

مقاله پژوهشی

بررسی و تفکیک جزیره حرارتی و گرمایش جهانی در دشت مشهد

حسین بندار^۱ - محمد موسوی بایگی^{۲*} - بیژن قهرمان^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۱/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۹/۱۷

چکیده

جهان امروزه جریان بی‌سابقه‌ای از شهری شدن را تجربه می‌نماید. با توسعه شهرنشینی، وسعت بیشتری از پوشش طبیعی مناطق کشاورزی و جنگل جای خود را به شهرها داده و معضلات اکولوژیستی شهری، منجمله ایجاد جزایر حرارتی، برای زیست‌گاه موجودات زنده فراهم آورده است. از طرفی گرم شدن زمین در سالیان اخیر بر اثر پدیده گرمایش جهانی نیز، که بر اثر فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود، بر این مشکلات می‌افزاید. اما این دو منشاء یکسانی نداشته و تفکیک آن از طریق تفاضل مقادیر بدست آمده در شهر و نقاط مجاور، در مدیریت شهری لازم و ضروری است. پژوهش حاضر بر روی دشت مشهد، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵، لندست ۷ و لندست ۸ بین سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ میلادی انجام گردید. در این مطالعه به کمک روش‌های مختلف تعیین دمای سطح (LST)، دمای پوشش گیاهی محاسبه شد. نتایج نشان داد که میانگین دمای سطح زمین (LST) منطقه مطالعاتی در روزهای تحت بررسی، به‌طور میانگین بین ۱۷/۹ تا ۴۹/۰ درجه سانتی‌گراد در مناطق مختلف آن دارای تغییرات زمانی و مکانی است. بیشترین کمترین مقادیر میانگین دمای سطح زمین به ترتیب در کاربری‌های شهری و کوهستانی مشاهده شد. همچنین، مناطق شهری دارای تفاوت محسوس دمای سطح زمین (LST) نسبت به سایر کاربری‌ها می‌باشد. نتایج استفاده از الگوریتم‌های مختلف محاسبه LST در دشت مشهد نشان داد که روش پنجره مجزا (SW) نسبت به سایر روش‌ها مقادیر بالاتری از LST را ارائه می‌دهد، این روند تقریباً در تمامی کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مطالعاتی دیده شد. در مناطق شهری، از بین روش‌های مختلف تعیین LST، بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا در ایستگاه سینوپتیک مشهد و LST محاسباتی به روش تک کاناله یا SC دیده شد ($R^2=0.964$). در مناطق کوهستانی و کشاورزی، نیز بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا و LST محاسباتی به روش تک پنجره اصلاحی یا IMW دیده شد ($R^2=0.951$) و ($R^2=0.943$).

واژه‌های کلیدی: جزیره حرارتی، شهرستان مشهد، گرمایش جهانی

مقدمه

گازهای گلخانه‌ای، در چهار دهه اخیر رخ داده است (۲). از آغاز انقلاب صنعتی، با افزایش فعالیت‌های بشر و سوزاندن سوخت‌های فسیلی، به منظور تولید برق، گرما و سرمای منازل، و نیروی محرکه خودروها، غلظت CO_2 اتمسفر حدود ۴۰٪ افزایش یافته که بیش از نیمی از این افزایش در فاصله زمانی ۱۹۰۰ تا ۱۹۷۰ اتفاق افتاده است. گازهای گلخانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن با جذب حرارت در سطح زمین مانع از انتشار مجدد آن به جو شده و افزایش غلظت این گازها منجر به بالا رفتن درجه حرارت سطح زمین می‌گردد (۱). تغییرات آب و هوایی و گرمایش زمین، ناشی از فعالیت‌های انسانی (به‌عنوان مثال، انتشار گازهای گلخانه‌ای، جنگل زدایی، و شهرنشینی) به دلیل تأثیرات علمی و پیامدهای آن بر زندگی انسان توجه زیادی را به خود جلب کرده است (۳). از پیامدهای گرمایش زمین می‌توان به افزایش درجه حرارت و امواج گرمایی و پدیده خشکسالی در سال ۲۰۰۳ اروپا، ۲۰۱۰ روسیه، و ۲۰۱۴ کالیفرنیا اشاره نمود (۴). مشاهدات و خروجی مدل‌های هواشناسی نشان‌دهنده این است که جهان با یک

یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلات جهانی، که بر اساس شواهد بسیار بر اثر فعالیت‌های انسانی ایجاد شده است، پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی می‌باشد. در بررسی درجه حرارت متوسط جهانی در دوره آماری ۱۸۵۰ تا ۲۰۱۳، درجه حرارت جهانی بطور متوسط در حدود ۰/۸ درجه سانتی‌گراد (۱/۱ درجه فارنهایت) افزایش یافته است (۱). این موضوع باعث گرم شدن اقیانوس‌ها، بالا آمدن سطح آب دریاها، و کاهش عمده یخچال‌های قطب شمال و بسیاری دیگر تغییرات آب و هوایی شده است. براساس تجزیه و تحلیل‌های انجام شده، عمده گرمایش زمین در اثر افزایش غلظت گاز CO_2 و سایر

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری و استادان گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
* - نویسنده مسئول:
(Email: mousavib@um.ac.ir)

اراضی را تهیه نمودند. آنها نتیجه گرفتند که دمای تابشی شهر مشهد بطور کلی در دهه ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۲ افزایش یافته است و این افزایش با بررسی بعد فراکتال در راستای توسعه مناطق مسکونی و از بین رفتن پوشش‌های گیاهی در این دهه است. این افزایش دما در منطقه پرجمعیت اطراف حرم در طول ده سال حدود ۶/۱ درجه سانتی‌گراد و در مناطق فضای سبز ملک آباد در طول ده سال حدود ۳/۱ درجه سانتی‌گراد بوده که نقش ساخت و سازها و کاربری اراضی را در تشکیل جزیره حرارتی نشان می‌دهد. هرچند تحقیق موسوی بایگی و همکاران در سال ۱۳۹۱ نتایج خوبی را ارائه نمود ولی بدلیل عدم تفکیک اثرات گرمایش جهانی از جزیره حرارتی در مشهد نمی‌توان به طور قطع بیان نمود که سهم جزیره حرارتی و گرمایش جهانی در گرم شدن شهر مشهد به چه میزان است. با در نظر گرفتن این نکته که جزیره حرارتی شهری اساساً در توزیع فضایی دمای سطح زمین آشکار می‌شود، که به وسیله جریان‌ات گرمای سطح مدیریت شده است و به طور مشخص تحت تاثیر شهری شدن می‌باشد، در نتیجه، دستیابی به دمای سطح زمین گام کلیدی و اولیه برای تحلیل جزیره حرارتی شهری می‌باشد. با توسعه تکنولوژی سنجش از دور حرارتی، دمای سطح زمین در سرتاسر منطقه به آسانی قابل دستیابی است. افزایش تراکم جمعیت با ساخت و سازهای جدید همراه است که این عمل سطح زمین طبیعی را به سطحی غیر قابل نفوذ با بافتی نرم نسبت به نقاط همجوار شهر و روستاها تبدیل نموده و عواقب زیان بار جدی زیست محیطی و اکولوژی را به همراه دارد (۱۰)، من جمله تغییرات چرخه آب و ایجاد جزایر حرارتی (۱۱). پدیده جزیره حرارتی تاثیرات مهمی در وضعیت آلودگی هوا و مدیریت آن، افزایش دمای محیط و مصرف انرژی وسایل خنک کننده خانگی و همچنین سلامت عمومی در مناطق شهری دارد (۱۲). مطالعات محدودی در برخی کشورها انجام شده که در آن تاثیر تمامی عوامل فوق در نظر گرفته شده است، اما این مطالعات در شرایط اقلیمی کاملاً متفاوت با اقلیم خشک و نیمه خشک ایران می‌باشد (۴). مشکلات جزیره حرارت شهری یکی از مهمترین مسائل محیط‌زیستی امروز جهان است به طوری که این مساله در کلان شهر مشهد به عنوان پایتخت معنوی ایران نیز با افزایش روند شهری شدن، بیشتر و بیشتر معنی‌دار شده و اثرات زیادی بر توسعه شهر مشهد و محیط‌زیست زندگی ساکنان آن دارد. با پیشرفت روند جزیره حرارتی شهری در شهر مشهد این مساله می‌تواند بر آب و هوای محلی اثرگذار بوده و الگوهای باد محلی در این شهر را نیز تغییر دهد. هدف از انجام این تحقیق تفکیک گرمایش جهانی و جزیره حرارتی در دشت مشهد می‌باشد.

