

مطالعه تاثیر تبخیر- تعرق بر دمای نزدیک سطح زمین با استفاده از الگوریتم LCZ در استان‌های تهران و البرز

علی تیموری*

دانشجوی دکتری آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

سعید جهانبخش اصل

استاد گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

علی محمدخورشید دوست

استاد گروه آب‌وهواشناسی، دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۵/۷

چکیده

تغییرات دمای سطح زمین می‌تواند عوامل و عناصر مختلف محیطی را تحت تاثیر قرار داده و با تاثیرگذاری بر آسایش زیست اقلیمی، میزان مصرف انرژی، فنولوژی گیاهی و جانوری، چگالی رطوبت هوا و خاک، غلظت آلاینده‌های هوا و دیگر عوامل، خود نیز متقابلاً تحت تاثیر این عوامل قرار گیرد. در این پژوهش به منظور بررسی نقش تبخیر- تعرق واقعی بر دمای ده متری سطح زمین، متغیرهای مونوکسیدکربن، چگالی بخار آب، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، ازن، فشار بخار آب و سرعت باد در کاربری‌های دوازده‌گانه‌ای که به کمک الگوریتم LCZ مشخص شده‌اند، برای استان‌های تهران و البرز مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه به دلیل شرایط خاص جغرافیایی هم‌چون موقعیت، تنوع ساختارهای انسان‌ساخت و شرایط ویژه اکولوژیکی از استعداد بالایی برای رخداد جزایر حرارتی برخوردار می‌باشد. در این پژوهش با توجه به تاثیر متغیرهای مورد مطالعه و لزوم بررسی روابط بین آن‌ها، از خوشه بندی سلسله مراتبی به شیوه ترکیبی؛ روش تحلیل مسیر و فنون سنجش‌ازدور استفاده شده است. بر اساس نتایج به دست آمده در بین متغیرهای مورد مطالعه تبخیر- تعرق واقعی در هیچکدام از کاربری‌ها اثر معناداری در افزایش یا کاهش دمای ۱۰ متری سطح زمین نداشته است. فشار بخار آب در کاربری ۱۴ (مناطق با پوشش گیاهی چمنی) بیشترین تاثیر را در افزایش دمای سطح زمین نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده نوع کاربری با میزان تاثیر متغیرهای مورد مطالعه بر دمای سطح زمین وابستگی بالایی دارد.

واژگان کلیدی: تبخیر-تعرق واقعی، الگوریتم LCZ، تحلیل مسیر، خوشه بندی سلسله مراتبی

مقدمه

تبخیر- تعرق یکی از اجزای مهم بیلان آبی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که برآورد دقیق آن نقش مهمی در مدیریت بهینه منابع آبی کشور دارد (سپاس‌خواه، ۱۳۶۱). هفتاد درصد بارانی که به سطح زمین می‌رسد دوباره تحت تاثیر

فرایند تبخیر- تعرق به جو باز می‌گردد (نوری و فرامرزی، ۱۳۹۶). باستیانس و همکاران (Bastiaanssen et al, 1998)، در بررسی‌های خود به این نتیجه دست یافته‌اند که تبخیر- تعرق از طریق چرخه هیدرولوژی نقش بسزایی در اقلیم جهان ایفا کرده و تخمین آن کاربردهای مهمی در پیش بینی رواناب، عملکرد محصول، طراحی کاربری اراضی، طراحی کانال‌های آبیاری و سازه‌های تقسیم آب داشته است. یکی از داده‌های اساسی در طراحی شبکه‌های آبیاری و زهکشی، مقدار تبخیر در هر منطقه است؛ چرا که طراحی شبکه‌های انتقال اعم از کانال‌های آبرسانی یا زهکشی و نیز سایر قسمت‌های طراحی آب وابسته به مقدار آب مورد نیاز از طریق پدیده تبخیر است (جهانبخش و همکاران، ۱۳۸۰). گیاهان طی فرایند تعرق آب را مصرف می‌کنند، هم‌چنین مصرف آب به صورت تبخیر از سطح خاک نیز صورت می‌گیرد. ترکیب دو فرایند مجزای تبخیر از سطح خاک و تعرق از گیاه را تبخیر- تعرق می‌نامند. برای برآورد فرایند تبخیر، عامل‌های اقلیمی مانند: تابش خورشیدی، دمای هوا (حداکثر و حداقل)، درصد رطوبت هوا (حداکثر و حداقل)، درجه نقطه شبنم و سرعت باد در نظر گرفته می‌شوند. درصد سایه، اندازه تاج پوشش گیاهی^۲ و مقدار آب موجود در سطح تبخیر، از عوامل موثر بر فرایند تبخیر محسوب می‌شوند. آلن و همکاران (Allen et al, 1998)، به این نتیجه رسیده‌اند که فرایند تعرق نیز مانند تبخیر به‌طور مستقیم به عواملی مانند: ذخیره انرژی، شیب فشار بخار آب و سرعت باد بستگی دارد. روش‌های زیادی برای محاسبه تبخیر- تعرق در وضعیت‌های اقلیمی و جغرافیایی مختلف با استفاده از داده‌های هواشناسی توسعه یا آزمایش شده‌اند. این روش‌ها از روابط تجربی ساده تا روش‌های فیزیکی پیچیده متغیر هستند؛ با توجه به این که اغلب روش‌ها از اندازه‌گیری (داده‌های) نقطه‌ای برای تخمین تبخیر- تعرق استفاده می‌کنند؛ بنابراین فقط برای مناطق محلی مناسب بوده و به دلیل طبیعت پویا و تغییرات منطقه‌ای تبخیر- تعرق نمی‌توانند به حوضه‌های بزرگ تر تعمیم داده شوند لی و لیونز (Li and Lyons, 2020). پیشرفت روز افزون فناوری سنجش از دور، ظرفیت و امکان برآورد تبخیر- تعرق واقعی را در سطح وسیعی فراهم کرده است. نورمن (Norman, 1995)، به این نتیجه رسیده است که فناوری سنجش از دور این قابلیت را دارد که ضمن تخمین مقدار تبخیر- تعرق، توزیع مکانی (فضایی) آن را نیز نشان دهد؛ زیرا تنها روشی است که شاخص‌هایی نظیر: دمای سطحی، ضریب آلبیدو و شاخص گیاهی را منطبق یا سازگار با محیط استخراج کرده و از لحاظ اقتصادی نیز مقرون به صرفه می‌باشد. بر اساس «اصل لوشاتلیه» اگر تنشی مانند: تغییر دما، فشار یا غلظت به سیستم وارد شود؛ سیستم در جهت مقابله با این تنش تغییر خواهد کرد تا دوباره به شرایط تعادل برسد. فتوستنتز و تبخیر- تعرق به عنوان یکی از محصولات آن، هر دو فرایندهای گرماگیری می‌باشند؛ زیرا می‌توان انتظار داشت که هر کدام بر تغییر دمای سطح زمین تاثیر داشته باشند؛ بر این اساس تغییرات دمای ناشی از فتوستنتز و تبخیر- تعرق می‌تواند غلظت آلاینده‌های جوی و متغیرهای اقلیمی را تحت تاثیر قرار دهد؛ بنابراین برای مشخص کردن نقش تبخیر- تعرق واقعی به عنوان یکی از اجزای فتوستنتز در تغییر دمای محیط، تغییر مقدار این عامل، پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های آلاینده‌ی کیفیت هوا در کاربری‌های مختلف مورد مطالعه

