نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۳۰، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵، ص. ۵۴۶-۵۳۷
شاپا: ۴۷۳۰ - ۲۰۰۸

Journal of Horticultural Science
Vol. 30, No. 3, Fall 2016, P. 537-546
ISSN: 2008 - 4730

# پیش‌بینی تاثیر فضای سبز بر تغییرات خرداقلیمی اماکن مسکونی مشهد طی گرم‌ترین دوره سال

زهرا کریمیان[1*]- علی تهرانی‌فر[2]- محمد بنایان[3]- مجید عزیزی[4]- فاطمه کاظمی[5]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۴/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۲۲

## چکیده

با توجه به رشد جمعیت و اقلیم گرم و خشک اکثر شهرهای ایران، تامین و ایجاد آسایش دمایی مناسب در دوره‌های گرم سال ضروری است. به منظور ارزیابی و شبیه‌سازی تاثیر درصد فضای سبز و پوشش گیاهی بر تغییرات دما، رطوبت نسبی و آسایش دمایی شهروندان در دو سایت مسکونی در مشهد، در گرم‌ترین دوره سال ۱۳۹۱ آزمایشی انجام شد. در این آزمایش داده‌های اقلیمی ثبت شده در این دو سایت و داده‌های اندازه‌گیری شده مربوط به سازه‌های شهری و پوشش‌گیاهی با استفاده از برنامه کامپیوتری ان‌وای‌مت مدلسازی و تجزیه و تحلیل شدند. خروجی‌های مدل نشان داد که به‌رغم اختلاف اندک دما و رطوبت نسبی بین سایت‌های واقعی و شبیه‌سازی شده با پوشش گیاهی، تفاوتی از نظر شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده وجود نداشت و هر دو سایت با وجود پوشش گیاهی شبیه‌سازی شده تا حدود ۱۹/۵ درصد، در محدوده تنش گرمایی بسیار شدید قرار داشتند.

**واژه‌های کلیدی:** پوشش گیاهی، دما، رطوبت، شاخص آسایش دمایی

## مقدمه

در دهه‌های اخیر به دلیل گسترش وسیع و سریع شهرها که همراه با افزایش تعداد ساختمان‌ها، خیابان‌ها، سنگفرش‌ها، و سایر سطوح دست ساز انسان بوده است، تغییرات ریزاقلیمی معنی‌داری در محدوده شهرها و محیط‌های پیرامون آن‌ها رخ داده است. گسترش و توسعه شهری باعث تغییر در توزیع بافت خاک، تغییر مسیر منابع آبی، کاهش میزان پوشش گیاهی، اضافه شدن مواد و مصالح ساختمانی به محیط، تغییر در توپوگرافی منطقه و ایجاد منابع آنتروپوژنیک حرارتی و آبی جدید خواهد شد. در نتیجه، توسعه شهری منجر به تغییر حالت فیزیویکی منظر و محیط زیست شده و عناصر شهری را از نظر هیدرولوژی، دمایی، تابش و آئرودینامیک تحت تاثیر قرار می‌دهد که خود باعث تغییر در تبادل حرارتی، توده‌ای و جنبشی بین سطح و اتمسفر خواهد شد (۱۱).

با در نظر گرفتن دو پدیده اقلیمی نامطلوب دمای بالا، یعنی جزایر گرمایی و گرمایش جهانی، تامین آسایش دمایی شهروندان در شهرهای بزرگ با اقلیم‌های گرم و خشک، بویژه در طی گرم‌ترین دوره‌های سال بسیار مهم و حیاتی است. به طور کلی در مناطق گرم دنیا به دلیل تشعشع زیاد و افزایش زاویه تابش خورشید به صورت عمودی، غالباً شرایط آسایش دمایی در فضای باز در طول روز از سطح استاندارد قابل قبول، بسیار بیشتر است. ایران نیز کشوری است که بیش از ۶۰ درصد وسعت آن یعنی مساحتی معادل ۱۰۴٫۶۴۴٫۶ کیلومترمربع در اقلیم خشک و فراخشک واقع شده است (۱۸). در این بین شهر مشهد به دلیل قرار گرفتن در اقلیم عرض میانی خشک و نیمه خشک، به ترتیب با ثبت میانگین و حداکثر درجه حرارت ۳۲ و ۴۳ درجه سانتی‌گراد در گرم‌ترین دوره سال (اواسط تیر-اواسط مرداد)، میانگین بارش سالانه ۲۴۱ میلی‌متر با حداقل بارندگی صفر میلی‌متر (در ماه جولای معادل اواسط تیر تا اواسط مرداد ماه) و میانگین و حداقل رطوبت نسبی به ترتیب ۳۶ و ۲ درصد در فصل تابستان و همچنین مشهد به عنوان دومین کلان شهر ایران با جمعیت ثابت ۲/۷ میلیون نفر و ۱۴ میلیون زائر در سال (۱ و ۱۶) یک نمونه بارز از کلان شهری با اقلیم خشک و دارای ماه‌های گرم می‌باشد که از نقطه نظر بررسی تاثیر پوشش گیاهی و فضای سبز و نقش آن بر آسایش دمایی شهروندان و مسافران طی دوره‌های گرم سال در جایگاه حساسی قرار گرفته است.

پوشش‌های گیاهی و فضای سبز کافی و مناسب در شهرها، علاوه بر زیباسازی آن‌ها اثرات مثبتی بر اقلیم منطقه‌ای دارد. لذا

۱- استادیار گروه گیاهان زینتی، پژوهشکده علوم گیاهی، دانشگاه فردوسی مشهد
(*- نویسنده مسئول: Email: zkarimian@um.ac.ir)
۲، ۴ و ۵- به ترتیب استادان و استادیار گروه باغبانی و مهندسی فضای سبز، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
۳- دانشیار گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

ضرورت فضای سبز از سال‌ها پیش در کشورهای مختلف دنیا بویژه کشورهای پیشرفته قابل احساس است. پوشش‌های گیاهی عمدتاً با سه روش سایه‌دهی، تبخیر و تعرق و شکست باد، باعث تغییر خرداقلیم در محیط پیرامون خود می‌شوند (۱۴). پوشش‌های گیاهی به طور غیرمستقیم نیز از طریق به دام انداختن رطوبت خاک می‌توانند بر محیط پیرامون خود تاثیرگذار باشند. در واقع درختان اجزای بیولوژیک شهری هستند که با محیط پیرامون خود از طریق تبادل گرما و بخار آب برهمکنش دارند (۵). درون یک ساختار شهری، کارایی اقلیمی پوشش گیاهی به نسبت سطوح سبز به سطوح ساختمانی، اندازه، جایگاه و همچنین ویژگی‌های گیاهی نظیر گونه، تراکم، شکل، اندازه، حجم، سن و غیره وابسته است. مزایای پوشش گیاهی بر بهبود آسایش دمایی با افزایش در میزان موارد نام برده شده، افزایش خواهد یافت (۴). پوشش‌های گیاهی بویژه درختان با تعدیل دما، رطوبت و باد، ریز اقلیمی به وجود می‌آورند که آسایش دمایی مناسبی برای زیست انسان در پی دارد (۲).