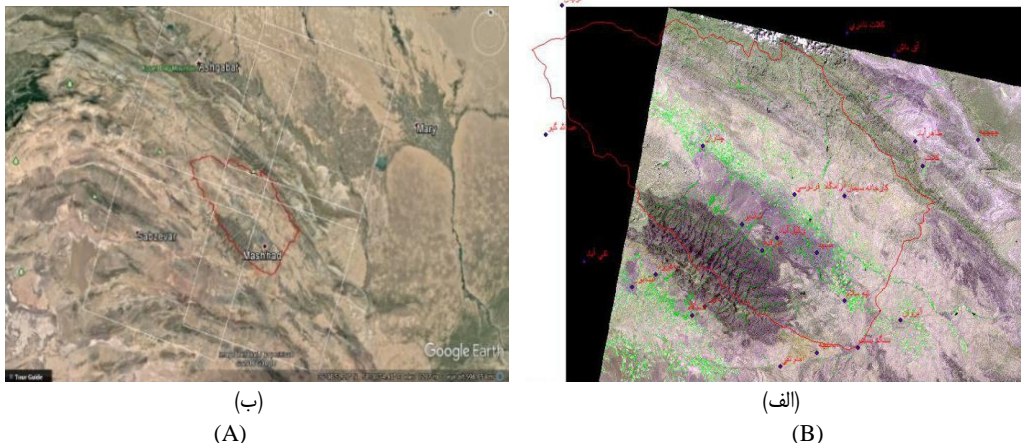
نرخ یکسان در حال گرم شدن نیست و تنوع جغرافیایی در میزان گرم شدن آن موثر است (۵). همهی سناریوهای هیات بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) و مدل‌های گردش عمومی (GCM) پیش‌بینی می‌کنند که افزایش در غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند دمای سطح کره زمین را بالا ببرد که این تغییرات بر چرخه هیدرولوژی مناطق مختلف نیز اثرگذار خواهد بود. دلپا^۱ و همکاران (۶) در پژوهشی اثرات تغییر اقلیم بر کیفیت آب سطحی را در ارتباط با تولید آب آشامیدنی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که روندی کاهشی در کیفیت آب آشامیدنی با تغییر اقلیم به وجود خواهد آمد که این وضعیت خطری بالقوه برای شرایط بهداشتی آب در آینده به وجود خواهد آورد. این شرایط می‌تواند برای سدهای موجود در دشت مشهد (اردک، اسجیل، گل‌مکان، طوق، کارده، گلستان و ...) به وجود آید، لذا باید قبل از ورود به شرایط بحرانی دست به مدیریت ریسک زد. ویل بی^۲ و همکاران (۷) به مدل‌سازی اثر تغییر اقلیم بر کمیت و کیفیت آب در رودخانه کنت بریتانیا پرداخته‌اند که نتایج مطالعه آنها کاهش جریان رودخانه و همچنین کاهش کیفیت آب‌های سطحی در روندی بلند مدت را نشان می‌دهد. چنین شرایطی با بررسی منابع آب سطحی در دشت مشهد نیز قابل مشاهده و درک می‌باشد. در همین راستا میزان حجم آورد سالیانه در برخی از رودخانه‌های دشت مشهد (رودخانه‌های طریقه و شان‌دیز) در ۱۰ سال اخیر نسبت به میانگین ۳۰ ساله تا ۵۰ درصد کاهش یافته است. علاوه بر پدیده گرمایش جهانی پدیده دیگری که جوامع جهانی را تهدید می‌نماید جزیره حرارتی در شهرهای بزرگ می‌باشد. دباغیان امیری (۸)، در مقاله‌ای به بررسی راهکارهای کاهش اثرات جزیره حرارتی بر محیط زیست در شهرهای بزرگ پرداخت و برای مقابله با این پدیده راهکارهای افزایش سرانه فضای سبز با احداث باغ‌ها و استفاده از تکنولوژی بام سبز و کشاورزی شهری، استفاده از تکنولوژی سقف سرد، آسفالت سرد و کاهش حرارت‌های انسانی با اصلاح الگوی حمل و نقل و توزیع کاربری‌های تجاری را پیشنهاد نمود. مهم‌ترین مسأله‌ای که امروزه توجه بسیاری از دانشمندان را به خود جلب کرده است پدیده تغییر اقلیم و گرمایش جهانی در اثر انتشار گازهای گلخانه‌ای است که این مسأله جهان را در آستانه یک فاجعه بزرگ انسانی و زیست محیطی قرار داده است. جزیره حرارتی شهری یک منطقه شهری است که به طور معنی‌داری گرم‌تر از مناطق روستایی مجاورش بوده و بازخورد مشخصی از مشکلات محیط‌زیستی اکولوژیکی شهری است. موسوی بایگی و همکاران (۹)، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۵ و نظریه فراکتال، به بررسی جزیره حرارتی مشهد پرداخته و نقشه‌های دما و کاربری

مواد و روش‌ها

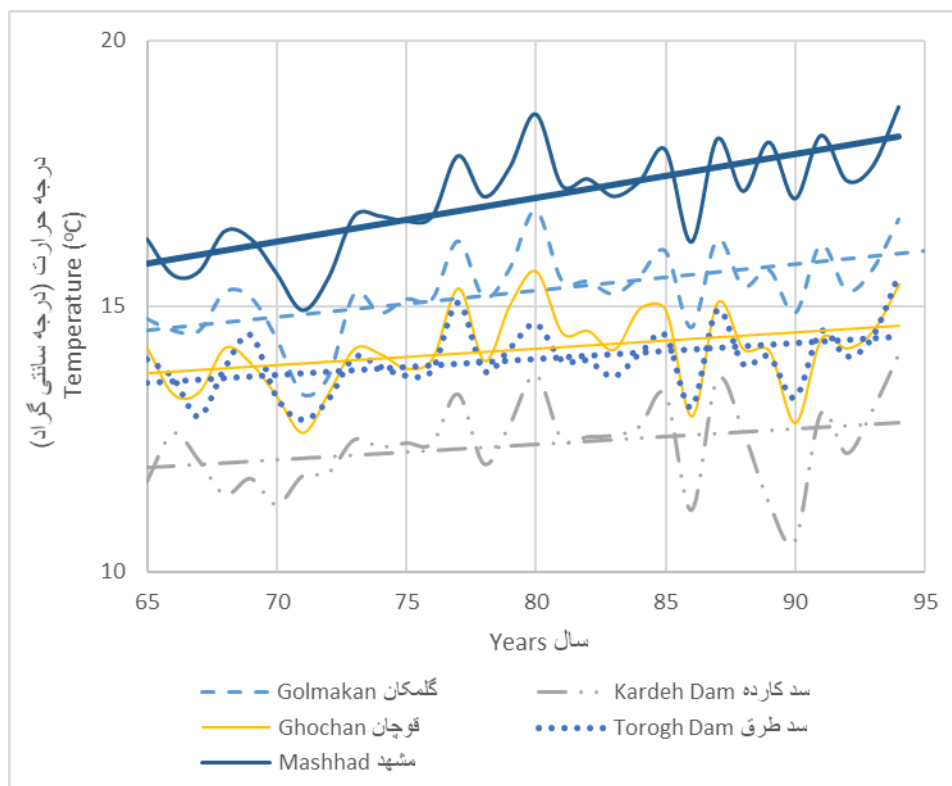
منطقه مورد مطالعه

کوه‌های بینالود و هزار مسجد واقع است. براساس طبقه‌بندی جدید یونسکو مشهد دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. شکل ۱ (الف و ب) مربوط به محدوده دشت مشهد (مرز قرمز رنگ) با وسعت تقریبی یک میلیون هکتار و مرز تصاویر ماهواره‌ای لندست (مرزهای سفید رنگ) می‌باشد.

شهر مشهد مرکز استان خراسان رضوی با ۲۰۴ کیلومتر مربع وسعت، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۶۰ درجه و ۳۶ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه و در حوضه آبریز کشف رود، بین رشته



شکل ۱- الف) مرز نهایی محدوده مورد بررسی ب) دشت مشهد و تصاویر ماهواره‌ای
Figure 1- a) The final boundary of the range b) Mashhad plain and satellite imagery



شکل ۲- تغییرات بلند مدت درجه حرارت در تعدادی از ایستگاه‌های محدوده مورد مطالعه
Figure 2- Long term temperature changes in a number of stations in the study area

دلته (δ و γ) از طریق معادله پلانک محاسبه گردید. به علت پدیده‌هایی نظیر جذب و پخش اتمسفری، دمای درخشندگی کمتر از دمای واقعی سطح زمین است و برای تعیین دمای دقیق سطح زمین، اثرات اتمسفری باید حذف گردند. ارتباط بین T_{sen} و L_{sen} از طریق معکوس قانون پلانک^۶ و مفهوم طول موج موثر بدست آمد.

$$T_{sen} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sen}} + 1\right)} \quad (2)$$

که مقادیر K_1 و K_2 برحسب (وات بر متر مربع بر میکرون بر استرادیان) و از طریق تقسیم ثابت‌های بازتابش بر طول موج موثر λ بدست می‌آیند. در مورد سنجنده‌ی حرارتی لندست ۸ و برای باند ۱۰، مقادیر K_1 و K_2 به ترتیب برابر با $774/89$ و $1321/0.8$ و برای باند ۱۱، مقادیر K_1 و K_2 به ترتیب برابر با $480/89$ و $1201/14$ می‌باشند. ضرایب Ψ_1 و Ψ_2 و Ψ_3 را توابع اتمسفری می‌نامند که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\Psi_1 = \frac{1}{\tau} \quad (3)$$

$$\Psi_2 = -L_d - \frac{L_u}{\tau} \quad (4)$$

$$\Psi_3 = L_d \quad (5)$$

که L_u و L_d به ترتیب ضریب انتقال یا عبور اتمسفری^۷ (بدون واحد)، تابش موثر اتمسفری رو به بالا^۸ (وات بر متر مربع بر میکرون بر استرادیان) و تابش موثر اتمسفری رو به پایین^۹ (وات بر مترمربع بر میکرون بر استرادیان) نام دارند. راهکار عملی پیشنهاد شده توسط جیمز مونوز و همکاران (۱۵) در الگوریتم SC، شامل تخمین توابع اتمسفری تعریف شده در معادلات ۳ تا ۵ بر اساس میزان بخار آب اتمسفری (ω) و از طریق برازش یک تابع چندجمله‌ای درجه دوم بین این توابع و (ω) می‌باشد ($\Psi = C\omega$) که این رابطه بصورت ماتریس زیر می‌باشد:

$$\begin{bmatrix} \Psi_1 \\ \Psi_2 \\ \Psi_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega^2 \\ \omega \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

که در این ماتریس، ضرایب C_{ij} از طریق شبیه‌سازی به‌دست می‌آیند. همچنین در صورت در دسترس بودن ضرایب τ ، L_u و L_d ، توابع اتمسفری از طریق معادلات ۳ تا ۵ هم قابل محاسبه می‌باشند که در این صورت، نیازی به برازش روابط تجربی بین Ψ و ω نخواهد بود. ضرایب، τ ، L_u و L_d توسط محاسبه‌گر عوامل اتمسفری و در

باید اشاره نمود که در محدوده انتخابی دشت مشهد (مرز قرمز رنگ) انواع فعالیت‌های مختلف نظیر کشاورزی، شهری، مرتعی و ... وجود دارد لذا امکان مقایسه کاربری‌های مختلف وجود خواهد داشت، و با توجه به این که این کاربری‌ها در داخل دشت مشهد قرار گرفته‌اند، قابل تعمیم به کل دشت می‌باشند. از طرفی گرمایش زمین بر این دشت همانند بسیاری از نقاط کره زمین اثر دارد. تغییرات گرمایش جهانی را می‌توان با ترسیم منحنی تغییرات متوسط سالانه درجه حرارت در ایستگاه‌های زمینی موجود در دشت مشاهده نمود. شکل ۲ منحنی تغییرات بلند مدت سالانه درجه حرارت در تعدادی از ایستگاه‌های هواشناسی منطقه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود روند افزایش درجه حرارت در این ایستگاه‌ها مشهود است.