¹ Evapotranspiration

² canopy

قرار گرفته است. «رادیکال های آزاد»^۳ با برقراری پیوند شیمیایی با ترکیبات واکنش پذیر و تغییر غلظت این ترکیبات، تنش بر سیستم هوای حاکم بر کاربری ها وارد کرده و خود نیز تحت تاثیر این تنش قرار می گیرند. از مهم ترین رادیکال های آزاد می توان به گونه های اکسیژن فعال مانند: آنیون؛ سوپراکسید؛ هیدروکسید؛ پراکسید هیدروژن و گونه های نیتروژنی فعال مانند: نیتریک اسید و پراکسی نیتريت اشاره کرد (فرخ نژاد افشار، ۱۳۹۸). تورسولواتی و همکاران (Torsoilowatie et al, 2002)، در پژوهشی به بررسی ارتباط بین پدیده جزیره حرارتی شهر و تغییرات کاربری پوشش زمین با استفاده از داده های لندست، طی سال های ۲۰۰۲-۱۹۸۹ در جاکارتای اندونزی پرداختند؛ نتایج نشان داد که با توسعه نواحی مسکونی، صنعتی، عرصه های آبی و کاهش نواحی دارای پوشش گیاهی در طول سال های مذکور، توزیع جزیره حرارتی شهری با دمای بالا (بیش از ۳۰ درجه سانتی گراد) در بخش مرکزی شهر با کاربری های ساختمانی- جاده ای و بدون پوشش گیاهی منطبق بوده است. فائق (۲۰۱۷)، در پژوهشی پیرامون تغییرات کاربری اراضی شهری و تاثیر آن بر دمای سطح زمین در منطقه کردستان عراق به این نتیجه رسید که تغییرات کاربری اراضی شهری نقش مهمی در تشدید درجه حرارت سطح زمین دارد. بر اساس نتایج به دست آمده بالاترین دما مربوط به زمین های بایر و مناطق محصور شده و کمترین آن مربوط به سطوح آبی و جنگل ها بوده است. خورشید دوست و همکاران (۱۳۹۸)، به برآورد مقدار تبخیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک در ایستگاه تبریز پرداختند؛ نتایج نشان داد که دقت مدل ها بستگی به نوع تابع محرک، نوع الگوریتم آموزشی، تعداد لایه های پنهان و تعداد نرون های اتخاذ شده دارد. ولیزاده کامران (۱۳۹۳)، با محاسبه پدیده تبخیر- تعرق پتانسیل به روش استنفزا در آذربایجان شرقی با ترسیم نقشه پدیده یاد شده به این نتیجه رسید که مقدار تبخیر- تعرق پتانسیل در منطقه تحت بررسی بین ۱۵-۰ میلی متر بر ساعت در نوسان است، همچنین ارتفاع و جهت شیب به عنوان مهمترین عوامل در ایجاد نوسان مکانی تبخیر- تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی معرفی شده اند. راجاشری^۴ (۲۰۲۱)، در بررسی تنش گرمایی فصل تابستان در یک شهر گرمسیری هند با استفاده از LCZ^۵ نشان دادند؛ اولاً: رژیم های دمایی به طور قابل توجهی در تمام آب و هوای محلی مورد مطالعه متفاوت بوده است. ثانياً: تنش گرمایی بسته به نوع LCZ ها بسیار متغیر بوده است. کیلک و کیلک (۲۰۲۱:۶۹)، با تجزیه و تحلیل تغییرات دمای سطح زمین در یک آب و هوای محلی، با مقایسه داده های لندست ۸ و مدل ENVI-met به این نتیجه رسیدند که LCZ مناطق ساخته شده بالاتر از مقادیر آن در انواع پوشش سطح زمین است. آزمایش های بعدی آنان نشان داد که میانگین LCZ های به دست آمده از Landsat-8 و ENVI-met دارای تفاوت های آماری معناداری است؛ علاوه بر این داده های ENVI-met در مقایسه با نتایج Landsat-8 روابط آشکارتری با نتایج آماری LCZ-LST داشتند. دارلینگتون و همکاران (Trence Darlington Mushore, 2019: 259)، به کمک فناری سنجش از دور، به بازیابی مناطق آب و هوایی محلی و ارتباط آن با دمای سطح زمین در کلان شهر هراره ی زیمباوه پرداختند. آنان برای انجام این پژوهش از داده های چند طیفی و چند زمانه لندست ۸، پایگاه

^۳ رادیکال های آزاد آن دسته از ترکیبات شیمیایی هستند که دارای یک الکترون جفت نشده می باشند.

^۴ Rajashree

^۵ مناطق آب و هوایی محلی

داده‌های جهانی شهری، ماشین بردار و پرتال WUDAPT استفاده کردند. نتایج مشاهدات حاکی از آن است که دمای سطح زمین در مناطق مسکونی متراکم با پوشش گیاهی کم‌تراکم، در مقایسه با سایر مناطق بالاتر است. همین‌طور نواحی مسکونی کم‌تراکم با پوشش گیاهی متراکم، نسبت به سایر مناطق حداقل یک درجه سانتی‌گراد خنک‌تر بوده است. اسدی و کرمی (۱۳۹۹)، در پژوهشی به برآورد تبخیر- تعرق در استان فارس با استفاده از شاخص‌های تجربی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد: با کاهش عرض جغرافیایی بر میزان تبخیر- تعرق افزوده می‌شود. سیان و همکاران (۲۰۲۰)، به مطالعه تبخیر- تعرق در منطقه ساوان‌های پوشیده از بلوط کالیفرنیا از طریق اندازه‌گیری میدانی و نتایج مدل تقسیم‌بندی پرداختند. آنان میزان تبخیر- تعرق را در بالای تاج پوشش جنگل بلوط، روی علفزار یک ساله و زیر تاج پوشش درخت بلوط و همین‌طور در محوطه باز اندازه‌گیری نمودند. بر اساس نتایج آنان میزان تبخیر- تعرق در بالا و پایین تاج پوشش درختان بلوط اختلاف معناداری را نشان داده است. درویشی و همکاران (۱۳۹۸)، در پژوهشی به مطالعه تاثیر شاخص‌های گیاهی و خصوصیات سطح شهری بر تغییرات دمای سطح زمین در شهرستان سمنج پرداختند؛ بر اساس نتایج آنان کاهش پوشش گیاهی و رشد نواحی مسکونی، نقش موثری در افزایش دمای سطح زمین داشته است. ثنایی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۰)، به برآورد تبخیر- تعرق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در منطقه مشهد پرداختند. نتایج نشان داد که نواحی با پوشش گیاهی متراکم و دمای پایین، دارای مقادیر بالای تبخیر- تعرق، و مناطق دارای دمای بالا و پوشش گیاهی پراکنده و کم‌تراکم، از تبخیر- تعرق کمتری برخوردار بوده‌اند. احمدی و همکاران (۱۳۹۴)، با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور به بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش‌اراضی پرداختند. بر اساس نتایج به دست آمده ضریب همبستگی دمای سطح زمین استخراج شده از تصویر ماهواره‌ای با دمای هوای ایستگاه‌های هواشناسی ۷۹٪ و همبستگی دمای هوای ایستگاه‌ها و دمای هوای استخراج شده از تصویر ۹۹٪ می‌باشد. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)، به پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM در شهرستان مشکین‌شهر پرداختند؛ نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که یک رابطه‌ی قوی بین کاربری‌اراضی و دمای سطحی وجود دارد؛ همین‌طور مناطق با پوشش گیاهی متراکم و مناطق آبی دارای درجه حرارت پایین‌تری بوده‌اند. مروری بر پژوهش‌های انجام شده بیانگر آن است که در کشور ایران، برنامه مدون و سازمان‌یافته‌ای برای بررسی نقش تبخیر- تعرق، بر دمای نزدیک سطح زمین کاربری‌های مشخص شده به روش الگوریتم LCZ وجود ندارد. هم‌چنین تحقیقات انجام شده درباره رابطه کاربری‌اراضی با شدت جزایر حرارتی؛ روابط متقابل عوامل اقلیمی و شاخص آلاینده‌های جوی کاربری‌ها با شدت جزایر حرارتی را کمتر مورد توجه قرار داده است. از آنجا که منطقه مورد مطالعه به علت دارا بودن شرایط ویژه اکولوژیکی و جغرافیایی، مستعد وقوع جزایر حرارتی می‌باشد؛ بنابراین در پژوهش حاضر به مطالعه‌ی تاثیر عوامل اقلیمی و شاخص آلاینده‌های جوی در کاربری‌های مشخص شده به روش LCZ بر دمای نزدیک سطح زمین پرداخته است.