پیرماتر و همکاران (۱۹) و همچنین شاشوابار و همکاران (۲۲) گزارش کردند در فضاهای گرم و خشک شهری مانند مراکز شهرها، خنک‌سازی حاصل از تبخیر و تعرق فضای سبز و درختان می‌توانند به طور چشمگیری باعث بهبود آسایش دمایی انسان شوند.

علی‌تودرت و مایر (۳) در تحقیقی نشان دادند که سایه درختان می تواند آسایش دمایی افراد را در خیابان ها به طور چشمگیری بهبود ببخشد. در تحقیقی دیگر (۲) اگرچه تاثیر پوشش گیاهی و فضای سبز را تابع عوامل مختلف شهرسازی، ویژگی‌های هندسی خیابان‌ها و ساختمان‌ها و غیره می‌داند اما بر نقش موثر فضای سبز بر تغییرات مثبت خرداقلیمی و آسایش دمایی انسان نیز تاکید کرده است.

در مورد تاثیر پوشش گیاهی و فضای سبز شهری بر آسایش دمایی انسان در مناطق دارای تابستان‌های گرم مطالعات زیادی در سطح دنیا انجام نشده است. در ایران نیز با وجود اهمیت این مسئله به نظر می‌رسد تا امروز مقاله یا گزارش مکتوبی منتشر نشده است.

هدف از انجام این تحقیق ارزیابی و شبیه‌سازی تاثیر پوشش گیاهی و فضای سبز موجود و پیشنهادی بر آسایش دمایی انسان و تغییرات خرداقلیمی در اماکن مسکونی طی دوره‌های گرم سال در شهر مشهد با استفاده از مدل‌سازی و شبیه‌سازی در برنامه کامپیوتری ان‌وای‌مت[1] بود.

## مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تغییرات خرد اقلیمی و آسایش دمایی افراد طی گرم‌ترین دوره سال ۱۳۹۱ با کمک مدل ان‌وای‌مت در دو سایت، اقدام به داده‌برداری میدانی در یک منطقه مسکونی از شهر مشهد شد. ان‌وای‌مت یک مدل سه بعدی است که به منظور شبیه‌سازی برهمکنش‌های بین سطح، گیاه و هوا در محیط شهری و با رزولوشن ۱-۰/۵ متر در فضا و ۱۰ ثانیه در زمان طراحی شده است. فضای معمول برای کاربرد و استفاده این مدل اقلیم شهری، معماری، طراحی ساختمان و طراحی محیط است. این مدل کامپیوتری شامل چندین نرم افزار ویرایشی و ابزارهای تجسم گرافیکی برای خروجی و نتایج مدل است. در این مدل، پوشش گیاهی نه تنها از منظر یک مانع متخلخل در مسیر باد و تابش خورشیدی، بلکه به عنوان جسمی بیولوژیک که دارای فرایندهای فیزیولوژیکی تبخیر و تعرق و فتوسنتز می‌باشد در نظر گرفته شده‌است. انواع مختلف پوشش گیاهی با ویژگی‌های خاص در این مدل قابل استفاده است. این مدل دارای یک پایگاه داده برای گیاهان است که قابل توسعه می‌باشد و امکان اضافه کردن گیاهان جدید با مشخصات خاص در آن وجود دارد (۲).

دو سایت مسکونی مورد مطالعه در منطقه قاسم آباد مشهد واقع شده‌اند و علت انتخاب این منطقه جهت ارزیابی، بافت شهری نسبتاً جدید، وجود ساختمان‌های هم ارتفاع و تقریبا هم‌شکل و همچنین دارا بودن تراکم جمعیتی نسبتاً بالا بود که ارزیابی این دو سایت را توسط مدل ان‌وای‌مت دارای اهمیت و تسهیل می‌ساخت (شکل ۱).

به منظور اندازه‌گیری دما و رطوبت نسبی سایت‌ها، از دستگاه ثبت کننده دما و رطوبت[2] و برای ثبت سرعت باد از دستگاه ثبت کننده سرعت باد[3] استفاده شد.

در هر دو سایت به طور همزمان در طی گرم‌ترین دوره سال یعنی از اواسط تیر الی اواسط مرداد ماه (ماه جولای) سال ۱۳۹۱ و در بازه زمانی ۸ صبح الی ۱۸ بعد ازظهر دستگاه‌های ثبت کننده دما و رطوبت و همچنین دستگاه ثبت سرعت باد در ارتفاع ۱/۵ متری (ارتفاع میانگین قد انسان در حالت ایستاده و نشسته) از سطح زمین نصب شدند. این دستگاه‌ها، دما، رطوبت نسبی و سرعت باد را در بازه زمانی ذکر شده به صورت هر ۵ ثانیه یک‌بار ثبت کردند و سپس با انتقال داده‌های دستگاه‌های ثبت‌کننده به کامپیوتر، میانگین روزانه دما و رطوبت نسبی به صورت ساعتی و در ساعات ۱۸-۸ هر روز و منطبق با داده‌برداری استاندارد در ایستگاه‌های هواشناسی محاسبه شد. میزان ابرناکی آسمان به صورت چشمی و با اختصاص دادن اعداد اکتاز مناسب برای درصدهای مختلف پوشش ابری به دست آمد که بر حسب درصد بیان می‌شود. به عنوان مثال عدد هشت نشان دهنده پوشش تمام ابری و عدد صفر آسمان کاملا صاف است.