تعیین دمای پوشش گیاهی به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست

ماهواره لندست ۸ دو سنجنده به نام‌های OLI و TIRS را حمل می‌کند. یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجنده TIRS، محاسبه دمای سطح زمین (LST) و استفاده وسیع این عامل در مطالعات مختلف زمین‌فیزیک و زیست‌فیزیک است (۱۳ و ۱۴). اصلی‌ترین تفاوت بین سنجنده جدید TIRS با سنجنده‌های قبلی لندست TM و ETM+ در حضور دو باند حرارتی مادون قرمز (TIR) در پنجره اتمسفری ۱۰/۸ و ۱۲ میکرون است. همین موضوع سبب شده از الگوریتم پنجره‌مجزا^۱ (SW) به جای الگوریتم‌های تک‌پنجره^۲ (MW) یا تک‌کاناله^۳ (SC) برای محاسبه LST استفاده گردد. الگوریتم‌های SC بر روی هر یک از باندهای TIRS قابل اجرا می‌باشد. اما از آنجایی که باند اول TIRS (بعبارتی دیگر باند شماره ۱۰ لندست ۸) در ناحیه جذب کمتر اتمسفری بدلیل بیشتر بودن مقادیر عبور اتمسفری قرار دارد، این باند نسبت به باند دوم TIRS (باند شماره ۱۱ لندست ۸) ارجح است. یکی از الگوریتم‌های تک‌کاناله (SC) که توسط جیمز مونوز^۴ و همکاران (۱۵) توسعه یافته، از رابطه زیر برای محاسبه LST یا T_s استفاده گردید.

$$T_s = \gamma \left[\frac{1}{\epsilon} (\Psi_1 L_{sen} + \Psi_2) + \Psi_3 \right] + \delta \quad (1)$$

که در آن L_{sen} مقدار تشعشع حرارتی ثبت شده از اجسام در محل سنجنده، ϵ قابلیت انتشار یا گسیلمندی سطحی^۵ و عوامل گاما و

6- Planck's Law

7- Band average atmospheric transmission

8- Effective bandpass upwelling radiance

9- Effective bandpass downwelling radiance

1- Split-Window (SW) algorithms

2- Mono Window (MW) algorithms

3- Single-Channel (SC) algorithms

4- Jiménez-Muñoz et al

5- Surface Emissivity

اندازه‌گیری دمای حداقل (T_{min})، دمای حداکثر (T_{max})، ساعات طول روز (t_{dl}) و در نظر گرفتن اختلاف ساعات بین ظهر خورشیدی تا وقوع دمای حداکثر روزانه (T_{max}) محاسبه می‌شود (۱۴).

$$T_{0,t} = T_{min} + (T_{max} - T_{min}) \sin \left[\pi \frac{(t + \frac{t_{dl}}{2} - 12)}{(t_{dl} + 2t_{T_{max}})} \right] \quad (11)$$

دمای T_0 با دمای T_a ارتباط رگرسیونی خطی مستقیم دارد و در شرایط مختلف فصلی و عرض جغرافیایی قابل استخراج است. مثلاً برای تابستان عرض میانی^۵ این رابطه بصورت $T_a = 16.0110 + 0.9262T_0$ تعریف شده است (۱۷). ضریب عبور اتمسفری (T_{10}) تحت تاثیر عوامل زیادی نظیر بخار آب، طول موج، اوزون و آئروسول‌ها است. در این بین، بخار آب اتمسفری (ω) نقش مهمتری در تعیین ضریب عبور اتمسفری در محدوده طیف حرارتی دارد. بخار آب اتمسفری از طریق دمای هوای نزدیک به سطح زمین (T_0) حسب کلوین و رطوبت نسبی هوا (RH) بصورت اعشار و طبق رابطه زیر محاسبه شده است (۱۲).

$$\omega = 0.0981 \times \left\{ 10 \times 0.6108 \times \exp \left(\frac{17.27 \times (T_0 - 273.15)}{237.3 + (T_0 - 273.15)} \right) \times RH \right\} + 0.1697 \quad (12)$$

پس از محاسبه (ω)، امکان محاسبه ضریب عبور اتمسفری باند ۱۰ (T_{10}) به کمک روابط تجربی ارائه شده توسط وانگ و همکاران (۱۷) و یا جدول مشابه ارائه شده توسط یو^۶ و همکاران (۱۸)، قابل محاسبه است. به‌عنوان مثال برای تابستان عرض میانی، می‌توان رابطه $\omega = 0.9184 - 0.0725 T_{10}$ را بکار برد.

برخلاف الگوریتم‌های تک‌پنجره یا تک‌کاناله، در الگوریتم پنجره‌مجزا (SW) از هر دو باند ۱۰ و ۱۱ لندست ۸ با طول موج‌های موثر ۱۰/۸ و ۱۲ میکرون استفاده می‌شود. اساس این تکنیک بر این فرض استوار است که کاهش تشعشع به خاطر انجام جذب اتمسفری، تابعی از اختلاف تشعشعی است که بصورت همزمان در دو طول موج مجزا (که همان باندهای ۱۰ و ۱۱ می‌باشند) اندازه‌گیری می‌شود. در این شرایط، هر یک از باندها (طول موج‌ها) مقادیر متفاوتی از جذب اتمسفری را ثبت خواهند نمود. الگوریتم SW تشریح شده در زیر بر اساس روش سوبرینو^۷ و همکاران (۱۹) می‌باشد که در سنجنده‌های مختلف نیز مورد استفاده قرار گرفته است. در این روش داریم:

$$T_s = T_i + C_1(T_i - T_j) + C_2(T_i - T_j)^2 + C_0 + (C_3 + C_4\omega)(1 - \varepsilon) + (C_5 + C_6\omega)\Delta\varepsilon \quad (13)$$

که در آن، T_i و T_j دمای درخشندگی در محل سنجنده برای باندهای مجزای i و j بر حسب کلوین می‌باشد، ε میانگین قابلیت انتشار اتمسفری (گسیلمندی) دو باند i و j ، $\Delta\varepsilon$ اختلاف گسیلمندی

محیط وب نیز قابل تعیین‌اند (۱۶). این محاسبه‌گر تنها به اطلاعات مکان و زمان نیاز دارد و محاسبات را برای انواع سنجنده‌های لندست انجام می‌دهد. فرمولاسیون ساده‌تری نیز برای تبدیل دمای درخشندگی (T_{sen}) به دمای سطحی (T_s) به روش تک‌پنجره^۱ پیشنهاد گردیده که شامل رابطه زیر می‌باشد:

$$T_s = \frac{T_{sen}}{1 + \lambda \times 10^{-6} \times \left(\frac{T_{sen}}{\rho} \right) \times \ln(\varepsilon)} \quad (7)$$

که ε قابلیت انتشار (گسیلمندی) زمینی و λ طول موج موثر باند حرارتی مورد نظر حسب میکرون است که برای باندهای ۱۰ و ۱۱ سنجنده TIRS، به ترتیب برابر با ۱۰/۸ و ۱۲ می‌باشند. مقدار ρ برابر با عدد ثابت ۱۴۳/۸ است. علاوه بر این، یک الگوریتم تک‌پنجره بهبود یافته^۲ به نام IMW توسط وانگ و همکاران (۱۷) ارائه شده است که به چهار عامل دمای درخشندگی، دمای میانگین موثر^۳، ضریب عبور اتمسفری^۴ و گسیلمندی سطح زمین نیازمند است (۱۲). عامل ضریب عبور اتمسفری بر اساس میزان بخار آب اتمسفر ω و از طریق دمای هوا در نزدیک سطح زمین T_0 و رطوبت نسبی هوا (RH) تعیین خواهد شد. پیشنهاد دهنده مدل IMW تاکید کرده است که تعیین دقیق بخار آب اتمسفری، نقش تاثیرگذاری در دقت نهایی LST خواهد داشت. در یک شرایط متوسط از نظر دقت تخمین بخار آب و گسیلمندی سطح، خطای این مدل ۱/۴ کلوین عنوان شده است. در این الگوریتم به کمک باند ۱۰ سنجنده حرارتی لندست ۸ (TIRS-1)، دمای سطح زمین (LST) توسط فرمول زیر محاسبه شد:

$$T_s = \frac{[a_{10}(1 - C_{10} - D_{10}) + (b_{10}(1 - C_{10} - D_{10}) + C_{10} + D_{10})T_{10} - D_{10}T_a]}{C_{10}} \quad (8)$$