داده‌ها و روش‌ها

قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه

در این پژوهش محدوده مورد مطالعه، شامل استان‌های تهران و البرز می‌باشد که در شکل‌های ۱ و ۲ قلمرو جغرافیایی هر کدام به تفکیک نشان شده است.

استان تهران

استان تهران به مرکزیت شهر تهران با ۱۳۸۴۱ کیلومترمربع، بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غرب به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود شده است. جمعیت این استان در سال ۱۳۹۸ با بیش از ۱۳ میلیون نفر، ۱۷/۵٪ جمعیت کل کشور را در خود جای داده است. (منبع: سازمان جهاد کشاورزی استان تهران)



مأخذ: نگارندگان

شکل ۱. نقشه محدوده استان تهران

استان البرز

استان البرز با مساحت ۵۱۲۱/۶۹ کیلومترمربع به عنوان کوچکترین استان ایران، در محدوده جغرافیایی ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی در جنوب ارتفاعات البرز مرکزی واقع شده است. این استان با مرکزیت شهرستان کرج از شمال با استان مازندران، از غرب با استان قزوین، از شرق با استان تهران و از جنوب با استان مرکزی همجوار است. شکل ۲ موقعیت جغرافیایی این استان را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۲. نقشه تقسیمات استان البرز

روش پژوهش

پژوهش حاضر یک پژوهش کاربردی از نوع توصیفی - تحلیلی می‌باشد که در آن با توجه به تاثیر عناصر و عوامل متعدد در موضوع پژوهش و لزوم بررسی روابط بین عناصر، از خوشه بندی سلسله مراتبی^۷ به شیوه ترکیبی^۸، روش تحلیل مسیر و فنون سنجش از دور استفاده شده است. جهت گردآوری داده‌های مورد نیاز از روش‌های کتابخانه‌ای، نرم‌افزاری و ماهواره‌ای استفاده شده است. داده‌ها و مراجع مورد استفاده عبارتند از:

- نقشه و شیپ فایل کاربری‌های دوازده گانه (تهیه و ترسیم توسط نگارنده)؛

- میانگین روزانه متغیرهای اقلیمی شامل: تبخیر- تعرق واقعی؛ چگالی بخار آب؛ فشار بخار آب؛ سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین؛ حداکثر و حداقل دمای ۱۰ متری سطح زمین طی بازه زمانی ۱۰/۰۶/۲۰۲۲-۱۰/۱۱/۲۰۱۸ (مستخرج از سامانه گوگل ارث انجین و سایت دانشگاه آیداهو)؛

- میانگین روزانه غلظت آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا در بازه زمانی (۱۰/۰۶/۲۰۲۲-۱۰/۱۱/۲۰۱۸) شامل:

- SO_2 ؛ O_3 ؛ CO و NO_2 (مستخرج از سامانه گوگل ارث انجین به کمک ماهواره ی سنتینل ۵)؛

- تصاویر چهارزمانه ماهواره لندست ۸ (مستخرج از سایت <http://earthexplorer.usgs.gov>)؛

- برداشت نمونه از کاربری‌های ۱ تا ۱۲ منطقه مورد مطالعه (مستخرج از نرم افزار گوگل ارث)؛

به طور کلی برای انجام پژوهش هفت مرحله‌ی اصلی به شرح زیر صورت گرفته است:

دانلود تصاویر چهار زمانه ماهواره لندست ۸؛ پیش پردازش تصاویر دانلود شده از ماهواره لندست ۸ به کمک نرم افزار SAGA-GIS؛ برداشت داده‌های نمونه برای اجرای طبقه‌بندی با استفاده از سامانه گوگل ارث؛ اجرای طبقه‌بندی و

⁷ Hierarchical clustering

⁸ Agglomerative

تهیه نقشه کاربری در نرم افزار ساگا؛ اعتبار سنجی نقشه کاربری های تعریف شده با استفاده از ماتریس خطا به کمک نرم افزار ENVI؛ تشکیل پایگاه داده های ماهواره ای؛ تحلیل آماری به کمک کد نویسی برای هر کدام از متغیرها و فراخوانی شیپ فایل هر کاربری به صورت جداگانه، داده های اقلیمی و آلاینده های جوی از سایت دانشگاه آیداهو و سنتینل ۵ دریافت شده است.

بحث و نتایج

تشریح طبقه بندی LCZ

تبخیر- تعرق واقعی از فرآیندهای فیزیکی گرماگیری است که می تواند دمای محیط خود را کاهش دهد. هر نوع کاربری شهری میکروکلیمای (ریز اقلیم) خاص خود را دارد؛ بنابراین به منظور مشخص کردن اثر نوع کاربری بر متغیرهای مورد مطالعه و بررسی مقدار این متغیرها به تفکیک در هر کاربری، به کمک الگوریتم LCZ نقشه کاربری منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. هدف از تهیه این نقشه و شیپ فایل آن، برآورد مقدار متغیرها در هر یک از کاربری ها است. این الگوریتم ویژگی های اقلیمی و تغییرات جزیره حرارتی و ساختار فیزیکی عارضه های شهری را در نظرمی گیرد. متغیرهای مورد مطالعه عبارتند از:

الف- پارامترهای اقلیمی: تبخیر-تعرق واقعی؛ چگالی بخار آب؛ فشار بخار آب؛ سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری سطح زمین و دمای (حداکثر و حداقل) ۱۰ متری سطح زمین؛

ب- آلاینده های شاخص کیفیت هوا؛ غلظت دی اکسید نیتروژن؛ دی اکسید سولفور؛ اوزون و مونوکسیدکربن؛