1- ENVI-met Computer Program

2- Standard ST-171, Temperature and Humidity Data Logger

3- Metal Vane Thermo-Anemometer/Datalogger-SDL300

**شکل ۱- اعداد ۱ و ۲ به ترتیب نشان دهنده: بلوک‌های مسکونی اندیشه و حسابی در مشهد (Google earth, 2014)**
**Figure 1- the Number 1 and 2 respectively, represent: Andishe and Hesabi residential blocks**

اگرچه گزارشات مختلف نشان می‌دهد که مدل ان‌وای‌مت در ارزیابی آسایش دمایی انسان و تغییرات خرداقلیم شهری پیش‌بینی و عملکرد دقیق و قابل اعتمادی دارد (۲) اما به منظور اعتبار سنجی این مدل، داده‌های واقعی یا اندازه‌گیری شده در هر سایت با داده‌هایی که از مدل ان‌وای‌مت در این سایت‌ها به دست آمده بود در طی ساعات ۱۱ الی ۱۵ (ساعاتی که از نظر بررسی آسایش دمایی افراد در طی دوره‌های گرم سال دارای اهمیت می‌باشند). جهت مقایسه با استفاده از الگوریتم جی‌ال‌ام[1] یا مدل خطی عمومی در نرم افزار مینی‌تب تجزیه واریانس شدند. در نهایت مشخص شد بین این دو گروه داده، تفاوت آماری معنی‌داری وجود ندارد که نشان می‌دهد مدل ان‌وای‌مت در هر سایت به درستی عمل شبیه‌سازی داده‌ها را انجام داده است و خروجی‌های این مدل در سایت‌های مورد بررسی در شهر مشهد قابل اعتماد است. مهم‌ترین داده‌های ورودی به مدل ان‌وای‌مت در جدول ۱ آمده است.

برای محاسبه ارزش یو[2] (نشان دهنده میزان از دست دادن حرارت از بام، کف و دیوارهای ساختمان است و هر چه این میزان بیشتر باشد مقدرا هدر رفت یا از دست دادن حرارت از ساختمان بیشتر خواهد بود) بام‌ها و دیوارها در این تحقیق از نرم‌افزار آنلاین وسما استفاده شد.

اطلاعات مربوط به پوشش گیاهی از جمله نوع گیاه (C3 یا C4) و خزان پذیر یا همیشه سبز بودن گونه‌های مورد نظر با استفاده از منابع مختلف به مدل وارد شدند (۸ و ۱۳). ارتفاع و گستره پوشش گیاهی گونه‌های موجود در هر سایت نیز به طور میدانی اندازه‌گیری و به مدل وارد شدند. شاخص سطح برگ برای گونه‌های مورد ارزیابی در هر سایت یا با استفاده از داده‌های شاخص سطح برگ گونه‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی ان‌وای‌مت[3] محاسبه شد و یا از منابع مختلف که این متغیر را در مورد گونه‌های مورد نظر محاسبه کرده بودند استفاده شد (۲۵، ۱۵ و ۲۰).

مراحل شبیه‌سازی دو سایت مذکور نیز مانند مراحل ارزیابی آن بود. ابتدا اطلاعات واقعی موجود در هر سایت به مدل وارد شدند. از آن‌جایی که مهم‌ترین بخش و هدف این تحقیق مربوط به نقش پوشش گیاهی و فضای سبز در تغییرات خرداقلیمی و آسایش دمایی شهروندان بود، در گام بعدی اقدام به شبیه‌سازی فضای سبز در هر سایت شد. در این شبیه‌سازی‌ها از گونه‌های گیاهی غالب و سازگار با فضای سبز مشهد استفاده شد. همچنین با توجه به محدودیت منابع آبی در این شهر، سعی شد تا حد ممکن گونه‌های مقاوم به خشکی مورد استفاده قرار گیرند. برای مثال در بین گونه‌های درختی از اقاقیا، چنار، زبان گنجشک، کاج، توت زینتی و زیتون تلخ و در بین و گونه‌های بوته‌ای از زرشک، شمشاد و شیرخشت در این مدل استفاده شد (۲۱).

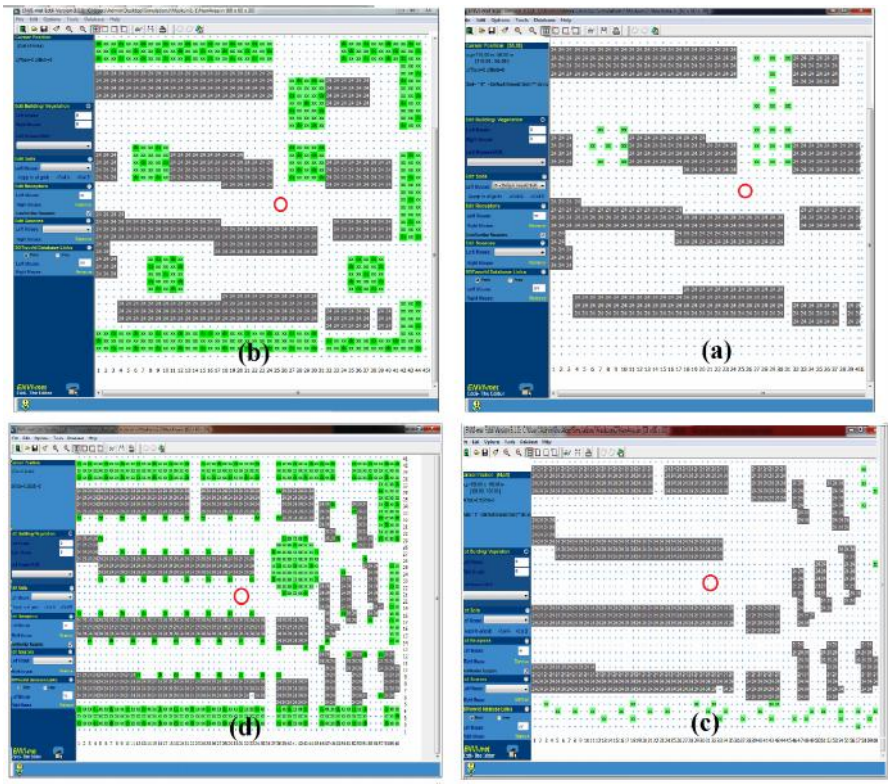
در شبیه‌سازی با پوشش گیاهی، در چند قسمت از محدوده مورد مطالعه سایت مسکونی اندیشه، فضای سبز و پوشش گیاهی در مدل تعریف شد که از کل مساحت سایت، حدود ۴۲۷۰ مترمربع به عنوان فضای سبز تعریف شد که حدود ۱۲۸۰ مترمربع آن با پوشش درختی و حدود ۳۰۰۰ مترمربع آن با گیاهان شبیه سازی شده بود (شکل ۲).