که T_s دمای سطح، T_a دمای میانگین موثر، T_{10} دمای درخشندگی باند ۱۰ سنجنده حرارتی، a_{10} و b_{10} ضرایب باند شماره ۱۰ سنجنده حرارتی لندست ۸ هستند که برای محدوده دمایی ۰ تا ۵۰ درجه به ترتیب برابر با ۰/۴۳۳۹- و ۶۲/۷۱۸۲- برآورد شده‌اند (۱۷). ضرایب C_{10} و D_{10} عوامل داخلی الگوریتم تک‌پنجره‌اند که به کمک معادلات زیر محاسبه گردید:

$$C_{10} = \tau_{10} \varepsilon_{10} \quad (9)$$

$$D_{10} = (1 - \tau_{10})[1 + (1 - \varepsilon_{10})\tau_{10}] \quad (10)$$

که τ_{10} و ε_{10} به ترتیب ضریب عبور اتمسفری و گسیلمندی محاسبه شده از طریق باند ۱۰ می‌باشند. برای تعیین (T_a)، از دمای هوای نزدیک به سطح زمین (T_0) در زمان گذر ماهواره (t) استفاده می‌شود که این عامل در ایستگاه‌های هواشناسی زمینی و از طریق

5- Mid latitude summer

6- Yu et al

7- Sobrino et al

1- Mono window

2- Improved Mono-Window

3- Effective mean temperature

4- Atmospheric transmittance

گیاهی بدست آمد و سپس، کسر پوشش گیاهی^۵ محاسبه گردید. در نهایت به کمک روش‌های مختلف تعیین دمای سطح (LST)، شامل تک پنجره (MW)، تک پنجره اصلاح شده (IMW) (۱۷)، تک کاناله (SC) (۱۵) و پنجره مجزا (SW) (۱۹)، دمای پوشش گیاهی محاسبه شد. شکل ۳ مراحل مختلف انجام این پژوهش را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

تغییرات شاخص پوشش گیاهی (NDVI)

شکل ۴ نمونه‌ای از نقشه شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در کاربری‌های مختلف اراضی و همچنین نقشه ترکیب رنگی (TCC) منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد. مناطقی که دارای پوشش گیاهی (اعم از پوشش‌های طبیعی و یا اراضی و باغات کشاورزی) هستند، دارای مقادیر بیشتر NDVI می‌باشند. افزایش شاخص NDVI (تفاضل عددی بین بازتابش‌های ثبت شده در محدوده طیفی قرمز و مادون قرمز نزدیک) در واقع به منزله افزایش سبزینه گیاهی و جذب امواج با طول موج قرمز و مادون قرمز توسط کلروفیل موجود در گیاه است. بطور میانگین، مقدار NDVI در کلاس‌های کاربری شهری، کوهستانی و کشاورزی به ترتیب برابر با ۰/۳۹، ۰/۳۷ و ۰/۴۰ بدست آمده است. جدول ۱ مقادیر NDVI بدست آمده برای کاربری‌های مختلف را نشان می‌دهد.

روند عمومی تغییرات زمانی میانگین شاخص NDVI برای کل منطقه مطالعاتی طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ بصورت نزولی بوده است. کاهش درصد پوشش‌های گیاهی در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و مرتع، تغییر نوع پوشش گیاهی (الگوی کشت) در بخش‌های کشاورزی و فضای سبز شهری از جمله دلایل کاهش شاخص NDVI در منطقه مشهد است. در این پژوهش، اقدام به تفکیک پوشش‌های گیاهی مختلف نظیر فضاهای سبز شهری، پوشش‌های گیاهی مناطق کوهستانی، اراضی کشاورزی و پوشش‌های مرتعی شد. نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات زمانی میانگین، شاخص NDVI در مناطق شهری، در طی دوره مورد بررسی (۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵) رو به کاهش بوده است. شکل ۵ تغییرات پوشش گیاهی در دوره مطالعاتی را نشان می‌دهد. این موضوع حکایت از این دارد که یا درصد مساحت اشغال شده توسط فضاهای سبز شهری کاهش یافته و یا اینکه در صورت توسعه فضای سبز شهری طی محدوده زمانی مذکور، نوع پوشش‌های گیاهی استقرار یافته در محدوده‌های شهری، دارای سبزینه کمتری نسبت به پوشش‌های گیاهی گذشته شهر مشهد شده‌اند و مقادیر NDVI آنها کمتر از گذشته است.

دو باند i و j و (ω) بخار آب اتمسفری می‌باشد. بخار آب اتمسفری به کمک ابزارهایی نظیر رادیوسوند و یا از طریق سنجنده‌هایی نظیر مودیس، استر و همچنین از طریق آماربرداری هواشناسی قابل اندازه‌گیری هستند (۲۰). تعیین ضرایب C_{ij} در الگوریتم SC و ضرایب C_i در الگوریتم SW نیازمند مجموعه‌ای از داده‌ها برای انجام فرآیند شبیه‌سازی است که از بانک‌های اطلاعاتی مربوط به نیمرخ جو در هر منطقه استخراج می‌شود. بانک‌های اطلاعاتی مذکور در مدل‌های انتقال تابش^۱ استفاده می‌شوند و خروجی این مدل‌ها شامل برخی توابع پاسخ طیفی است که از طریق آن‌ها می‌توان عوامل L_{ii} و L_{ij} را به دست آورد. در تحقیقات گسترده انجام شده توسط جیمز مونوز و همکاران (۱۵)، کریستوبال^۲ و همکاران (۲۱) و جیمز مونوز و همکاران (۲۲)، از بانک‌های اطلاعاتی مختلف برای اخذ داده‌های نیمرخ جو کمک گرفته‌اند و ضرایب مذکور را برای دو الگوریتم SC و SW بدست آورده‌اند. این بانک‌های اطلاعاتی در مقیاس جهانی تعریف شده‌اند و داده‌هایی نظیر ارتفاع ژئوپتانسیل، فشار جو، دمای هوا و رطوبت نسبی را برای نیمرخ جو ثبت کرده‌اند. تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای این پژوهش، یک سری زمانی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (سنجنده TM)، ماهواره لندست ۷ (سنجنده ETM+) و ماهواره لندست ۸ (سنجنده های OLI و TIRS) مربوط به سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۶ میلادی (مصادف با سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ شمسی) می‌باشند که از طریق وبگاه ناسا^۳ اخذ گردیده‌اند. تصاویر انتخابی برای سال ۲۰۱۶ میلادی مشتمل بر یک سری زمانی ۱۳ تصویر و دارای فاصله زمانی ۱۶ روز از همدیگر می‌باشند که با هدف بررسی تغییرات ماهانه و فصلی دما در منطقه مطالعاتی و همچنین مقایسه الگوریتم‌های مختلف تعیین دمای سطح (LST) مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

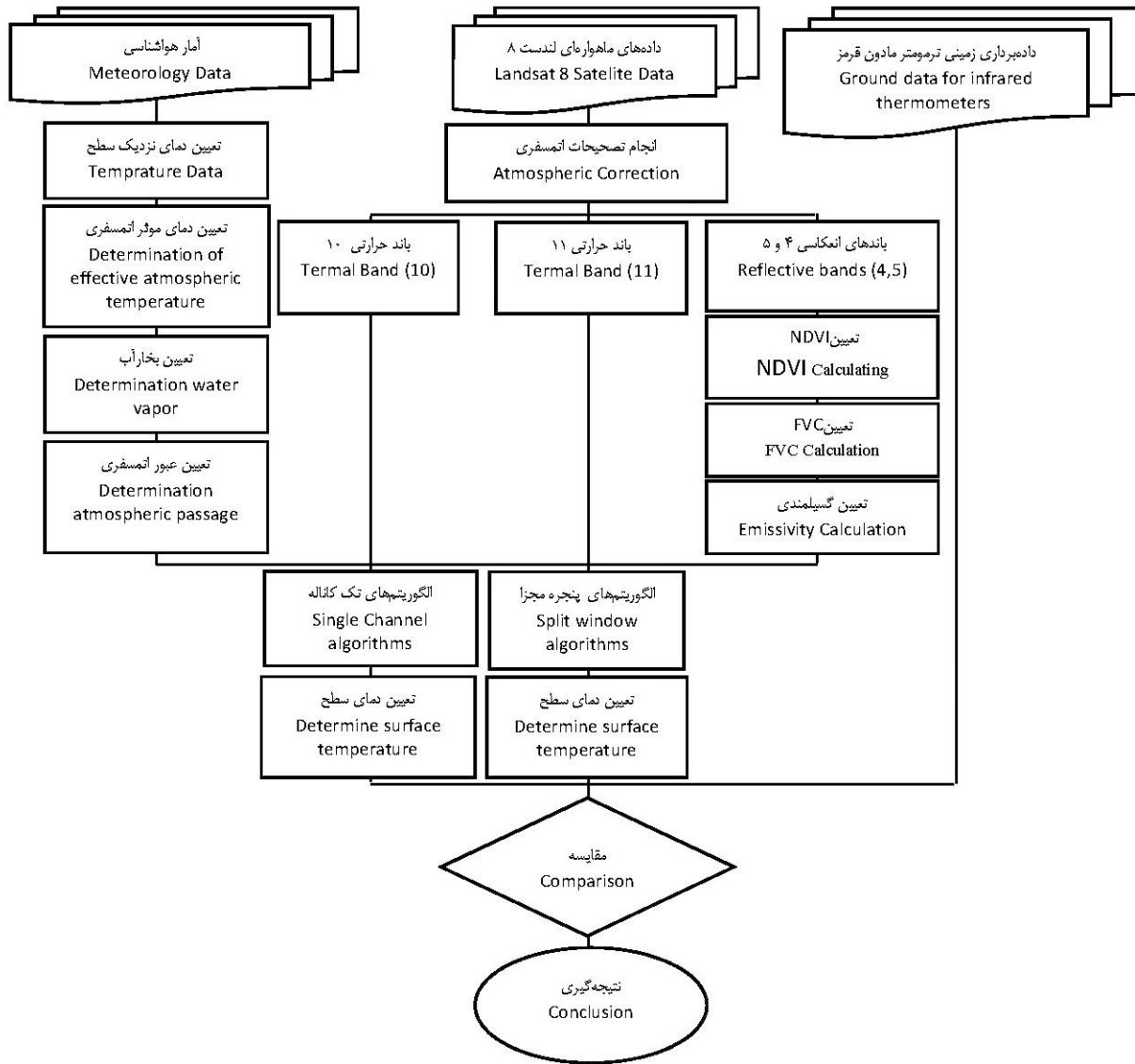
پس از اخذ تصاویر ماهواره‌ای و انجام تصحیحات اتمسفری در محیط نرم‌افزاری ENVI و به روش‌های FLAASH و TAC برای باندهای انعکاسی و حرارتی، اقدام به تصحیح رادیومتری تصاویر و محاسبه بازتابش باندهای انعکاسی ۴ و ۵ (مقادیر ρ) و تشعشع باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱ (مقادیر L_{sen}) در محیط نرم‌افزاری ILWIS گردید. سپس برای تعیین ضریب انتشار (گسیلمندی)، از روش آستانه‌گذاری شاخص پوشش گیاهی استفاده شده است. بدین منظور ابتدا نقشه شاخص تفاضل پوشش گیاهی^۴ نرمال شده (NDVI) محاسبه گردید، پس از آن، مقادیر این شاخص برای خاک و پوشش