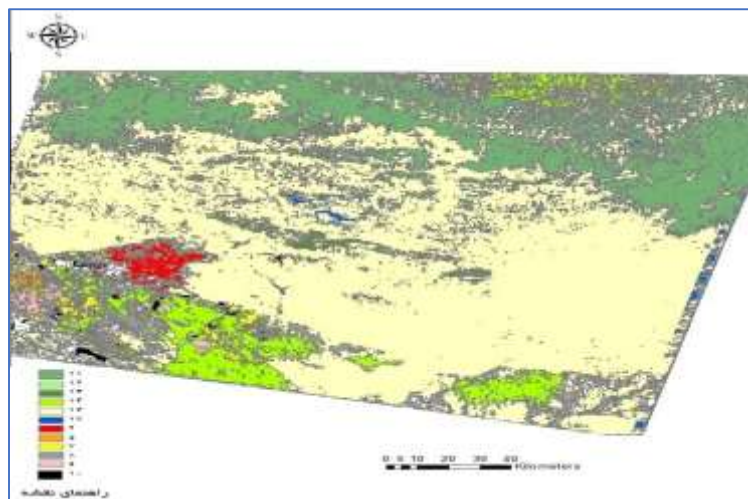
برای ترسیم نقشه مورد نظر از تصاویر چهار زمانه، نزدیک به هم و بدون ابر استفاده شده است. برای کاهش خطا، تصاویری انتخاب شده اند که با استان های تهران و البرز هم پوشانی داشته باشند (Path=16, Row=35). پس از دانلود تصاویر مورد نظر به منظور انجام پیش پردازش، با استفاده از باندهای ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۱۰، ۱۱ هر کدام از چهار تصویر، ۳۶ تصویر مالتی اسپکترال و TIR تهیه شده اند. به کمک نرم افزار SAGA-GIS بر اساس شیپ فایل تهیه شده از منطقه مورد مطالعه، تصاویر قبلی با توان تفکیک ۳۰ متری به توان تفکیک ۱۰۰ متری تبدیل، و برش داده شده اند. از آنجا که در طبقه بندی LCZ زون ها از طریق تغییرات انرژی های بازتابی و تغییرات دما مشخص می گردند و نیازی به جزئیات نیست، بنابراین کاهش توان تفکیک تصاویر از ۳۰ متری به ۱۰۰ متری سبب کاهش حجم داده و افزایش سرعت پردازش شده است. مرز کلاس های این روش طبقه بندی بر اساس منطق فازی می باشد. به منظور درک بهتر نقشه، در جدول ۱ شرح هر کلاس کاربری ارائه شده است؛

جدول ۱. ویژگی‌های کاربری‌های منطقه مورد مطالعه

شماره کاربری	ویژگی کاربری
۲	ساختمان‌های انسان‌ساخت متراکم، دارای ارتفاع متفاوت با پس‌زمینه آسفالتی
۵	ساختمان‌های غیر متراکم با ارتفاع متفاوت و با پس‌زمینه‌های طبیعی و پوشش گیاهی
۷	ساختمان‌های با ارتفاع بسیار کم با پس‌زمینه خاکی و تراکم بسیار بالا
۸	ساختمان‌های یک تا سه طبقه واقع در نواحی شهری با پس‌زمینه سنگ فرش یا آسفالتی غیر متراکم، با پهنای زیاد نظیر: انبارها و سوله‌ها
۹	خانه‌های پراکنده بین درختان و فضای سبز
۱۰	کاربری‌های صنعتی
۱۱	مناطق با پس‌زمینه چمن، مانند: پوشش جنگلی؛ پارک‌های با پوشش درختی متراکم
۱۲ (Scattered trees)	مناطق با درختان پراکنده و پس‌زمینه ی چمنی
۱۳ (Bush, scrub)	تک درخت‌ها با پس‌زمینه خاکی.
۱۴	سطوحی دارای پوشش گیاهی مانند چمن زار
۱۵ (Bare rock or paved)	مناطق با سطوح سنگی یا آسفالتی؛ که هیچ گونه عارضه‌ای در آن‌ها وجود ندارد. مانند: یک پارکینگ وسیع
۱۶ (Bare soil or sand)	مناطق با خاک بایر
۱۷ (water)	پهنه‌های آبی در محیط شهری یا نواحی مجاور

مأخذ: نگارندگان

شکل ۳ نقشه کاربری‌های دوازده‌گانه منطقه‌ی مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۳. نقشه کاربری‌های دوازده‌گانه استان‌های تهران و البرز

جدول ۲ مساحت کاربری‌های شکل ۳ را نشان می‌دهد. نتایج جدول ۱ به کمک نرم افزار Arc map محاسبه شده

است.

جدول ۲. مساحت کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه

نام کاربری	۲	۵	۷	۸	۹	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۶	۱۷
مساحت (بر حسب KM ²)	۳۰۶/۸۴	۲۱۸/۶۸	۳۶۶/۶۹	۵۷۳/۶۲	۳۱۹/۵	۵۲۰۷/۷۸	۳۴/۱۱	۵۳۵/۴	۲۰۸۲/۷۲	۱۷۳۸۴/۶	۳۸۶/۱

مأخذ: نگارندگان

اعتبارسنجی نقشه کاربری با استفاده از ماتریس خطا^۱ (Confusion Matrix) به کمک نرم افزار ENVI به منظور اعتبارسنجی شکل ۳، با استفاده از نرم افزار گوگل ارث، در تمام کاربری‌ها به برداشت نمونه‌های تست (نمونه‌هایی که برای اعتبارسنجی نقشه‌های موضعی استفاده می شود) اقدام شده است، برای تعیین تعداد مناسب نمونه‌ها و به منظور افزایش دقت نقشه کاربری‌ها علاوه بر توجه به مساحت هر کاربری، از فرمول ۱ نیز استفاده شده است (Jensen, 501, 2010).

$$N = \frac{Z^2 pq}{E^2} \quad \text{فرمول ۱:}$$

در این فرمول، Z: عدد ثابت ۲، P: دقت مورد انتظار بر حسب درصد، که در این پژوهش ۹۸٪ در نظر گرفته شده است. E و q = p-1: میزان خطای مجاز، که در اینجا ۲٪ در نظر گرفته شده است. بر اساس دقت مورد انتظار، میزان خطای مجاز و مساحت هر کاربری، تعداد کل نمونه‌های تست برداشت شده برای اجرای ماتریس خطا، ۱۹۶ نقطه بوده است. جدول ۳ نتایج ماتریس خطا را نشان می دهد.

جدول ۳. ماتریس خطا

نسبت نمونه‌های واقعی به کل نمونه‌های برداشت شده برای هر کاربری	دقت کاربری (بر حسب درصد)	نام کاربری
۲۲/۲۵	۸۵	۲
۲۲/۲۸	۸۵	۵
۱۶/۱۹	۸۴	۷
۹/۱۳	۶۱	۸
۹/۱۵	۸۰	۹
۹/۱۲	۷۵	۱۰
۱۳/۱۶	۸۱	۱۱
۱۰/۱۴	۷۱	۱۲
۹/۱۱	۸۱	۱۳
۱۲/۱۵	۸۰	۱۴
۱۶/۱۹	۸۴	۱۶
۸/۹	۸۸	۱۷

مأخذ: نگارندگان

بر اساس نتایج این جدول، دقت کلی نقشه شکل ۳، ۸۶٪ و ضریب کاپا معادل ۸۴٪ محاسبه شده است؛ بنابراین این نقشه از اعتبار و پایایی مناسبی برخوردار است.