1- GLM (General Linear Model)
2- U-Value
3- Plant Database PLANTS.DAT

**جدول ۱- داده‌های هواشناسی، خاک، گیاه و ساختمانی به عنوان ورودی در مدل ان‌وای‌مت**

**Table 1- Data of weather, soil, plant and building as input on ENVI-met model**

| داده‌های هواشناسی<br>Weather Data | داده‌های خاک<br>Soil Data | داده‌های گیاهی<br>Plant Data | داده‌های ساختمانی<br>Building Data |
|---|---|---|---|
| دمای هوا<br>Air Temperature | دمای خاک<br>Soil Temperature | نوع گیاه<br>Plant Type | دمای داخل ساختمان<br>Building Indoor Temperature |
| رطوبت نسبی<br>Relative Humidity | رطوبت خاک<br>Soil Humidity | ارتفاع گیاه<br>Plant Height | ارزش یو دیوارها<br>U-Value of Walls |
| سرعت باد<br>Wind Velocity | بافت خاک<br>Soil Texture | شاخص سطح برگ<br>Leaf Area Index | ارزش یو بام‌ها<br>U-Value of Roofs |
| جهت باد<br>Wind Direction | – | - | – |
| میزان ابرناکی<br>Cloudy Cover | - | - | - |




**شکل ۲- الف: سایت واقعی و ب: سایت شبیه‌سازی شده با پوشش گیاهی بلوک مسکونی اندیشه، س: سایت واقعی و د: سایت شبیه‌سازی شده با پوشش گیاهی بلوک مسکونی حسابی طی گرم‌ترین دوره سال ۱۳۹۱ (رنگ سبز: پوشش گیاهی، رنگ خاکستری: ساختمان، رنگ قرمز: ایستگاه اندازه‌گیری)**

**Figure 2- Actual site (a) and simulated site with vegetation in Andishe Residential block (b), Actual site (c) and simulated site with vegetation in Andishe Residential block (d) during the hottest period of 2012 (Green: Vegetation, Gray: Building, Red: Recoded station)**

در شبیه‌سازی با پوشش گیاهی در بلوک مسکونی حسابی نیز در چند قسمت از سایت مورد مطالعه پوشش گیاهی به مدل ان‌وای‌مت وارد شد. به طوری‌که حدود ۴۴۶۰ متر مربع از کل مساحت سایت بصورت پوشش گیاهی در مدل وارد شد که از این بین مساحت ۱۵۶۰ مترمربع آن را پوشش درختی و حدود ۲۹۰۰ متر مربع دیگر آن با گیاهان علفی شبیه سازی شده بود (شکل ۲). به طور کلی در شبیه‌سازی‌ها در هر دو سایت حدود ۱۹/۵ درصد به فضای سبز موجود اضافه شد.

در هر یک از این سایت‌های مسکونی نیز ۳ ایستگاه یا دریافت کننده در نرم‌افزار ان‌وای‌مت تعریف شد. این ایستگاه‌ها در سایت مسکونی اندیشه در جنوب‌غربی، مرکز و شمال غربی و در سایت مسکونی حسابی در جنوب غربی، مرکز و شمال شرقی تعریف شدند.

## نتایج و بحث

اگر چه معنی‌دار بودن یا نبودن متغیرهای مختلف در ارزیابی و شبیه‌سازی سایت‌های مورد مطالعه مانند دما و رطوبت نسبی به طور مستقل دارای اهمیت نمی‌باشد زیرا در نهایت روابط بین عوامل مختلف هواشناسی است که تعیین کننده تاثیر این تفاوت‌ها بر آسایش دمایی افراد خواهد بود با این وجود علامت بار استاندارد به منظور قایل شدن تفاوت معنی‌داری یا عدم معنی‌داری در شکل‌ها وارد شده است. برای مثال گاهی اختلاف چند دهم درجه سانتی‌گراد علی‌رغم معنی‌دار نبودن از نظر آماری ممکن است منجر به تغییر دامنه آسایش دمایی افراد شود و یا بر عکس.

آنالیز خروجی‌های دو سایت مسکونی اندیشه و حسابی در ارزیابی نشان داد که روند تغییرات دما در هر سه ایستگاه در ساعات مورد بررسی (۱۵–۱۱) تقریباً مشابه است. به طورکلی بیشترین اختلاف دما بین ایستگاه‌ها، در ساعت ۱۳ به دست آمد. به طوری‌که بالاترین دما در بخش شمال غربی (۳۶/۶۲ درجه سانتی‌گراد) و کمترین آن در بخش جنوب غربی (۳۵/۵۲ درجه سانتی‌گراد) با اختلاف دما حدود ۱/۱ درجه سانتی‌گراد بود.

در سایت مسکونی حسابی بیشترین اختلاف درجه حرارت بین ایستگاه‌های بخش مرکزی و جنوب غربی و مربوط به ساعات ۱۱ به میزان ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد بود.

روند تغییرات رطوبت نسبی نیز در دو سایت مسکونی اندیشه و حسابی بسیار مشابه بودند. در این دو ایستگاه بیشترین اختلاف رطوبت نسبی در ساعات ۱۲ به میزان ۱/۱۶ درصد بین دو ایستگاه بخش شمال شرقی و بخش جنوب غربی محاسبه شد.