1- Radiative transfer

2- Cristóbal et al

3- <https://www.nasa.gov//>

7- Normalized Difference Vegetation Index

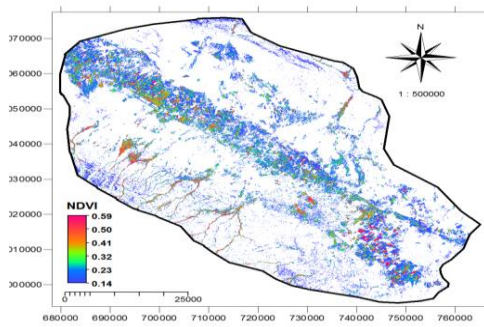


شکل ۳- روندنمای انجام پژوهش
Figure 3- Research flowchart

جدول ۱- خلاصه مقادیر ثبت شده NDVI در منطقه مطالعاتی

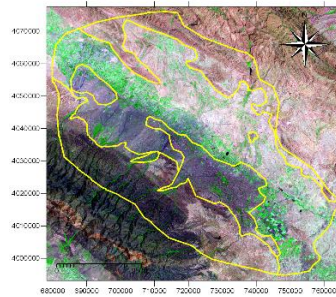
Table 1- Summery of Recorded measures vegetation index (NDVI) in the study area

NDVI	کلاس شهری Urban class	کلاس کوهستانی Mountainous class	کلاس مرتعی و کشاورزی Rangelands and agriculture class
Min	0.12	0.12	0.12
Max	0.80	0.78	0.82
Mean	0.39	0.37	0.40



ب- نقشه پوشش گیاهی (NDVI)

B. NDVI map



الف- نقشه ترکیب رنگی کاربری اراضی (TCC)

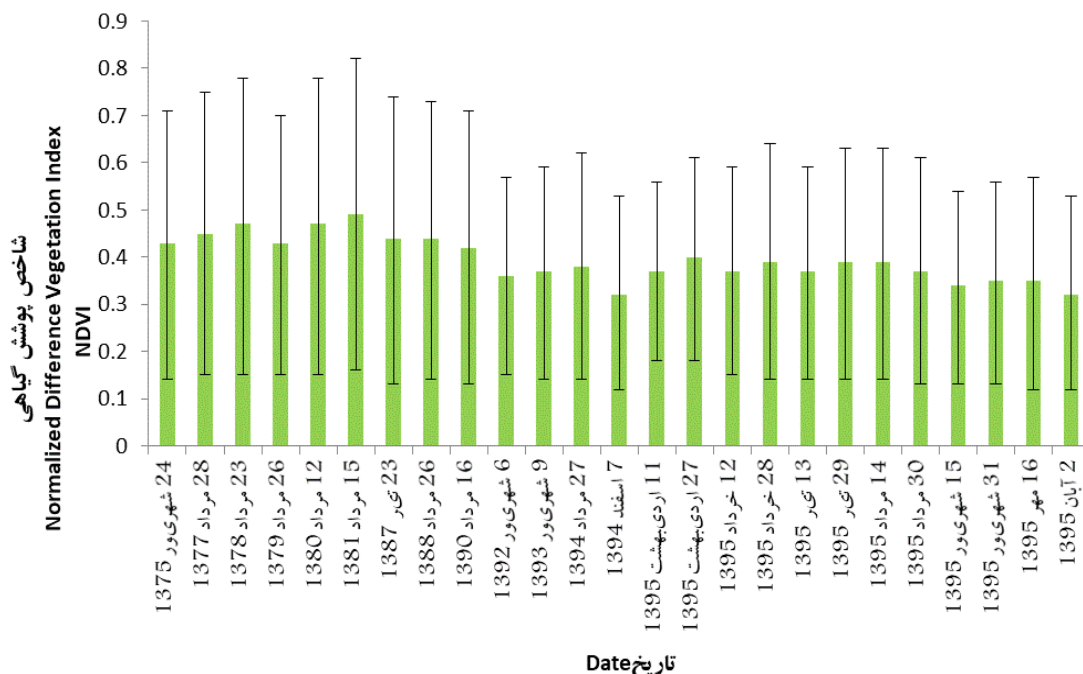
A. Land use True Color Composit map

شکل ۴- نمونه‌ای از نقشه‌های ترکیب رنگی کاربری اراضی (TCC) و شاخص پوشش گیاهی (NDVI) در منطقه مطالعاتی

Figure 4- An example of (TCC) and vegetation index (NDVI) in the study area

کوهستانی، بخشی از پوشش‌های مرتعی نیز قرار گرفته باشند و در سال‌های تحت مطالعه، دستخوش تغییرات منفی (کاهش درصد پوشش گیاهی و یا میزان سبزینه آن‌ها) شده باشند. روند کاهشی فوق، در مناطق مرتعی و کشاورزی طی بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ نیز مشاهده شد. در این اراضی کاهش سطوح مرتعی و کشاورزی طی بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ و همچنین کاهش سطوح مزارع و باغاتی که در گذشته به روش غرقابی آبیاری می‌شده‌اند و اکنون بهینه شده و یا به روش‌های آبیاری نوین مجهزند، می‌تواند در کاهش شاخص NDVI این پوشش‌ها تاثیر داشته باشد.

با توجه به روند حاکم بر توسعه فضای سبز شهری مشهد، وقوع موضوع دوم برای توجیه روند کاهشی NDVI شهری محتمل‌تر است. البته ممکن است برخی مزارع و باغات کشاورزی مخلوط با مناطق شهری نیز در فاصله زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ حذف شده باشند که تاثیر بسزایی در کاهش NDVI مناطق شهری طی بازه زمانی مذکور دارند. در مناطق کوهستانی نیز روند کاهشی NDVI طی بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ مشهود است. از بین رفتن پوشش‌های گیاهی موجود در مناطق کوهستانی و تغییر کاربری آنها از جمله دلایل کاهش سبزینه در مناطق کوهستانی است. البته ممکن است که در کلاس



شکل ۵- تغییرات شاخص گیاهی (NDVI) در مناطق شهری

Figure 5- Vegetation index (NDVI) variations in Urban area

دارای تفاوت دمای سطح زمین (LST) نسبت به سایر کاربری‌ها هستند که به دلیل نوع پوشش سطح زمین در مناطق شهری (که عمدتاً از آسفالت، سنگ، آجر، سیمان، آهن و ... تشکیل شده است) و انجام فعالیت‌های حرارت‌زا نظیر تردد وسایل نقلیه، دود و حرارت حاصل از کارخانجات و فعالیت‌های صنعتی در داخل این محدوده می‌باشد.

مقایسه روش‌های مختلف محاسبه LST در کاربری‌های مختلف اراضی

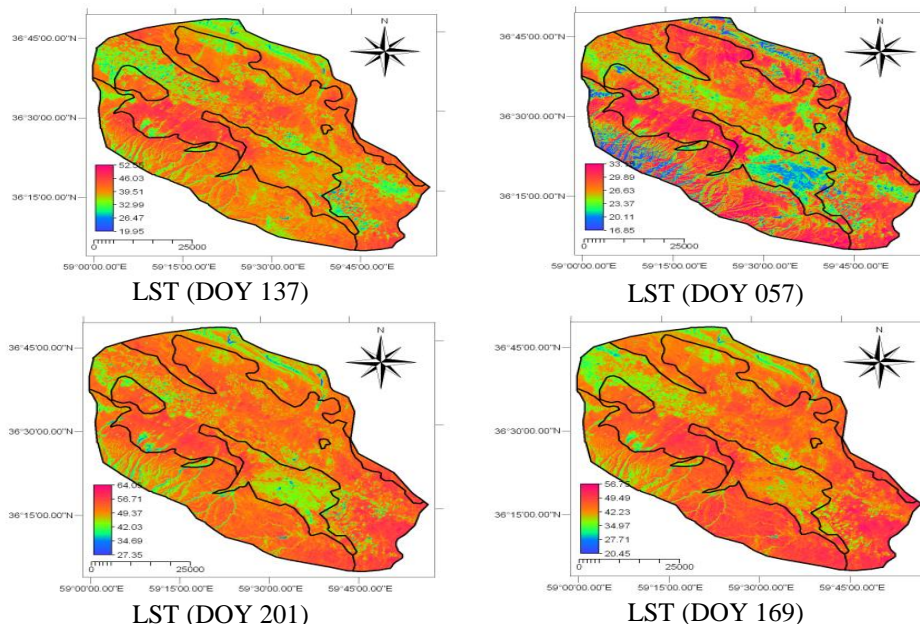
با مقایسه روش‌های مختلف محاسبه LST، همانطوری که در شکل‌های ۸، ۹ و ۱۰ ملاحظه می‌گردد، روش پنجره مجزا (SW) نسبت به سایر روش‌ها مقادیر بالاتری از LST را ارائه می‌دهد. سپس روش‌های تک‌کاناله (SC)، تک‌پنجره اصلاحی (IMW) و تک‌پنجره (MW) به ترتیب مقادیر کمتری از LST را ارائه کرده‌اند. همین روند تقریباً در تمامی کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مطالعاتی دیده شده است. در مناطق شهری و در بعضی از تاریخ‌ها (مثلاً در اردیبهشت ماه، شهریورماه، مهرماه) روش IMW بیشترین مقادیر LST را داشته است.