فرمول ۲ نحوه محاسبه ضریب کاپا را نشان می دهد.

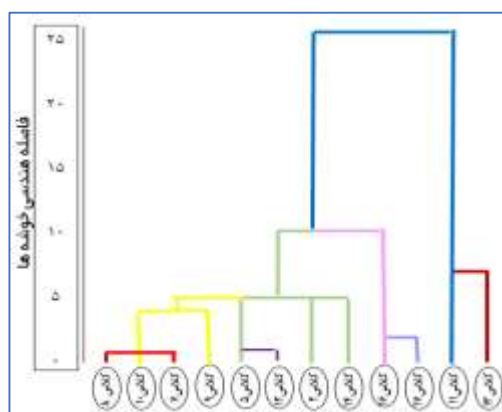
$$K = \frac{pr(a) - pr(e)}{1 - pr(e)} \quad \text{فرمول ۲:}$$

در این فرمول K: ضریب کاپا کوهن، pr(a): بیانگر انطباق نمونه‌های برداشت شده با کلاس کاربری مورد نظر، pr(e): دقت مورد انتظار که در این پژوهش ۹۸٪ در نظر گرفته شده است.

بررسی تغییرات غلظت آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا و متغیرهای اقلیمی به منظور بررسی غلظت آلاینده‌ها و پارامترهای اقلیمی مورد مطالعه، در سامانه GEE⁹ با فراخوانی شیب فایل هر کلاس کاربری، فراخوانی سایت دانشگاه آیداهو و نگارش کدهای مناسب برای هر متغیر، طی دوره آماری (۱۰/۰۶/۲۰۲۲ - ۰۱/۱۱/۲۰۱۸)، میانگین روزانه متغیرهای تبخیر- تعرق واقعی، فشار بخار آب، سرعت باد ۱۰ متری سطح زمین و دمای سطح زمین (حداقل و حداکثر درجه حرارت روزانه ۱۰ متری سطح زمین) با قدرت تفکیک مکانی ۴۰۰۰ متر محاسبه شده است. همین‌طور، به منظور تهیه میانگین روزانه متغیرهای H₂O و NO₂, CO, O₃ SO₂ (چگالی بخار آب) با فراخوانی شیب فایل هر کاربری و سایت ماهواره Sentinel-5 و نگارش کدهای لازم برای هر کدام از متغیرها در پایه زمانی مورد نظر، داده‌های میانگین روزانه هر کدام از متغیرها با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر محاسبه شده‌اند. نکته قابل ذکر این است که گاهی ماهواره در یک روز دو یا چند داده برای هر متغیر ثبت کرده است که تمام این داده‌ها در فرایند تجزیه و تحلیل مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

تشریح فرایند خوشه‌بندی سلسله مراتبی

یکی از روش‌های یادگیری ماشین^{۱۰} که به آموزش بدون نظارت^{۱۱} شهرت دارد، تحلیل خوشه بندی است. در این روش بر عکس خوشه‌بندی K- میانگین، هر مشاهده ممکن است در بیش از یک خوشه قرار گیرد؛ زیرا خوشه‌ها بر اساس سطوح مختلف فاصله تشکیل می‌شوند. به‌منظور تشخیص کاربری‌های متجانس از نظر متغیرهای مورد مطالعه، خوشه بندی سلسله مراتبی به شیوه ترکیبی به کار گرفته شده است. در این شیوه نوع فاصله بین خوشه‌ها، نزدیک‌ترین همسایه^{۱۲} فاصله بین نقاط به کمک تابع فاصله ی اقلیدسی^{۱۳} در نظر گرفته شده‌اند. شکل ۴ نمودار درختواره خوشه بندی انجام شده را نمایش می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۴. نمایش درختی خوشه بندی سلسله مراتبی

⁹ - Google Earth Engine
¹ Machine Learning 0
¹ Unsupervised Learning 1
¹ Nearest distance 2
¹ Euclidean distance 3

همان گونه که از شکل ۴ پیداست، در ابتدا هر کاربری به عنوان یک خوشه در نظر گرفته شده است. در طی سیزده مرحله‌ی جداگانه، خوشه‌ها بر اساس تابع نزدیک‌ترین فاصله وارد (بیشترین شباهت) با یکدیگر ادغام شده‌اند. شکل ۴، ترتیب تشکیل خوشه‌ها را به کمک ارتفاع (فاصله هندسی) و تمایز رنگ‌ها نشان می‌دهد. اولین مرحله خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی با ادغام کاربری ۷ و ۸ شروع شده است. این دو نسبت به ده کاربری دیگر، از نظر متغیرهای مورد مطالعه مشابهت بیشتری از خود نشان داده‌اند؛ زیرا از فاصله هندسی کمتری برخوردار بوده‌اند. جدول ۴ شماره‌ی خوشه هر کاربری را نشان می‌دهد.

جدول ۴. نتایج خوشه بندی سلسله مراتبی کاربری‌ها از نظر پارامترهای اقلیمی و آلاینده‌های جوی مورد مطالعه

کاربری	۲	۵	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۶	۱۷
شماره خوشه	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۲	۱	۳	۱	۴	۴

مأخذ: نگارندگان

بر اساس نتایج جدول ۴ کلاس‌های ۲، ۵، ۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ از نظر پارامترهای اقلیمی و آلاینده‌های جوی مورد مطالعه در یک خوشه قرار گرفته‌اند. کلاس ۱۱^۴ که شامل مناطقی با پس زمینه چمنی و پوشش جنگلی - درختی، نظیر پارک‌های با پوشش درختی متراکم می‌باشد، به تنهایی در یک خوشه قرار گرفته است؛ که به معنای تفاوت شرایط میکروکلیمایی و غلظت آلاینده‌های جوی این کاربری نسبت به سایر کاربری‌ها می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، کاربری ۱۳^۵ که مشتمل بر درخت‌های با پس زمینه خاکی است، خود به تنهایی در خوشه‌ای جداگانه قرار گرفته است. همین‌طور، کاربری ۱۶^۶ شامل مناطق با خاک بایر و کاربری ۱۷^{۱۳} مشتمل بر پهنه‌های آبی در نواحی شهری یا نواحی مجاور آن از نظر پارامترهای اقلیمی و شاخص‌های کیفیت هوا در یک گروه قرار گرفته‌اند که به معنای اثرات اجتناب ناپذیر نوع کاربری بر شرایط اقلیمی و زیست‌شناختی می‌باشد. در نهایت، مناطق مسکونی با تراکم ساختمانی بالا و مناطق صنعتی تشابه اقلیمی بالایی از خود نشان دادند.

