

بررسی جزایر گرمایی شهر تهران با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

هادی فدایی^۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۱۲/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۰۹/۱۸

چکیده

در سطح شهر تهران شناسایی جزایر گرمایی که در اثر روند گسترش شهرنشینی ایجاد شده‌اند و تأثیر آن‌ها بر آلودگی هوا، دارای احتمال می‌باشد. لذا در این پژوهش به ارتباط بازتاب طیفی پدیده‌های تأثیرگذار بر روند گسترش پدیده جزایر گرمایی در سطح شهر تهران و حومه پرداخته شده است. تصاویر ماهواره لندست ۸ شهر تهران در دو تاریخ ۱۶- آذر- ۱۳۹۶ و تاریخ ۱۶- مرداد- ۱۳۹۶ اخذ و پیش‌پردازش‌های اولیه از قبیل تصحیحات هندسی و رادیومتریک و اتمسفریک انجام گرفت و بعد از پیش‌پردازش‌های اولیه از باندهای ۹ و ۱۰ که باندهای حرارتی این ماهواره می‌باشند درجه حرارت زمین (LST) استخراج گردید. سپس از باندهای طیفی این ماهواره شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای سطح زمین محاسبه شد. بعد از آن، بازتاب طیفی تمام پدیده‌های زمینی تأثیرگذار از روی تصاویر استخراج شد و ارتباط آن با آلودگی و درجه حرارت سطح زمین به دست آمد. شاخص پوشش گیاهی نرمال (NDVI) نشان داد که شاخص پوشش گیاهی در مناطق مختلف شهری در محدوده فضای سبز، محدوده اتوبان (آسفالت)، محدوده مسکونی (ساختمان)، پوشش سبزی‌نگی کم، محدوده سایه، محدوده ابر و محدوده مختلط زمین لخت + ساختمان + پوشش گیاهی شامل (۰/۴۱، ۰/۰۰، ۰/۰۴، ۰/۱۰، ۰/۰۱، -۰/۰۴ و ۰/۰۳) می‌باشند. همچنین، بازتاب طیفی محدوده‌های تأثیرگذار در تشکیل جزایر گرمایی شهری، محدوده فضای سبز و کمترین محدوده تأثیرگذار مربوط به سایه بوده است. بیشترین منطقه تحت تأثیر جزایر گرمایی شهری مربوط به بزرگراه امام علی (علیه‌السلام) بوده که بیشترین حجم ترافیک را دارا می‌باشد. مناطق با آلودگی کمتر که کمترین تأثیر در ایجاد جزایر گرمای شهری را دارند در حدود $R^2=0/59$ و مناطق با آلودگی بیشتر دارای بیشترین تأثیر در ایجاد جزایر گرمای شهری در حدود $R^2=0/72$ می‌باشد. مناطق با پوشش گیاهی کم و خاک لخت بیشترین درجه حرارت زمین (LST) را نشان می‌دهد. بیشترین مناطق، دارای درجه حرارت زمین (LST) بین ۴۲/۹ تا ۴۶/۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. کمترین مناطق، دارای دمای سطح زمین بین ۳۶/۵ تا ۳۹/۵ درجه سانتی‌گراد بوده است. نقشه کاربری زمین به دست آمده نیز تأییدکننده نتایج LST می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تصاویر ماهواره لندست، بازتاب‌های طیفی، شاخص گیاهی، درجه حرارت زمین (LST)، آلودگی هوا

۱- مقدمه

کاهش بارندگی و افزایش آلودگی می‌شود، بلکه تهدیدی برای سلامت جسمانی و روحی ساکنین و کیفیت حیات آن‌ها می‌باشد (هادی‌پور و همکاران، ۱۳۹۸). متأسفانه در شهر تهران آلودگی هوا مردم را در پاییز و زمستان رنج داده است (kheradmandi & Abbaspour, 2016). این اثر شرایط نامطلوبی را برای شهروندان به وجود آورده، موجب بروز مشکلات فراوانی گشته است (Ayanlade & Howard, 2019). هادی‌پور و همکاران (۱۶:۱۳۹۸) به مطالعه جزایر حرارتی شهر اراک و ارتباط شاخص‌های گیاهی و کاربری زمین با درجه حرارت سطحی زمین با استفاده از تصاویر ماهواره لندست پرداختند. در نتایجشان نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین تمام کاربری‌ها و شاخص‌های سنجش‌ازدور وجود دارد و نتایج LST و کیفیت هوا حاکی از نداشتن اختلاف معنی‌داری بین این دو پارامتر بوده است.