کاهش سطح خیس شده و به تبع آن، کاهش تبخیر سطحی خاک از جمله دلایل کاهش NDVI در اینگونه مزارع و باغات می‌باشد. همچنین، تغییر نوع گیاهان کشت شده در مزارع و باغات (تغییر الگوی کشت) می‌تواند از دیگر دلایل کاهش NDVI اراضی کشاورزی و مرتعی طی بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ باشد.

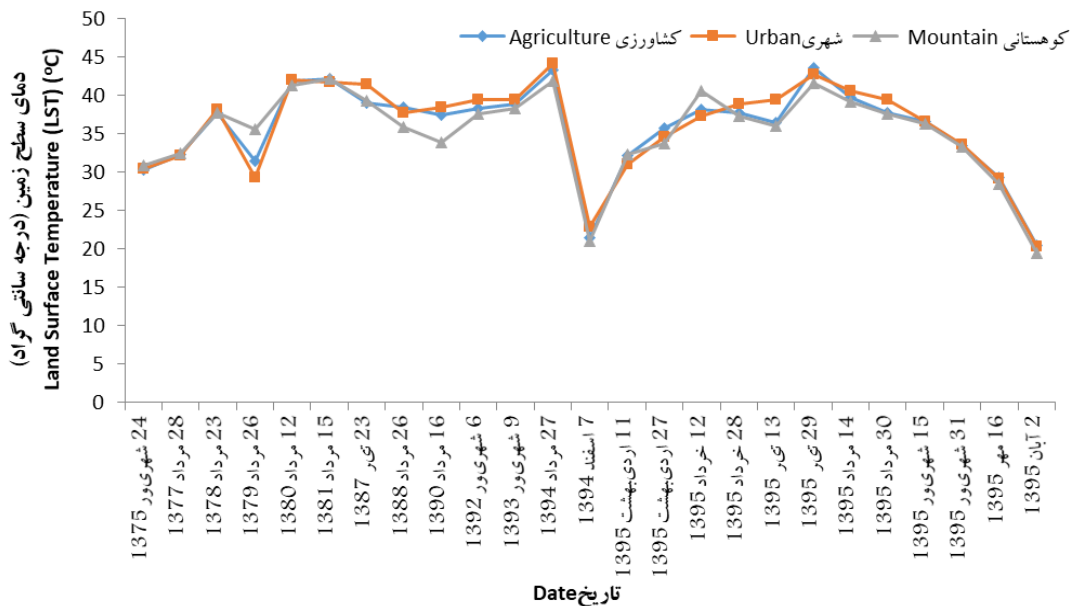
تغییرات دمای سطح زمین LST

شکل ۶ تعدادی از نقشه‌های دمای سطح زمین (LST) منطقه مطالعاتی برای روزهای مختلف ژوئیه‌سی سال ۲۰۱۶ میلادی را نشان می‌دهد. از این نقشه‌ها برای استخراج مقادیر عددی LST در هر یک از کاربری‌های مختلف اراضی (شهری، کوهستانی، مرتعی و کشاورزی) استفاده شده است.

براساس مطالعات انجام شده دمای سطح زمین (LST) در کاربری‌های مختلف اراضی طی دوره آماری ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، میانگین دمای سطح زمین در کل منطقه مطالعاتی ۳۴/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است که بطور میانگین بین ۱۷/۹ تا ۴۹/۰ درجه سانتی‌گراد در مناطق مختلف آن دارای تغییرات زمانی و مکانی بوده است. بیشترین و کمترین مقادیر میانگین دمای سطح زمین به ترتیب در کاربری‌های شهری و کوهستانی مشاهده گردیده است. همچنین، مناطق شهری

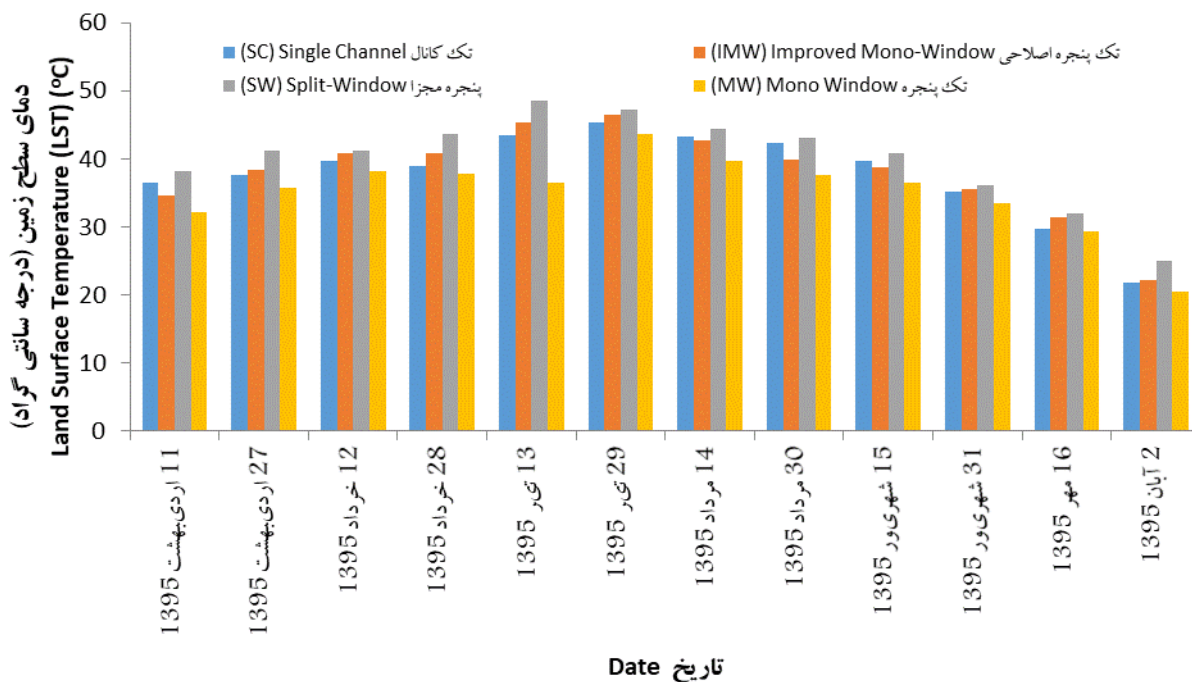


شکل ۶- تعدادی از نقشه‌های دمای سطح زمین (LST) منطقه مطالعاتی برای روزهای مختلف ژوئیه‌سی در سال ۲۰۱۶ میلادی
Figure 6- A number of Land Surface Temperature (LST) maps for different Julian dates in 2016



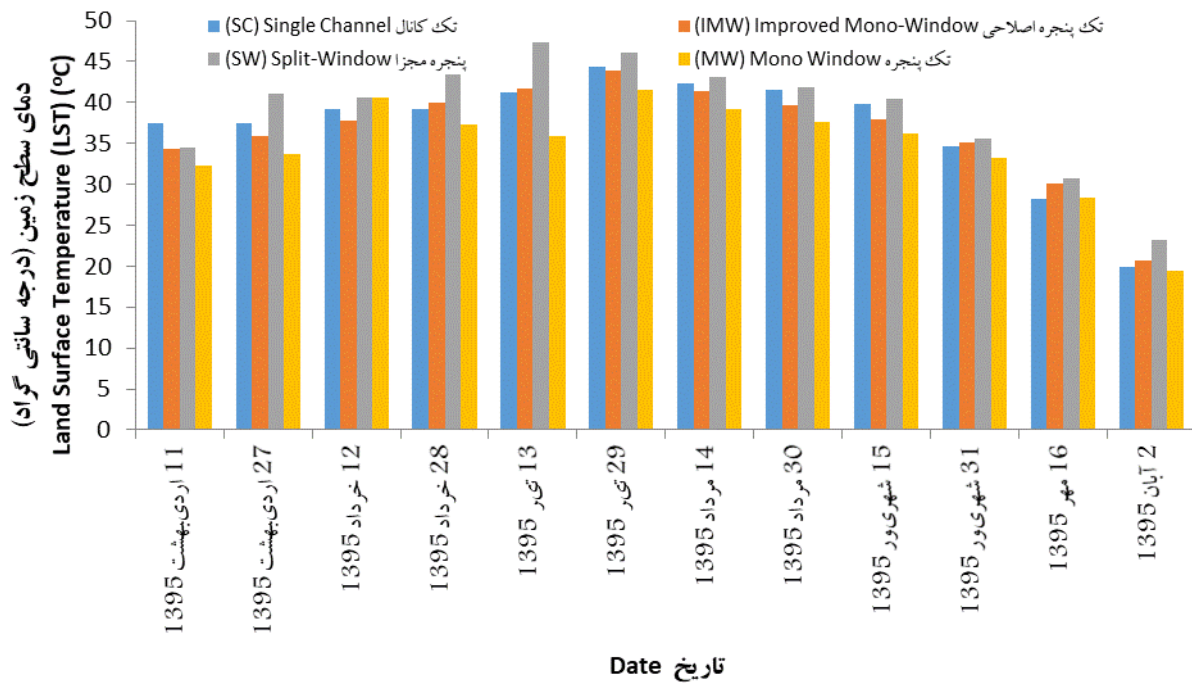
شکل ۷- مقایسه تغییرات زمانی میانگین دمای سطح زمین (LST) در اراضی شهری، کوهستانی و کشاورزی