**جدول ۲- مقادیر آستانه شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی در درجات مختلف حساسیت انسان**

**Table 2- The threshold amounts of predicted mean vote index in different degrees of human sensitivity**

| متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده<br>Predicted Mean Vote Index | حساسیت حرارتی<br>Thermal Sensitivity | تنش فیزیولوژیک<br>Physiological stress |
|---|---|---|
| - 3.5 | خیلی سرد<br>Very Cold | تنش سرمای شدید<br>Extreme Cold Stress |
| -2.5 | سرد<br>Cold | تنش سرمای زیاد<br>Strong Cold Stress |
| -1.5 | خنک<br>Cool | تنش سرمای متوسط<br>Moderate Cold Stress |
| -0.5 | نسبتا خنک<br>Slightly Cool | تنش سرمای اندک<br>Slight Cold Stress |
| (-0.5)-(0.5) | راحت<br>Comfortable | بدون تنش دمایی<br>No Thermal Stress |
| 0.5 | کمی گرم<br>Slightly Warm | تنش گرمای اندک<br>Slight Heat Stress |
| 1.5 | گرم<br>Warm | تنش گرمای متوسط<br>Moderate Cold Stress |
| 2.5 | داغ<br>Hot | تنش گرمای شدید<br>Strong Cold Stress |
| 3.5 | خیلی داغ<br>Very Hot | تنش گرمای بسیار شدید<br>Extreme Cold Stress |

همچنین روند تغییرات شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده[1] در بلوک مسکونی اندیشه نشان داد که این تغییرات در ساعات ۱۱–۱۵ در بخش جنوب غربی و مرکزی بسیار به هم شبیه بودند و علی‌رغم این‌که این تغییرات در بخش شمال غربی کمی متفاوت بود با این وجود با مراجعه به جدول ۲ (مقادیر آستانه شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در درجات مختلف حساسیت انسان) می‌توان نشان داد که هر سه ایستگاه موجود در بلوک مسکونی اندیشه در محدوده تنش گرمایی بسیار شدید قرار داشتند. بیشترین و کمترین میانگین متوسط نظرسنجی پیش بینی شده به ترتیب در بخش شمال غربی (۴/۵۷)، جنوب غربی (۳/۵۲) و مرکزی (۳/۴۸) به

1- PMV (Predicted Mean Vote)

دست آمد. در بلوک مسکونی حسابی نیز روند تغییرات شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در بخش جنوب غربی و مرکزی بسیار به هم شبیه بودند و در بخش شمال شرقی روند تغییرات متفاتی وجود داشت و در این سایت نیز مشابه سایت مسکونی اندیشه، هر سه ایستگاه در محدوده تنش تنش گرمایی بسیار شدید قرار داشتند.

در بلوک مسکونی حسابی به ترتیب بیشترین تا کمترین میزان متوسط نظرسنجی پیش بینی شده متعلق به بخش شمال شرقی (۴/۷۵)، بخش مرکزی (۳/۹۶) و بخش جنوب غربی (۳/۷۰) بود.

تغییرات دما و رطوبت نسبی سایت شبیه‌سازی شده با پوشش گیاهی نشان داد که روند تغییرات دما و رطوبت نسبی در هر سه ایستگاه تعریف شده در این سایت مشابه هم هستند. دما از ساعت ۱۱ تا ۱۲ رو به کاهش و پس از آن تا ساعت ۱۴ افزایش یافت و مجدداً از ۱۴ تا ۱۵ کاهش نشان داد. رطوبت نسبی از ساعت ۱۱ تا ۱۲ کاهش و پس از آن تا ساعت ۱۵ تقریباً کاهش یافت. بیشترین و کمترین میانگین دما در ایستگاه‌های این سایت به‌ترتیب مربوط به بخش شمال غربی (۳۶/۲۴ درجه سانتی‌گراد) و بخش مرکزی (۳۶/۰۵ درجه سانتی‌گراد) با اختلاف ناچیز ۰/۱۹ درجه سانتی‌گراد محاسبه شد. بیشترین و کمترین رطوبت نسبی نیز مربوط به بخش مرکزی (۱۸/۹۳ درصد) و بخش جنوب غربی (۱۸/۵۷ درصد) با تفاوت رطوبتی بسیار جزیی ۰/۹ درصد بود.

شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در سایت شبیه‌سازی شده با پوشش گیاهی در بلوک مسکونی اندیشه نشان داد که روند تغییرات متوسط نظرسنجی پیش بینی شده در ایستگاه‌های این سایت تقریبا منظم و مشابه نیستند. میانگین متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده به ترتیب در ایستگاه‌های شمال غربی، جنوب غربی و مرکز برابر با ۳/۷۳، ۳/۶۶ و ۳/۵۳ بودند و با توجه به جدول ۲ در ابتدای محدوده تنش حرارتی بسیار شدید قرار دارند.

روند تغییرات دما در ایستگاه‌های تعریف شده سایت مسکونی حسابی بسیار مشابه هم بودند. به طوری‌که دما از ساعت ۱۱ تا ۱۲ کاهش و پس از آن تا ساعت ۱۵ روند افزایشی را نشان می داد.

روند تغییرات رطوبت نسبی دقیقا معکوس دما بود. اختلاف دمایی بین ایستگاه‌ها بسیار اندک بود و حداکثر این اختلاف به میزان ۰/۲۱ درجه سانتی‌گراد بین بخش شمال شرقی (۳۶/۳۲ درجه سانتی‌گراد) و جنوب‌غربی (۳۶/۱۱ درجه سانتی‌گراد) مشاهده شد. همچنین بیشترین اختلاف رطوبت نسبی بین بخش شمال شرقی (۲۰/۰۱ درصد) و جنوب‌غربی (۱۸/۹۷ درصد) و به میزان ۱/۰۴ درصد محاسبه شد.

روند تغییرات متوسط نظرسنجی پیش بینی شده در بخش جنوب‌غربی و مرکزی بسیار مشابه و در بخش شمال‌شرقی متفاوت بود. این تغییرات نشان می‌دهد که هر سه ایستگاه باتوجه به جدول ۲ در محدوده تنش گرمایی بسیار شدید قرار دارند. در بین ساعات مختلف روز تنها در ساعت ۱۲ میانگین متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده با مقدار ۳/۳۵ در محدوده تنش گرمایی شدید و کمتر از سایر ساعات قرار داشت (به‌دلیل محدودیت اتخاذ شده در تعداد اشکال هر مقاله از طرف مجله علوم محیطی از قرار دادن نمودارهای مربوط به دما، رطوبت نسبی و شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در این بخش خودداری شد).