پیرنظر و همکاران (۱۳:۱۳۹۷) به بررسی ارتباط کلاس‌های پوشش کاربری زمین با درجه حرارت سطح زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ در تهران پرداختند. نتایج نشان داد که فضای سبز پس از کلاس آب، خنک‌ترین کلاس بوده و می‌تواند نقش مهمی در تعدیل دمای سطح زمین و محیط اطراف خود ایفا نماید. مناطقی با پوشش سبز می‌توانند اثر جزیره حرارت شهری را کاهش دهند و مناطق ساخته‌شده و بدون پوشش گیاهی اثر جزیره حرارت شهری را تقویت می‌کنند (Sarami & Salaki, 2006). بررسی‌های ماهواره‌ای نشان می‌دهد که تمامی شهرهای بزرگ روی زمین، به دلیل از بین بردن رستنی‌ها و گیاهان و جایگزینی آن‌ها با مصالح، به‌ویژه مصالح تیره‌رنگ ساختمانی، دچار چنین مشکلی شده‌اند. در طول روز مواد تیره ساختمانی، گرما را جذب می‌کنند و تا ساعت‌ها پس از غروب آفتاب آن را نگاه می‌دارند (Guttikunda, Nishadh, & Jawahar, 2019).

معروف‌نژاد (۲۵:۱۳۹۰) به بررسی تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در شهر اهواز پرداخت. نتایج تحقیقات نشان داد

عناصر طبیعی شامل آب، گیاه و خاک و عناصر مصنوعی شامل آسفالت و مناطق مسکونی، پدیده‌هایی هستند که دارای بازتاب‌های طیفی مختلف می‌باشند و این پدیده‌ها در تشکیل جزایر گرمایی تأثیر زیادی دارند (Bulatov et al., 2020). امروزه بحث استفاده از سنجش‌ازدور را می‌توان در امواج طیفی سنجنده‌ها استفاده کرد و ارتباط آن را با سایر پدیده‌های زیست‌محیطی سنجد و ارزیابی نمود (Thenkabail, Lyon, & Huete, 2018).

سنجنده ماهواره لندست ۸ که دارای دو سنجنده OLI^۱ می‌باشد و تصاویر چندطیفی معمولاً در طول موج‌های با عرض نسبتاً بالا، اقدام به ثبت انرژی و تصویربرداری می‌پردازند. از پردازش این تصاویر می‌توان شاخص‌های پوشش گیاهی و بازتاب‌های طیفی تمام اجزای زمینی را به دست آورد (Chen & et al., 2019). درجه حرارت بعضی شهرها یا مناطق شهری در مقایسه با محدوده روستایی اطرافشان یا حومه شهر به‌طور فراوانی افزایش یافته و این پدیده که از آن به‌عنوان جزیره گرمایی شهری^۲ یاد می‌شود، از طریق گرمایش ساختمان‌ها، آلودگی هوا و استفاده از مصالح نامناسب مانند آسفالت که جاذب نور خورشید است، به وجود می‌آید. کف‌سازی خیابان‌ها و کوچه‌ها، از جمله عوامل تأثیرگذار بر ایجاد اثر جزایر گرمایی شهری تغییر درجه حرارت سطح زمین در اثر توسعه شهری است. سنجنده TIR^۳ تصاویر مادون‌قرمز حرارتی را برداشت می‌نماید. این تصاویر معمولاً در محدوده طول موج ۸ تا ۱۴ میکرومتر می‌باشند. در این محدوده از طول موج، سنجنده به ثبت خصوصیات حرارتی مواد می‌پردازد. داده‌های چندطیفی طول موج‌های مرئی، مادون‌قرمز نزدیک، کوتاه و حرارتی را پوشش می‌دهند (Sajib & Wang, 2020). اثرات منفی جزایر حرارتی شهری نه تنها منجر به کاهش کیفیت هوا،

1- Operational Land Imager (OLI)

2- Urban heat island

3- Thermal Infrared (TIR)

به روش‌هایی که نتایج حاصله را با اندازه‌گیری‌های داخلی همراه کند احساس می‌شود. داده‌های زمینی به صحت و تأیید نتایج تجزیه و تحلیل‌های سنجش‌ازدور می‌تواند کمک کند (Huang, Huang, Yang, Fang, & Liang, 2019 Sun, Lü, Yang, 2019). هنگامی که سطح زمین از انبوه رستنی‌ها و گیاهان سبز پوشیده شده یا خاک آن مرطوب باشد، گرمای جذب شده با تبخیر آب گیاهان به سرعت جایگزین می‌گردد و گیاهان از طریق برگ‌ها، آب خود را از دست می‌دهند که این موضوع منجر به خنک شدن هوا می‌گردد (Abera, Heiskanen, Pellikka, Rautiainen, & Maeda, 2019). به سمت مراکز شهر و مناطق تجاری که مناطق مسکونی شهری را دربردارد از فضای سبز کاسته شده و به درجه حرارت سطح زمین اضافه می‌شود.