تحلیل مسیر^{۱۷}

به کمک تکنیک تحلیل مسیر، علاوه بر اثرات مستقیم و غیرمستقیم، می‌توان تاثیر کلی هر یک از متغیرهای مستقل بر متغیر وابسته را نیز شناسایی کرد. شکل ۵ مدل نظری - مفهومی ارتباط بین متغیرهای مورد مطالعه را برای اجرای تحلیل مسیر با استفاده از نرم افزار Amos نشان می‌دهد. این شکل بر اساس چارچوب نظری پژوهش طراحی، و هدف از ارائه آن، رسیدن به یک مدل تجربی است که روابط بین متغیرها را تبیین نماید. جهت فلش‌ها تاثیر علی متغیرهای مستقل به سمت متغیرهای وابسته میانی و نهایی را نشان می‌دهند. در این مدل سه نوع متغیر به شرح زیر وجود دارد:

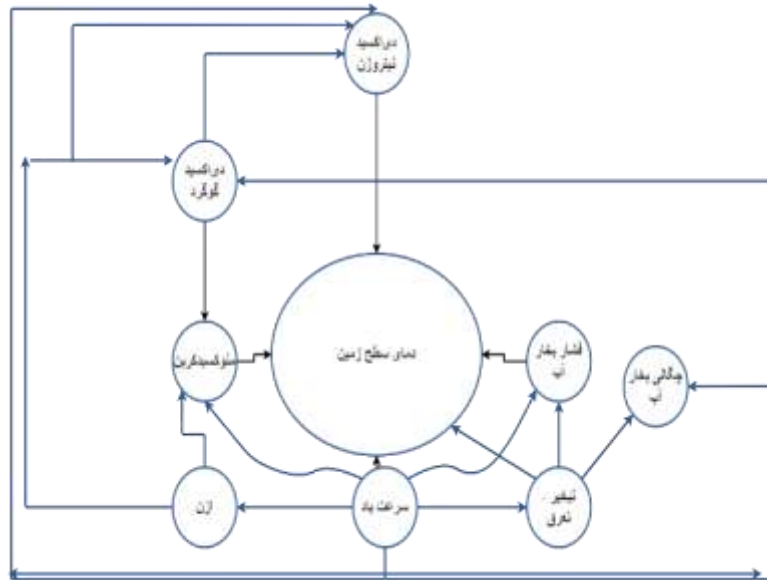
^{۱۴}Dense trees

^{۱۵}Scrub

^{۱۶}Bare soil or sand

^{۱۷}path analysis

- ۱- صرفاً متغیر مستقل درونی: سرعت باد؛
- ۲- متغیرهای دو وجهی (وابسته و مستقل): چگالی بخار آب، فشار بخار آب، تبخیر- تعرق، CO_2 , SO_2 , NO_2 , O_3 ؛
- ۳- متغیر وابسته نهایی: دمای سطح زمین؛



مأخذ: نگارندگان

شکل ۵. مدل نظری - مفهومی ارتباط بین متغیرهای مورد مطالعه

جداول ۵ و ۶ ضرایب بتای استاندارد متغیرها را در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان می‌دهند. این جداول نتیجه اجرای آزمون تحلیل مسیر بر اساس مدل نظری شکل ۵ به تفکیک در ۱۲ کاربری مختلف می‌باشد. هدف از اجرای تحلیل مسیر به‌طور مجزا در هر کاربری، نشان دادن اختلاف اثر متغیرهای مورد مطالعه در کاربری دوازده‌گانه بوده است؛ تا از این طریق تاثیر نوع کاربری بر روی متغیرها مشخص شود.

با توجه به جداول ۵ و ۶ می‌توان نتایج زیر را ارائه نمود:- تبخیر-تعرق واقعی به عنوان یکی از محصولات فرایند فتوسنتز، در مقایسه با سایر متغیرهای تحت مطالعه، اثر معناداری بر دمای ۱۰ متری سطح زمین نداشته است. در کاربری‌های سبز، به علت بالا تر بودن میزان تبخیر-تعرق، گرمای بیشتری از سطح محیط دفع می‌گردد به همین علت در این کاربری‌ها به ویژه در کلاس ۵ (ساختمان‌های متراکم با پس‌زمینه‌ی طبیعی و پوشش گیاهی) اثر مستقیمی در کاهش دمای نزدیک سطح از خود نشان داده است.

- فشار و چگالی بخار آب به طور مستقیم در تمام کلاس‌ها به ویژه کاربری‌های سبز، سبب افزایش دمای سطح زمین شده‌اند؛ که می‌توان علت آن را به خاصیت گلخانه‌ای مولکول آب نسبت داد. نتایج غیرمستقیم فشار بخار آب در برخی از مناطق اثر خنک‌کنندگی را بر دمای سطح نشان داده است؛ که به علت تاثیرگذاری سایر پارامترهای مورد مطالعه بر این متغیر می‌باشد؛

- اثرات مستقیم و غیرمستقیم سرعت باد بر دمای نزدیک سطح زمین متفاوت بوده است. افزایش سرعت باد در کاربری‌های سبز به طور مستقیم سبب کاهش دمای نزدیک سطح زمین شده است. به طور کلی وزش باد سبب افزایش دمای سطح در تمام کاربری‌ها شده است. اثر غیرمستقیم وزش باد در مناطق با درختان پراکنده و پس‌زمینه‌ی چمنی بیشتر از اثر افزایشی مستقیم آن بوده است؛ زیرا وزش باد با تاثیر بر روی سایر متغیرهای مورد مطالعه، به طور غیرمستقیم سبب افزایش دمای سطح شده است. وزش باد از طریق تغییر در غلظت آلاینده‌های جوی و متغیرهای اقلیمی، می‌تواند سرعت و نوع واکنش‌های شیمیایی بین آن‌ها را تحت تاثیر قرار داده؛ سبب تغییرات دمای سطح زمین شود، به همین علت اثرات مستقیم و غیر مستقیم آن متفاوت و جالب توجه است؛

- اثرات مستقیم و غیرمستقیم گاز ازون نیز مانند سایر متغیرهای مورد مطالعه متفاوت بوده است. به طور کلی این مولکول نیز مانند دی‌اکسید گوگرد، در مراکز متراکم شهری و صنعتی، سبب کاهش دمای سطح زمین شده است. ازون به طور مستقیم، در مناطق با پوشش درختی و چمنی سبب افزایش دمای سطح، در حالی که در مناطق با پس‌زمینه‌ی خاکی و بایر حواشی شهر، سبب کاهش آن شده است؛

- مونوکسید کربن در کاربری‌های صنعتی نقش مهمی در افزایش دمای سطح زمین داشته است. این مولکول به طور مستقیم و غیرمستقیم در کاربری‌های ۹، ۱۱ و ۱۲ (مناطق با پس‌زمینه چمنی، پوشش جنگلی و درختان متراکم)، سبب کاهش دمای نزدیک سطح زمین شده است. این گاز به طور مستقیم در کاربری صنعتی - مسکونی متراکم، باعث افزایش دمای سطح شده است. اختلاف اثر مونوکسید کربن در کاربری‌های سبز و غیر سبز (مسکونی متراکم و صنعتی) به علت واکنش‌پذیری آن با رادیکال‌های آزاد ازون، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد می‌باشد؛ زیرا این مولکول طی فرایندهای فتوشیمیایی جو به گاز دی‌اکسید کربن تبدیل و در کاربری‌های سبز از طریق فرایند فتوسنتز جذب می‌گردد، در حالی که در مراکز شهری و

مناطق صنعتی به علت وجود مه دود فتوشیمیایی^{۱۸} خود نیز به عنوان یک رادیکال آزاد، با اعمال خاصیت گلخانه‌ای سبب افزایش دمای هوا می‌گردد؛