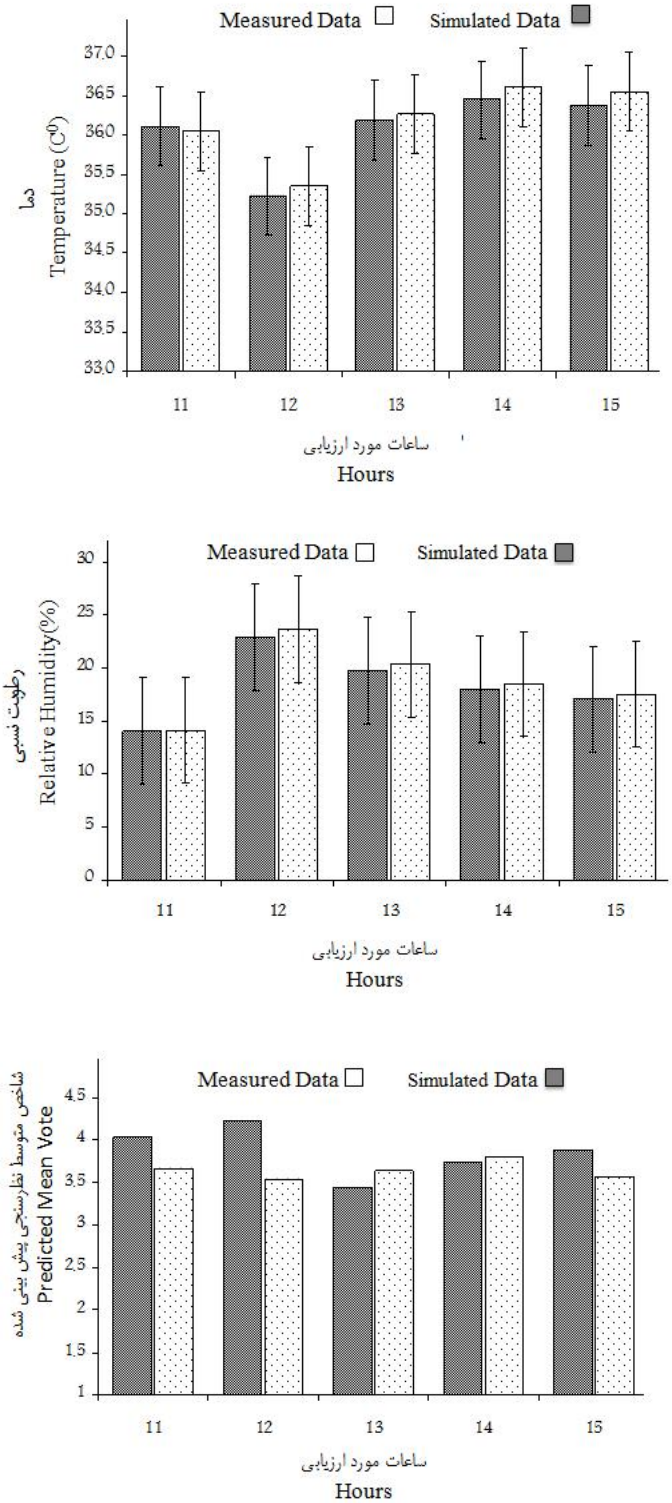
مقایسه نتایج نشان می‌دهد که اختلاف دمایی، رطوبتی و همچنین میزان متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده بین داده‌های واقعی و شبیه‌سازی شده در سایت مسکونی اندیشه بسیار ناچیز هستند. به طوری‌که میانگین این اختلافات در ساعات مورد ارزیابی در مورد دما، رطوبت نسبی و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده به ترتیب برابر با ۰/۰۹ درجه سانتی‌گراد، ۰/۴۶ درصد و ۰/۲۲ بود. در نهایت مهم‌ترین متغیر در این مطالعه میزان شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی بود که بررسی نتایج نشان داد که افزایش میزان فضای سبز در بلوک مسکونی اندیشه با حدود ۱۳/۳ درصد پوشش علفی و ۹/۷ درصد پوشش درختی تفاوتی در محدوده آسایش دمایی افراد در گرم‌ترین دوره سال ۱۳۹۱ نداشته است (شکل ۳).

نتایج مقایسه داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده در بلوک مسکونی حسابی نیز نشان داد که میانگین اختلاف دما، رطوبت نسبی و متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در ساعات مورد ارزیابی بین داده‌های اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده بسیار ناچیز و به ترتیب برابر با ۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد، ۰/۶۸ درصد و ۰/۲۲ بوده است.

همچنین مقایسه داده‌های مربوط به شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده نشان داد که در بلوک مسکونی حسابی نیز با افزایش میزان فضای سبز به میزان ۱۲/۹ درصد با پوشش علفی و ۶/۹ درصد پوشش درختی تفاوتی از نظر محدوده آسایش دمایی نداشته است و هر دو سایت واقعی و شبیه‌سازی شده در طی گرم‌ترین دوره سال ۱۳۹۱ در محدوده تنش گرمایی بسیار شدید قرار داشته‌اند (شکل ۴).

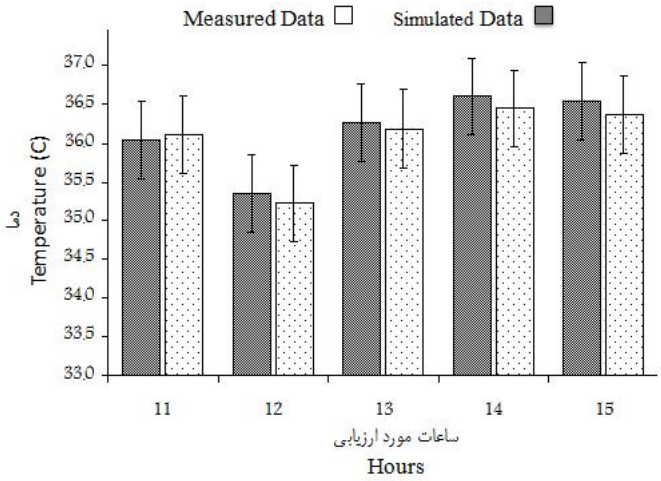
اگر چه در این بخش از تحقیق به طور متوسط در هر دو سایت تا حدود ۱۹/۵ درصد فضای سبز شبیه سازی شد اما عملا تاثیری بر آسایش دمایی افراد در محدوده زمانی مورد نظر نداشت. طبیعتاً علل مختلفی در توجیه این مساله دخیل هستند مانند درصد و نوع پوشش گیاهی، عوامل مربوط به توپوگرافی و جغرافیای منطقه، توزیع و تراکم ساختمانی، نوع و رنگ مصالح ساختمان‌ها و سطوح و غیره (۱۲). از آن‌جایی که در سایت‌های واقعی و شبیه‌سازی شده تقریبا به استثناء پوشش گیاهی همه عوامل ثابت در نظر گرفته شده بودند بنابراین احتمالاً با تغییر در درصد و نسبت پوشش گیاهی (پوشش درختی و علفی) تغییر در دما، رطوبت نسبی، تشعشع و بنابراین آسایش دمایی را خواهیم داشت. در همین رابطه گیل و همکاران (۹) و همچنین ان‌جی و همکاران (۱۷) در تحقیقات خود نشان دادند که درصد فضای سبز اختصاص یافته در هر فضا تاثیر زیادی بر کاهش درجه حرارت آن محیط خواهد داشت و برای کاهش حدود یک درجه سانتی‌گراد تا