Figure 7- Comparison time variation of Land Surface Temperature (LST) in urban, mountainous and agricultural lands



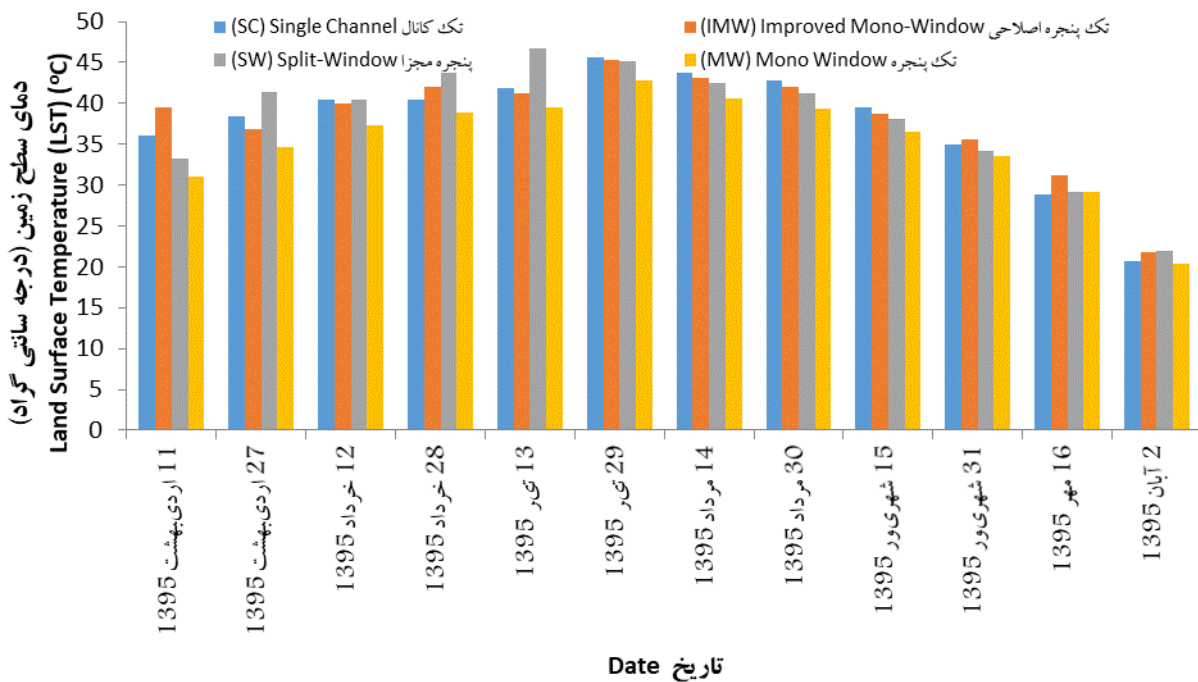
شکل ۸- مقایسه میانگین دمای سطح زمین (LST) محاسبه شده به روش‌های مختلف (SC, IMW, SW, MW) در اراضی مرتعی و کشاورزی

Figure 8- The comparison of the Land Surface Temperature (LST) calculated in different methods (SC, IMW, SW, MW), in the rangelands and agriculture area



شکل ۹- مقایسه میانگین دمای سطح زمین (LST) محاسبه شده به روش‌های مختلف (SC, IMW, SW, MW) در مناطق کوهستانی

Figures 9- The comparison of the Land Surface Temperature (LST) calculated in different methods (SC, IMW, SW, MW) in the mountainous areas



شکل ۱۰- مقایسه میانگین دمای سطح زمین (LST) محاسبه شده به روش‌های مختلف (SC, IMW, SW, MW) در مناطق شهری

Figures 10- The comparison of the Land Surface Temperature (LST) calculated in different methods (SC, IMW, SW, MW) in the urban areas

بهترین روش، باید از نتایج ایستگاه‌های زمینی در تاریخ و ساعت

به منظور مقایسه روش‌های مختلف محاسبه LST و انتخاب

فضای سبز شهری از جمله دلایل کاهش شاخص NDVI در منطقه مشهد است. در مناطق کوهستانی، از بین رفتن پوشش‌های گیاهی موجود در عرصه‌های کوهستانی و تغییر کاربری آنها از جمله دلایل کاهش سبزینه در این مناطق است. در مناطق مرتعی و کشاورزی، روند کاهش NDVI طی بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ بدلیل کاهش سطوح مرتعی و کشاورزی طی بازه زمانی مذکور و همچنین کاهش سطوح مزارع و باغاتی که در گذشته به روش غرقابی آبیاری می‌شده‌اند و اکنون بهینه شده و یا به روش‌های آبیاری نوین مجهزند می‌باشد. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین دمای سطح زمین (LST) منطقه مطالعاتی در روزهای تحت بررسی، ۳۴/۲ درجه سانتی‌گراد بوده است که بطور میانگین بین ۱۷/۹ تا ۴۹/۰ درجه سانتی‌گراد در مناطق مختلف آن دارای تغییرات زمانی و مکانی بوده است. بیشترین و کمترین مقادیر میانگین دمای سطح زمین به ترتیب در کاربری‌های شهری و کوهستانی مشاهده گردیده است. همچنین، مناطق شهری دارای تفاوت دمای سطح زمین (LST) نسبت به سایر کاربری‌ها می‌باشد. نتایج استفاده از الگوریتم‌های مختلف محاسبه LST در دشت مشهد نشان داد که روش پنجره مجزا (SW) نسبت به سایر روش‌ها مقادیر بالاتری از LST را ارائه می‌دهد. سپس روش‌های تک‌کاناله (SC)، تک‌پنجره اصلاحی (IMW) و تک‌پنجره (MW) به ترتیب مقادیر کمتری از LST را ارائه کرده‌اند. همین روند تقریباً در تمامی کلاس‌های کاربری اراضی در منطقه مطالعاتی دیده شده است. همچنین مشخص شد که در مناطق شهری، از بین روش‌های مختلف تعیین LST، بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا و LST محاسباتی به روش تک‌کاناله یا SC دیده شده است. در مناطق کوهستانی، بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا و LST محاسباتی به روش تک‌پنجره اصلاحی یا IMW دیده شده است و بطور مشابه، در مناطق کشاورزی و مرتعی نیز بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا و LST محاسباتی به روش تک‌پنجره اصلاحی یا IMW دیده شده است. در یک دوره سه ساله تعیین LST درجه حرارت مناطق شهری بطور متوسط ۱،۶۸ درجه نسبت به مناطق کوهستانی و ۰،۲۸ درجه نسبت به مناطق کشاورزی گرمتر بود که لزوم برنامه ریزی مناسب جهت کنترل مخاطرات شهرنشینی در کلانشهرها را نمایان می‌نماید.

برداشت تصاویر ماهواره استفاده شود. با مراجعه به متادیتای تصاویر اخذ شده، مشاهده شد که گذر ماهواره از منطقه مطالعاتی عمدتاً در ساعت ۶:۳۰ به وقت گرینویچ بوده و ایستگاه‌های معدودی درجه حرارت را در زمان مذکور ثبت می‌نمایند. در این خصوص از آمار ایستگاه‌های شاخص مشهد، قوچان و درگز به عنوان شاخص مناطق شهری، کشاورزی و کوهستانی استفاده شد و متوسط درجه حرارت در زمان گذر سنجنده (ساعت ۶:۰۰) از سایت سازمان هواشناسی اخذ گردید. نتایج تحلیل آماری درجه حرارت ایستگاه شاخص و LST محاسبه شده از روش‌های مختلف، نشان داد که در مناطق شهری، از بین روش‌های مختلف تعیین LST، بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا و LST محاسباتی به روش تک‌کاناله یا SC دیده شده است ($R^2=0.964$). در مناطق کوهستانی، بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا و LST محاسباتی به روش تک‌پنجره اصلاحی یا IMW دیده شده است ($R^2=0.951$). بطور مشابه، در مناطق کشاورزی و مرتعی نیز بیشترین همبستگی‌ها بین دمای هوا و LST محاسباتی به روش تک‌پنجره اصلاحی یا IMW دیده شده است ($R^2=0.943$). با مقایسه نتیجه محاسبه LST در کاربری‌های مختلف مشاهده شد که در دوره آماری متوسط LST در مناطق شهری ۳۸،۶۲ درجه سانتی‌گراد بدست آمد. با مقایسه اعداد فوق مشاهده شد که درجه حرارت در مناطق شهری بطور متوسط ۱،۶۸ درجه نسبت به مناطق کوهستانی و ۰،۲۸ درجه در مناطق کشاورزی بالاتر بوده است که مربوط به اثر جزیره حرارتی است. و با توجه به اینکه این اطلاعات از دوره آماری شهریور ۹۲ تا آبان ۹۵ بدست آمده (روش‌های منتخب صرفاً از طریق تصاویر این سالها قابل استخراج است) لذا این اختلاف درجه حرارت قابل تامل بوده و لزوم برنامه‌ریزی دقیق‌تر در مدیریت شهر مشهد به منظور اجتناب از مخاطرات جزایر حرارتی کلان شهرها مشاهده می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در منطقه مطالعاتی، روند عمومی تغییرات شاخص NDVI طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵ بصورت نزولی بوده است. کاهش درصد پوشش‌های گیاهی در بخش‌های مختلف از جمله کشاورزی و مرتع، تغییر نوع پوشش گیاهی (الگوی کشت) در بخش‌های کشاورزی و

منابع

1. U.S. Environmental Protection Agency. 2014. Climate change indicators in the United States, Third edition. EPA 430-R-14-004.
2. Parry M., Parry ML., Canziani O., Palutikof J., Van der Linden P., and Hanson C. 2007. Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability: Working group II contribution to the fourth assessment report of the IPCC. Cambridge University Press.

