(10): 1067-1076.
- Thayer, R. and B. Maeda, 1985. Measuring street tree impact on solar performance: a five-climate computer modeling study, *Journal of Arboriculture*, 11:1-12.
- Wang, F., T. Hunt, Y. Liu, W. Li, and S. Bell, 2003. Reducing space heating in office buildings through shelter trees, in: CIBSE/ASHREA Joint Conference, Edinburgh, October 24-27.
- رنجگری، علیرضا، ۱۳۷۷. شبیه‌سازی ابزاری نیرومند برای تصمیم‌گیری، مجله روشن، ۴۷: ۲۶-۳۴.
- مدنی، رامین، مهسا مختاری و مهران قرائتی، ۱۳۹۱. نقش آتریوم در بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان‌های اداری، دومین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت محیط‌زیست، تهران، ۱۷-۲۸.
- مروی‌مهاجر، محمدرضا. ۱۳۸۴. جنگل‌شناسی و پرورش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران، ۳۸۷ ص.
- نهرلی، داوود، ۱۳۸۱. بررسی نقش فضای سبز در بهینه‌سازی انرژی مصرفی ساختمان‌ها، مجله پیام سبز، ۱۰ و ۱۱: ۲۲-۳۰.
- Akbari, H., A.H. Rosenfeld, and H.Taha, 1990. Summer heat islands, urban trees and white surfaces, *ASHRAE Transactions*, 96 (1): 1381-1388.
- Carter, J., 2001. The potential of urban forestry in developing countries: a concept paper, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy. 90 pp.
- Carver, A.D., D.R. Unger, and C.L. Parks, 2004. Modeling energy savings from urban shade trees: an assessment of the CITY green® Energy conservation module, *Environmental Management*, 34(5): 650-655.
- Doick, K., and T. Hutchings, 2013. Air temperature regulation by urban trees and green infrastructure, Forest research, Forestry commission publications, 10 pp.
- Donovan, G.H., and D.T. Butry, 2009. The value of shade: Estimating the effect of urban trees on summertime electricity use, *Energy and Buildings*, 41(6):662-668.
- Glaeser, E.L., and M.E. Kahn, 2010. The greenness of cities: carbon dioxide emissions and urban development, *Journal of Urban Economics*, 67(3): 404-418.
- Heisler, G.M., and D.R. De Walle, 1988. Effects of windbreak structures on wind flow, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 22(23): 41-69.
- Iwano, J., and A. Mwasha, 2010. Implications of building energy standard for sustainable energy efficient design in buildings, *International Journal of Energy and Environment*, 1(5): 745-756.

## Modeling of optimal urban plantation approach to reducing energy consumption in building

M. Heydari<sup>1\*</sup>, S. Abdolazadeh<sup>2</sup>, S. Litkouhi<sup>3</sup>, and N. Nasrollahi<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Assistant Prof., Faculty of Agriculture, University of Ilam, I. R. Iran

<sup>2</sup> M.Sc., Department of Art and Architecture, University of Payame Noor, Tehran, I. R. Iran

<sup>3</sup> Assistant Prof., Department of Art and Architecture, University of Payame Noor, Tehran, I. R. Iran

<sup>4</sup> Assistant Prof., Faculty of Engineering, University of Ilam, I. R. Iran

(Received: 18 February 2014, Accepted: 24 June 2015)

### Abstract

Urban forests donate many environmental and economic benefits to the cities. The main benefits are reducing indoor heat by shading buildings, absorbing sunlight, reducing ultraviolet rays, cooling the air, and reducing wind speed. In this study different pattern of tree planting as a green belt around an office building (simulation of railway building) was examined for reduction of energy consumption. For this purpose, tree planting (as single and two storied rows) with distance of 5 m and 10 m from the building were considered. Design Builder software was used for modeling. *Pinus eldarica* and *Spartium janceum* morphological characteristics such as canopy diameter, height and diameter at breast height of trees measured and were included in the models. Results showed that there are significant differences between the different models and both one and two stories in terms of energy consumption in the building. Tree planting in all directions of building showed the highest reduction in energy consumption than one-side model. Among the one-sided model, tree planting on the west side of building was more suitable while tree planting on the south side of the building did not significantly reduce energy consumption. At both distances, 5 and 10 meters, from the wall in all models, two storied tree planting showed better efficiency than one-storied. The simulation results showed that there is a positive correlation between tree distance from the building and energy consumption.

**Keywords:** Energy consumption, Office building, Simulation, Urban forest.