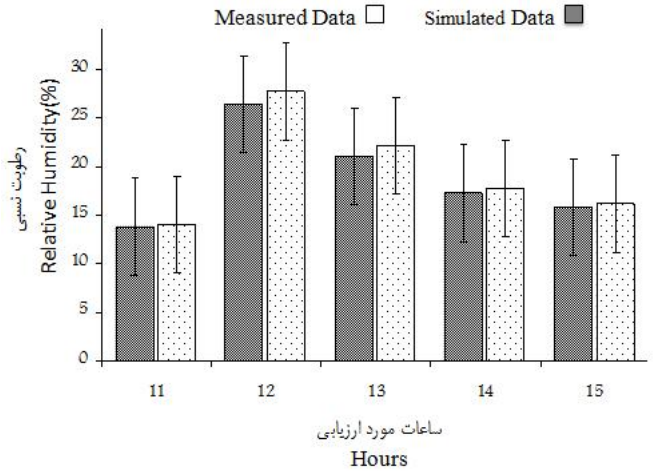
حدود یک سوم محیط باید زیر پوشش گیاهی قرار گیرد.

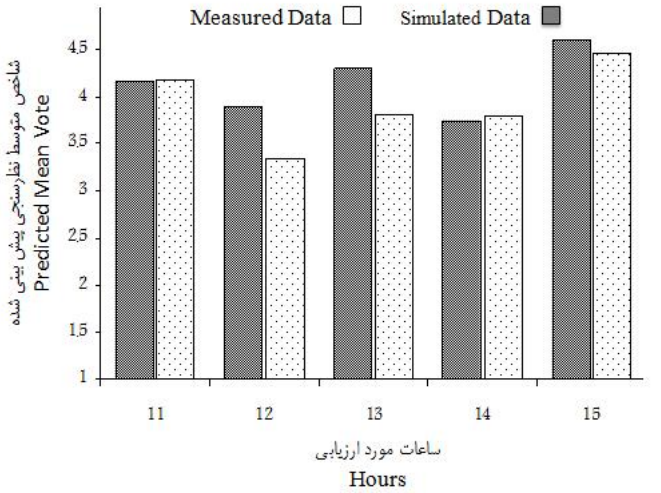



**شکل ۳- مقایسه دما، رطوبت نسبی و شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در سایت شبیه‌سازی شده با پوشش گیاهی و سایت واقعی با داده‌های ثبت شده در بلوک مسکونی اندیشه در ساعات ۱۵-۱۱ طی گرم‌ترین دوره سال ۱۳۹۱**

**Figure 3- Comparison of temperature, relative humidity and predicted mean vote on the simulated site with vegetation and the actual site whit recorded data in Andisheh residential block in 11-15 hours during the hottest period of 2012**




**شکل ٤- مقایسه دما، رطوبت نسبی و شاخص متوسط نظرسنجی پیش‌بینی شده در سایت شبیه‌سازی شده با پوشش گیاهی و سایت واقعی با داده‌های اندازه‌گیری شده در بلوک مسکونی حسابی در ساعات ۱۵-۱۱ طی گرم‌ترین دوره سال ۱۳۹۱**

**Figure 4- Comparison of temperature, relative humidity and predicted mean vote on the simulated site with vegetation and the actual site whit recorded data in Hesabi residential block in 11-15 hours during the hottest period of 2012**

تحقیقات دیگر نشان می‌دهند که با تغییر در میزان و درصد پوشش گیاهی و گستره برگ و تاج (به‌ویژه درختان)، تاثیر بر خرداقلیم متفاوت خواهد بود (۷ و ۲۴). هر چند در این بخش از تحقیق سایر عوامل به جز پوشش گیاهی ثابت بودند اما گاهی به علل بیان شده در بالا، درجه حرارت در طی دوره‌های گرم سال به حدی بالا است که افزایش نسبی در پوشش گیاهی تاثیر چندانی بر آسایش دمایی نخواهد داشت.

مقالات و تحقیقات علمی مختلف نشان می‌دهد وجود فضای سبز و پوشش گیاهی نقش مهمی در بهبود خرداقلیم شهری مانند دما و رطوبت نسبی دارد اما میزان این تاثیر که تعیین کننده تغییر در میزان شاخص‌های آسایش دمایی مختلف و محدوده آسایش دمایی افراد است به مساحت پوشش گیاهی، نوع گونه‌ها که تعیین کننده سطح برگ آن‌ها است و همچنین نسبت این گونه‌های گیاهی در سطح مورد مطالعه وابسته است (۱۰ و ۲۳). بنابراین ممکن است سطح شبیه‌سازی شده در این سایت‌ها و همچنین نوع و نسبت گونه‌های انتخاب شده به منظور کاهش دما و افزایش رطوبت تا حدی که بتواند منجر به بهبود آسایش دمایی افراد شود کافی نبوده است. در همین رابطه تحقیقی جامع در ژاپن وجود دارد که با مطالعه بر روی ۹۲ پارک گزارش کرد که کاهش محسوس درجه حرارت و بهبود دما در سطح شهرها با وجود پارک‌ها و فضاهایی سبزی با بیش از ۲ هکتار دیده می‌شود (۶). مطالعات میدانی این دو سایت مسکونی نشان داد که با توجه به تراکم جمعیتی بالا در این دو سایت و اختصاص فضای کافی برای عبور و مرور افراد و بازی کودکان و همچنین با در نظر گرفتن فضای کافی جهت ورود و خروج خودروها به محوطه بلوک‌های مسکونی اندیشه و حسابی امکان تخصیص فضای سبز بیش از این در این دو سایت وجود نداشت. اما ممکن بود با تخصیص درصد بیشتری از فضای سبز به پوشش درختی وضعیت آسایش دمایی در این سایت‌ها تغییر کند.

## نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق نهایتاً می‌توان به این مهم دست یافت که علی‌رغم کاهش اندک دما و افزایش ناچیز رطوبت نسبی در سایت‌های شبیه‌سازی شده، محدوده آسایش دمایی سایت‌ها با حدود ۲۰ درصد شبیه‌سازی پوشش گیاهی مفروض در مقایسه با سایت‌های واقعی یکسان بودند و در محدوده تنش گرمایی بسیار شدید قرار داشتند. بنابراین در مطالعات بعدی باید به شبیه‌سازی فضای سبز بصورت افزایش سطح افقی و عمودی، تغییر در نوع فضای سبز از نظر ترکیب گونه‌های درختی، بوته‌ای و پوششی و همچنین آزمون ترکیب‌های متفاوت درصد و نوع فضای سبز اقدام کرد.

## تشکر و قدردانی

از جناب آقای مهندس فرزاد سلمانیان، کارشناس ارشد جغرافیای شهری و کارمند املاک و اراضی آستان قدس رضوی به دلیل کمک‌های خالصانه و بی‌دریغشان در پاسخ به سوالات و حل مشکلات مربوط به خروجی مدل ان‌وای‌مت که در پیشبرد این مقاله بسیار تاثیرگذار بود، سپاسگزاری و قدردانی می‌کنم.

## منابع

1. Afsharkohan J., Balali A. and Ghodsi M. 2012. Investigation of social aspects of problem of urban traffic (Case study: Mashhad). Urban Studies, 4(2): 50-90. (In Persian)
2. Ali-Toudert F. and Mayer H. 2007. Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. Theoretical and Applied Climatology, 87(1-4): 223-37.
3. Ali-Toudert, F. 2005. Dependence of outdoor thermal comfort on street design in hot and dry climate, PhD thesis, University of Freiburg, Germany.
4. Avissar R. 1996. Potential effects of vegetation on urban thermal environment. Atmospheric Environment, 30: 437-448.
5. Azad R.S. Atmospheric Boundary Layer for Engineers, Kluwer Academic Prees, Dordrecht; 1993. pp. 565.
6. Cao X., Onishi A., Chen J. and Imura H. 2010. Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. Landscape & Urban Planning, 96(4): 224-31.
7. Chatzidimitriou A., Chrissomallidou N. and Yannas S. 2005. Microclimate modifications of an urban street in northern Greece. 2005. Proceedings of the PLEA-Passive and Low Energy Architecture. PLEA International, Beirut, Lebanon, pp. 689–694.
8. Ghahraman A. 2003. Basic Botany, Volume I, Tehran University, Ninth Edition, P. 784. (In Persian)
9. Gill S.E., Handley J.F., Ennos A.R., Pauleit S., Theuray N. and Lindley S.J. 2008. Characterising the urban environment of UK cities and towns: A template for landscape planning. Landscape and Urban Planning, 87(3): 210-22.
10. Hardin P.J. 2007. Jensen R.R. The effect of urban leaf area on summertime urban surface kinetic temperatures: a

Terre Haute case study. Urban Forestry & Urban Greening, 6: 63-72.
11. Karimian z. 2014. The Optimizing of Urban Green Space for Thermal Comfort of the Hottest Period of the Year by Modeling Technics Ph.D.: Horticulture sciences, Ferdowsi University of Mashhad, Iran, pp. 198. (In Persian)
12. Matzarakis A. Climate and bioclimate information for tourism in Greece. Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation. Ed. A. Matzarakis and C. R. de Freitas. International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation; December 2001. WP13, 1-13.
13. Mauseth J. 1998. Botany: An Introduction to Plant Biology. Jones & Bartlett Publishers; 2nd edition, pp. 837.
14. McPherson E.G. 1994. Energy-saving potential of trees in Chicago. Chicago's urban forest ecosystem: Results of the Chicago urban forest climate project. USDA forest service, General Technical Report NE, 186: 95-113.
15. Nagler P., Glenn E., Thompson T. and Huete A. 2004. Leaf area index and normalized difference vegetation index as predictors of canopy characteristics and light interception by riparian species on the Lower Colorado River. Agricultural and Forest Meteorology, 1-17.
16. National weather service, http://www.weatherbase.com, assessed: 2013/01/01.
17. Ng E., Chen L., Wang Y., Yuan C. 2011. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong. Building and Environment, 47: 256-71.
18. Office stabilizes sand and non-desertification. Summary of the National Management Program of deserts (2006-2025), Forest, Rangeland and Watershed Organization; 2006. Tehran. (In Persian)
19. Pearlmutter D., Kruger E.L. and Berliner P. 2009. The role of evaporation in the energy balance of an open-air scaled urban surface. International Journal of Climatology, 29: 911-20.
20. Pokorný R. and Stojnič S.2012. Leaf area index of Norway spruce stands in relation to age and defoliation. Beskydy, 5(2): 173–180.
21. Shaban M., Khajedin S.J., Karimzadeh H. 2007. Iran-Watershed Management Science & Engineering,1(2): 58-63. (In Persian)
22. Shashua-Bar L., Pearlmutter D. and Erell E. 2011. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment, International Journal of Climatology, 31(10): 1498-506.
23. Specht R.L. and Specht, A. 2003. Australian plant communities: dynamics of structure, growth and biodiversity, Oxford University Press, South Melbourne.
24. Streiling S. and Matzarakis A. 2003. Influence of single and small clusters of trees on the bioclimate of a city: a case study. Journal Arboriculture, 29(6): 309–316.
25. Yin J., He F., Qiu G., He K., Tian J., Zhang W., Xiong Y., Zhao S. and Liu J. 2012. Characteristics of leaf areas of plantations in semiarid hills and gully loess regions. Frontiers of Forestry in China, 4(3):351-357.