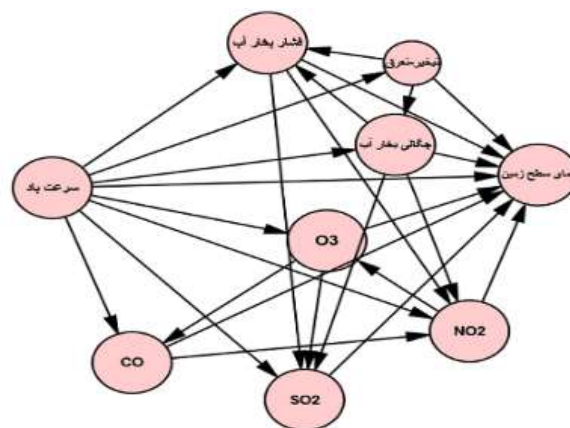
- دی‌اکسید نیتروژن در مناطق با ساختمان‌های متراکم شهری و مناطق صنعتی، اثر کاهشی بر دمای سطح زمین داشته است؛ در حالی که در نواحی حاشیه شهری با ساختمان‌های متراکم، کم ارتفاع و پس‌زمینه خاکی نظیر: انبارها؛ سوله‌ها سبب افزایش دمای سطح شده است؛

- بیشترین اثر افزایشی دمای سطح ناشی از دی‌اکسید گوگرد در کاربری ۱۱ یعنی مناطق با پس‌زمینه چمن مانند با درختان متراکم، نظیر پارک‌ها، و بیشترین اثر کاهشی آن در کاربری ۱۲ یعنی مناطقی با درختان پراکنده بوده است. اثرات غیرمستقیم این آلاینده به نسبت اثرات مستقیم آن، در مناطق بایر در افزایش دمای سطح زمین قابل توجه بوده است؛ زیرا این مولکول از طریق شرکت در واکنش‌های شیمیایی با دیگر متغیرهای مورد مطالعه، به طور مستقیم و محسوسی، سبب افزایش دمای سطح زمین شده است؛

- به علت برهمکنش متغیرها، میزان اثر مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر دمای سطح زمین متفاوت بوده است؛

- نوع کاربری بر تغییرات دمای نزدیک سطح زمین اثرگذار بوده است؛ زیرا بر اساس جدول تحلیل واریانس، میانگین ضرائب بتای مربوط به هر متغیر در تمام کاربری‌ها معنی‌دار می‌باشد.

به منظور اعتبارسنجی مدل نظری - مفهومی شکل ۵ و استخراج یک مدل تجربی واقعی، به کمک تحلیل مسیر، متغیرهای اقلیمی و آلاینده‌های جوی به تفکیک در کاربری‌های شکل ۳ مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه این تحلیل مدل تجربی شکل ۶ می‌باشد. این مدل به صورت جامع و مانع روابط واقعی بین متغیرها را بر اساس تحلیل‌های انجام شده بر روی مدل نظری شکل ۵ و نتایج جداول ۵ و ۶ نشان می‌دهد.



مأخذ: نگارندگان

شکل ۶. مدل تجربی روابط بین متغیرهای مورد مطالعه

^{۱۸} ابر گازی شکل زرد متمایل به قهوه‌ای است که در اثر فعالیت‌های صنعتی و دود ناشی از خودروها در کلان‌شهرها تشکیل می‌شود.

بر اساس این مدل، متغیر مستقل سرعت باد، مهم‌ترین متغیری است که به صورت مستقیم و غیرمستقیم دمای سطح زمین را تحت تاثیر قرار داده است. وزش باد اغلب به‌طور غیرمستقیم، با تغییر در غلظت متغیرها و با تاثیر بر سرعت و نوع واکنش‌های شیمیایی بین آن‌ها، سبب تغییر دمای سطح زمین شده است. بر اساس این مدل آلاینده‌های دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید سولفور متغیرهای وابسته‌درونی می‌باشند که به‌طور غیرمستقیم و با تاثیرپذیری از سایر متغیرها، بر دمای سطح زمین تاثیر گذاشته‌اند. همان‌طوری که از مدل پیداست تبخیر- تعرق واقعی اغلب نسبت به سایر متغیرها، به‌طور غیرمستقیم و جزئی بر متغیر وابسته‌نهایی تاثیرگذار بوده است. مروری بر شیمی‌جو و مطالعه روابط بین ترکیبات جوی به درستی مدل تجربی فوق را تایید می‌کند.

برای شناخت درصد تبیین واریانس تغییر دمای سطح زمین توسط متغیرهای مورد مطالعه، ضریب تعیین هر کاربری در جدول ۷ نشان شده است.

جدول ۷. ضریب تعیین متغیرهای مورد مطالعه به تفکیک، در کاربری‌های دوازده‌گانه

نام کاربری	ضریب تعیین	ضریب تعیین شده	فاصله اطمینان	نام کاربری	ضریب تعیین	ضریب تعیین شده	فاصله اطمینان
۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹	./... ^b	۱۱	۰/۹۸۸	۰/۹۸۵	./... ^b
۵	۰/۹۹۱	۰/۹۸۸	./... ^b	۱۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۱	./... ^b
۷	۰/۹۸۸	۰/۹۸۴	./... ^b	۱۳	۰/۹۷۹	۰/۹۷۲	./... ^b
۸	۰/۹۹۳	۰/۹۹۱	./... ^b	۱۴	۰/۹۹۱	۰/۹۸۹	./... ^b
۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	./... ^b	۱۶	۰/۹۹۲	۰/۹۸۹	./... ^b
۱۰	۰/۹۹۲	۰/۹۹۰	./... ^b	۱۷	۰/۹۸۹	۰/۹۸۶	./... ^b

مأخذ: نگارندگان

با توجه به اختلاف عددی جزئی بین ضریب تعیین، با ضریب تعیین تعدیل شده و بالاتر بودن مقدار آن‌ها از ۶٪ می‌توان با سطح اطمینان ۹۵٪ تغییرات دمای سطح زمین در همه کاربری‌ها را به متغیرهای مورد مطالعه نسبت داد و از این طریق نیز مدل تجربی به دست آمده را تایید نمود.

نتیجه‌گیری

تبخیر - تعرق یکی از عناصر مهم چرخه هیدرولوژی است که نقش مهمی را در مطالعات کشاورزی، منابع آب، اقلیم معماری، برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای و ... ایفا می‌کند. در این پژوهش تاثیر تبخیر- تعرق بر دمای سطح زمین، در کاربری‌های مشخص شده به کمک الگوریتم LCZ در منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج پژوهش حاضر حاکی از آن است که تبخیر- تعرق واقعی به عنوان یکی از محصولات فرایند فتوسنتز، در مقایسه با سایر متغیرهای تحت مطالعه، اثر معناداری بر دمای ۱۰ متری سطح زمین نداشته است. بر اساس نتایج به دست آمده، متغیرهای مورد

مطالعه در برخی از کاربری‌ها اثر بیشتری بر دمای سطح زمین از خود نشان داده‌اند، به عنوان مثال مونوکسید کربن در کاربری‌های صنعتی نقش مهمی در افزایش دمای سطح زمین داشته است. این مولکول به طور مستقیم و غیرمستقیم در کاربری‌های ۹، ۱۱ و ۱۲ (مناطق با پس زمینه چمنی، پوشش جنگلی و درختان متراکم)، سبب کاهش دمای نزدیک سطح زمین شده است که یکی از دلایل آن می‌تواند تبدیل آن به مولکول دی‌اکسید کربن و شرکت در فرآیند فتوسنتز باشد. همین‌طور، نوع کاربری بر تغییرات دمای نزدیک سطح زمین اثرگذار بوده است. به علت برهمکنش متغیرها، میزان اثر مستقیم و غیرمستقیم آن‌ها بر دمای سطح زمین متفاوت بوده است. وزش باد از طریق تغییر در غلظت آلاینده‌های جوی و متغیرهای اقلیمی، سرعت و نوع واکنش‌های شیمیایی بین آن‌ها را تحت تاثیر قرار داده است و سبب تغییرات دمای سطح زمین شده است؛ به همین علت اثرات مستقیم و غیر مستقیم آن متفاوت و جالب توجه بوده است.