3. Han JY., Baik JJ., and Lee H. 2014. Urban impacts on precipitation. *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences* 50(1):17-30.
4. AghaKouchak A., Cheng L., Mazdiyasn O., and Farahmand A. 2014. Global warming and changes in risk of concurrent climate extremes: Insights from the 2014 California drought. *Geophysical Research Letters*. 41(24): 8847-52.
5. Sanderson M.G., Hemming D.L., and Betts R.A. 2011. Regional temperature and precipitation changes under high-end (≥ 4 C) global warming. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 369(1934): 85-98.
6. Delpla I., Jung A.V., Baures E., Clement M., and Thomas O. 2009. Impacts of climate change on surface water quality in relation to drinking water production. *Environment International* 35(8): 1225-33.
7. Wilby R.L., Whitehead P.G., Wade A.J., Butterfield D., Davis R.J., and Watts G. 2006. Integrated modelling of climate change impacts on water resources and quality in a lowland catchment: River Kennet, UK. *Journal of Hydrology* 330(1-2): 204-20.
8. Dabbaghian Amiri M. 2012. Island Thermal Challenges for the Urban Environment and Solutions to Reduce its Impacts. Saqez University of Applied Sciences. First Regional Conference on Architecture and Urban Development. (In Persian)
9. Mousavi Baighi M., Ashraf B., Farid Hosseini A., and Meyanabadi A. 2012. Checking the Thermal Island of Mashhad using satellite imagery and fractal theory. *Geography Magazine and Environmental Hazards* 1: 35-49. (In Persian)
10. Grimm N.B., Faeth S.H., Golubiewski N.E., Redman C.L., Wu J., Bai X., and Briggs J.M. 2008. Global change and the ecology of cities. *Science* 319(5864): 756-60.
11. Song X., Zhang J., AghaKouchak A., Roy SS., Xuan Y., Wang G., He R., Wang X., and Liu C. 2014. Rapid urbanization and changes in spatiotemporal characteristics of precipitation in Beijing metropolitan area. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 119(19): 11-250.
12. Creamean J.M., Suski K.J., Rosenfeld D., Cazorla A., DeMott P.J., Sullivan R.C., White A.B., Ralph F.M., Minnis P., Comstock J.M., and Tomlinson J.M. 2013. Dust and biological aerosols from the Sahara and Asia influence precipitation in the western US. *Science* 339(6127):1572-8.
13. Kustas W., and Anderson M. 2009. Advances in thermal infrared remote sensing for land surface modeling. *Agricultural and Forest Meteorology* 149(12): 2071-81.
14. Leuning R., Kelliher FM., De Pury D.G., and Schulze E.D. 1995. Leaf nitrogen, photosynthesis, conductance and transpiration: scaling from leaves to canopies. *Plant, Cell & Environment* 18(10): 1183-200.
15. Jiménez-Muñoz J.C., Cristóbal J., Sobrino J.A., Sòria G., Ninyerola M., and Pons X. 2008. Revision of the single-channel algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat thermal-infrared data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 47(1): 339-49.
16. Barsi J.A., Barker J.L., and Schott J.R. 2003. An atmospheric correction parameter calculator for a single thermal band earth-sensing instrument. *InIGARSS 2003. 2003IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No. 03CH37477)* (5): 3014-3016). IEEE.
17. Wang F., Qin Z., Song C., Tu L., Karnieli A., and Zhao S. 2015. An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote Sensing* 7(4): 4268-89.
18. Yu X., Guo X., and Wu Z. 2014. Land surface temperature retrieval from Landsat 8 TIRS—Comparison between radiative transfer equation-based method, split window algorithm and single channel method. *Remote Sensing* 6(10):9829-52.
19. Sobrino J.A., Li Z.L., Stoll M.P., and Becker F. 1996. Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ATSR data. *International Journal of Remote Sensing* 17(11): 2089-114.
20. Michael Casey. NASA: Alarming Water Loss in Midle East [Internet]. New York: Associated Press; 2013[2013 February 13th]. Available from: <http://www.weather.com/news/climate/news/middle-east-vanishing-water-20130213>
21. Cristóbal J., Jiménez-Muñoz J.C., Sobrino J.A., Ninyerola M., and Pons X. 2009. Improvements in land surface temperature retrieval from the Landsat series thermal band using water vapor and air temperature. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 114(D8).
22. Jiménez-Muñoz J.C., Sobrino J.A., Skoković D., Mattar C., and Cristóbal J. 2014. Land surface temperature retrieval methods from Landsat-8 thermal infrared sensor data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 11(10): 1840-3.

Evaluation and Separation between Urban Heat Island and Global Warming in Mashhad Region

H. Bondar¹- M. Mousavi Baygi^{*2}-B. Ghahraman³

Received: 09-04-2019

Accepted: 07-12-2020

Introduction: In arid and semi-arid regions such as Iran, water is the most important limiting factor in economic development, and its management is of high importance. In recent years, due to irrigation expansion, low productivity in agricultural sector, and the rainfall shortage, water resources have been adversely affected in Iran. Undoubtedly, global warming in arid and semi-arid countries has increased the need for aquatic plants and the severity of drinking water shortages, making it more difficult to plan for limited resources. Studying the spatial and temporal changes of evapotranspiration is essential for the comprehensive planning of water management in Mashhad and providing an appropriate solution for optimal use of available water resources. However, spatiotemporal analysis of evapotranspiration regardless of the phenomenon of global warming and thermal island leads to unrealistic results. Therefore, the aim of this study was to address these shortcomings in previous studies in Mashhad. The specific objectives were: temporal analysis of evapotranspiration in the existing statistical period and estimation of annual evapotranspiration volume with respect to global warming, investigating the effect of global warming factors and thermal island on evapotranspiration and eventually water resources management in Mashhad.

Materials and Methods: This study was carried out in Mashhad, city of Khorasan Razavi province with an area of 204 square kilometers, in northeastern Iran. Satellite imagery used for this research was a time series from Landsat 5 (TM sensor), Landsat 7 (ETM+) and Landsat 8 (OLI and TIRS sensors) from 1996 to 2016. The selected images for 2016 consisted of a time series of 13 images and a 16-day interval. After receiving satellite imagery, the performance of atmospheric corrections was evaluated based on FLAASH and TAC methods for reflective and thermal bands, respectively. The radiometric correction of images and reflection calculation of reflection was also conducted for bands 4 and 5 (values of ρ) and radiations of thermal bands 10 and 11 (Lsen values) in the ILWIS software environment. Then, the temperature of the vegetation was calculated using different methods of determining the surface temperature (LST).

Result and Discussion: The results showed that, on average, NDVI values in urban, mountainous and agricultural classes were 0.39, 0.37, and 0.4, respectively. However, the lowest and largest absolute value of NDVI were, respectively, 0.29 and 0.82, both of which are obtained in agricultural lands. The mean land surface temperature (LST) was 34.2 °C during days, which had a time and spatial variation between 17.9 to 49.4 °C in different regions. The highest and lowest mean LST was observed in urban and mountainous applications, respectively. Urban areas also had a significant difference in LST compared to other land uses due to the type of land cover in urban areas (mainly asphalt, stone, brick, cement, iron, etc.) and activities such as vehicle traffic, smoke and heat from factories and industries. The Split-Window (SW) method gave higher LST values compared with other methods. Then, the single-channel (SC), Improved Mono-Window (IMW) and single-window (MW) methods provided lower amounts of LST. The same trend was observed in almost all land use classes in the study area. It was also found that in urban areas, the strongest correlation between air temperature and LST was calculated by applying SC ($R^2 = 0.937$). In mountainous regions, the highest correlation between air temperature and computed LST was found for the IMW ($R^2 = 0.951$). Similarly, in the agro-rangeland areas, the highest correlation between air temperature and computed LST was obtained by IMW ($R^2 = 0.953$).

Conclusion: In the study area, the general trend of NDVI index was declining between 1996 and 2016. Reducing the percentage of vegetation cover in different sectors such as agriculture and rangeland, changing the type of vegetation (crop pattern) in agricultural sector and urban green spaces are the reasons for decreasing

1, 2 and 3- Ph.D. Student and Professors, Department of Water Science and Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, respectively.

(*- Corresponding Author Email:mousavib@um.ac.ir)

DOI: 10.22067/jsw.2020.14683.0

NDVI index in Mashhad region. The average LST was 34.2 °C in the days, which had a time and spatial variation between 17.9 to 49 °C in different regions. The maximum and minimum average LST was observed in urban and mountainous regions, respectively. The SW provided higher LST values compared to other methods. The SC, IMW and MW methods, however, provided lower LST values. The same trend was observed in almost all land use classes in the study area. It was also found that in urban areas, the highest correlation between air temperature and LST was found by using SC ($R^2=0.937$). In mountainous regions, the strongest correlations between air temperature and LST was observed by using the Split Window Algorithm (SW) Improved Mono-Window (IMW) ($R^2=0.951$). Similarly, in the agricultural and rangeland areas, the highest correlation between air temperature and LST was observed using the Split Window (SW) Improved Mono-Window (IMW) ($R^2=0.953$).

Keywords: Evaporation, Heating, Heat, Transpiration, Water