منابع

- ۱- احمدی، بهروز؛ اردوان قربانی، طاهر صفرراد و بهروز سلمانی. (۱۳۹۴): بررسی دمای سطح زمین در رابطه با کاربری و پوشش اراضی به کمک داده‌های سنجش از دور. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۱): ۶۱-۷۷
- ۲- اسدی، مهدی؛ مختار کرمی، (۱۳۹۹): برآورد میزان تبخیر و ترقق در استان فارس با استفاده از شاخص‌های تجربی. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۵۶: ۱۷۵-۱۵۹.
- ۳- ثنایی نژاد، سید حسین؛ سمیرا نوری و سید مجید هاشمی نیا، (۱۳۹۰): برآورد تبخیر - ترقق واقعی با استفاده از تصاویر ماهواره ای در منطقه مشهد. نشریه آب و خاک (علوم صنایع و کشاورزی) مشهد، جلد ۲۵، شماره ۳: ۵۴۷-۵۴۰
- ۴- جهانبخش، سعید؛ علی اصغر موحد دانش و واحد مولوی، (۱۳۸۰): تحلیل مدل‌های برآورد تبخیر- ترقق برای ایستگاه هواشناسی تبریز. مجله دانش کشاورزی، جلد ۱۱، شماره ۲: ۶۵-۵۱.
- ۵- سازمان جهاد کشاورزی استان تهران، (۲۰۲۳، ۱۰ فوریه)، اقتباس از <https://www.tehran-agri.ir/index.aspx?&siteid=1&pageid=652>
- ۶- خورشید دوست، علی محمد؛ حمید میر هاشمی و موسی نظری، (۱۳۹۸): برآورد مقدار تبخیر با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و الگوریتم ژنتیک (مطالعه موردی: ایستگاه تبریز). نشریه علمی - پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، سال ۲۳، شماره ۶۸: ۹۰-۷۱.
- ۷- درویشی، شادمان؛ کریم سلیمانی و مصطفی رشید پور. (۱۳۹۸): تاثیر شاخص‌های گیاهی و خصوصیات سطح شهری بر تغییرات دمای سطح زمین مطالعه موردی شهرستان سنندج. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۱۰(۱): ۳۵-۱۷.
- ۸- سپاس خواه، علیرضا، (۱۳۶۱): جمع آوری باران به منظور درخت کاری دیم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، نشریه فنی شماره ۱۹: ۶.
- ۹- عابدینی، موسی؛ احسان قلعه و نازفر آقازاده، (۱۴۰۱)، پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM، مطالعه موردی: شهرستان مشکین شهر). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره ۶۷: ۳۹۳-۳۷۵.
- ۱۰- فرخ نژاد افشار، پویا، (۱۳۹۸): نظریه رادیکال‌های آزاد و پیری، نشریه سالمند شناسی، شماره ۳: ۱۴-۸.

- ۱۱- نوری، حمید؛ محمد فرامرزی، (۱۳۹۶)، بررسی تبخیر و تعرق واقعی در کاربری‌های مختلف اراضی مناطق کوهستانی با استفاده از الگوریتم سیال و ترکیب تصاویر ماهواره‌های MODIS و Landsat8. جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، شماره ۲: ۵۶-۳۹.
- ۱۲- ولیزاده کامران، خلیل، (۱۳۹۳): برآورد تبخیر- تعرق پتانسیل در آذربایجان شرقی به روش استنفنز با استفاده از GIS. نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز، شماره ۴۹: ۳۳۴-۳۱۷.
- 13- Allen, R.G., Pereira, L., Raes, D. And Smith, M. (1998): FAO Irrigation And Drainage Paper No. 56. Rome: Food And Agriculture Organization Of The United Nations:26-40.
- 14- Bastiaanssen, W. G. M., M. Menenti, R. A. Feddes And A.A.M Holtslag.1998." A Remote Sensing Surface Energy Balance Algorithm For Land (SEBAL): 1. Formulation."J. Hydrol., 212-213, 198-212
- 15- Cilek, M.; A. Cilek. (2021): Analyses Of Land Surface Temperature(LST) Variability Among Local Climate Zone(Lczs) Comparing Landsat - 8 And Environment Model Data. Sustainable Cities And Society 69(2021)102877. Journal Homepage: Www.Elsevier.Com / Locate /Scs.
- 16- Darlington, T.; M. Timothy Dube, M. Manjowe, W. Gumin Doga, A. Chemura, I: Rousta And J. Odindi. (2019): Remotely Sensed Retrieval Of Local Climate Zones And Their Linkages To Land Surface Temperature In Harare Metropolitan City, Zimbabwe. Urban Climate 27(2019)259-271, Journal Homepage: Www.Elsevier.Com /Locate Https://Earthengine.Google.Com.
- 17- Faiq, I. (2017): Urban Land Use Land Cover Changes And Their Effect On Land Surface Temperature: Case Study Using Dohuk City In The Kurdistan Region Of Iraq. Climat, 5, 13. Https://Doi.Org/10.3390/Cli 5010013.
- 18- Li, F., Lyons, T.J. (2002): Remote Estimation Of Regional Evapotranspiration. Environmental Modelling And Software, 17:61-75.
- 19- Jensen, John R.3rd Ed. (2010): Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. Printed In The University Of South Carolina. / Uclim.
- 20- Norman, J.M., Kustas, W.P. And Humes. K.S. (1995): Source Approach For Estimating Soil And Vegetation Energy Fluxes In Observations Of Directional Radiometric Surface Temperature. Agricultural And Forest Meteorology, 77(3):263-293.
- 21- Rajashree, K.; A. Ghosh, And V. Kotharkar. (2021): Estimating Summertime Heat Stress In A Tropical Indian City Using Local Climate Zone (LCZ) Formwork. Urban Climate, 36(2021) 100784. Journal Homepage: Www.Elsevier.Com /Locate/Uclim.
- 22- Siyan, M.; E. Eichelman, S. Wolf, C. Rey-Sanchez And D. Balochi. (2020): Transpiration And Evaporation In A California Oak-Grass Savanna: Field Measurement's And Partitioning Model Result. Agricultural And Forest Meteorology 295(2020)108204, Journal Homepage: Www.Elsevier.Com/Locate/Agroformet.
- 23- Tursilowati, L.; J. Tetuko Sri Summation, H. Kuze And E. Sri Adiningsh. (2012): Relationship Between Urban Heat Phenomenon And Land Use/Land Cover Changes In Jakarta – Indonesia. Journal Of Emerging Trend In Engineering And Applied Sciences (JETEAS) 3 (4): 695-653.