همین‌طور به سمت مناطق مسکونی حومه شهر و مناطق مسکونی روستایی، احتمال زیاد شدن فضای سبز وجود دارد و کمتر جزایر گرمایی شهری ایجاد می‌شود. درواقع در این نوع جزایر گرمایی، با اندازه‌گیری اشعه مادون قرمز منتشرشده توسط سطوح می‌توان مناطق داغ شهری را شناسایی کرد. خورشید، که تنها منبع گرمایی خارج کره زمین است، تابش خود را به صورت پرتوهای نور مرئی و پرتوهای فرابنفش با طول‌موج کوتاه به سوی زمین گسیل می‌کند. زمین مقدار قابل‌توجهی از انرژی دریافت شده از خورشید را به فضا تشعشع می‌کند. این پرتوها به صورت اشعه مادون قرمز منعکس می‌شوند (Srivastav, 2019). گازهای گلخانه‌ای همچون بخار آب، دی‌اکسید کربن، متان و اکسیدهای نیتروژن پرتوهای مادون قرمز تشعشع شده از سطح زمین را جذب می‌نمایند.

جو زمین همانند شیشه‌های گلخانه عمل می‌کند، اجازه می‌دهد که پرتوهای با طول‌موج کوتاه وارد شوند اما جلوی خروج پرتوهای با طول‌موج بلند را می‌گیرد. این روند موجب افزایش دمای جو می‌شود که اثر گلخانه‌ای نامیده می‌شود (Medved, Domjan, & Arkar, 2019). دمای سطح

مناطق که با کاربری صنعتی بودند دارای بیشترین دمای سطحی در حدود $43/2$ درجه سانتی‌گراد و مناطقی که با کاربری فضای سبز بوده‌اند دارای دمای سطحی به میزان $35/9$ درجه سانتی‌گراد می‌باشند.

شکیبا و همکاران (۱۷:۱۳۸۸) به تهیه نقشه حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ از ماهواره لندست پرداختند. نتایج تحقیقاتشان نشان داد که سطوح نفوذناپذیر از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی اثر گرمایشی دارند، در حالی که پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن گرمایی به وسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه، دارای اثر خنک‌کننده اند. همچنین ساسان‌پور و همکاران (۱۴:۱۳۹۲) به بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران با استفاده از داده‌های سنجنده ETM+ از ماهواره لندست پرداختند. نتایج نشان داد که ارتباط مستقیم میان وجود جزایر حرارتی و ساخت و ساز بیشتر و مناطق بایر گسترده‌تر و رابطه معکوس میان NDVI و پوشش گیاهی با دما و جزایر حرارتی وجود دارد. متکان و همکاران (۱۴:۱۳۹۳) به بررسی ارتباط جزایر گرمایی و کاربری اراضی با استفاده از تصاویر سنجنده استر در شهر بندرعباس پرداختند. نتایج نشان داد مناطق صنعتی، زمین‌های بایر دارای حرارت زیاد و مناطق ساحلی به دلیل مجاورت با آب و مناطق دارای پوشش گیاهی و فضای سبز به دلیل تبخیر و تعرق از سطح برگ درختان و ایجاد سایه، دارای کمتری نسبت به سایر کاربری‌ها است. ولی‌زاده کامران (۱۵:۱۳۹۶) به برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از تصاویر دو سنجنده استر و سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ پرداختند.

نتایج تحقیقات نشان داد که مؤثرترین عامل در ایجاد جزایر حرارتی در محدوده شهر زنجان با لایه شیب $0/87$ دارای بیشترین اهمیت و لایه‌های جهت، پوشش گیاهی، کاربری اراضی و ارتفاع در اولویت‌های بعدی قرار دارند. اگرچه داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند برای بررسی توزیع جزایر گرمایی شهری مورد استفاده قرار گیرند اما هنوز نیاز

استفاده خانگی، تجاری استفاده از پمپاژ آب کشاورزی)، صنایع کوچک و متوسط، گردوغبار (جابه‌جایی جاده و ساخت‌وساز)، داخلی (پخت‌وپز، گرمایش و نورپردازی)، سوزاندن زباله باز و آتش‌سوزی باز و منابع غیرانسانی مانند نمک دریا، طوفان گردوغبار، زیست‌محیطی و رعدوبرق دارد (Guttikunda & et al., 2019). بوکایی و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۶ به ارزیابی جزیره گرمای شهری بر اساس رابطه دمای سطح زمین و نوع کاربری در تهران پرداختند. در این تحقیق، رابطه بین دمای سطح زمین (LST) و نقشه پوشش زمینی/کاربری زمین^۳ در شهر متروپولیتن تهران با استفاده از تصاویر ماهواره Landsat TM مورد بررسی قرار گرفت. نقشه کاربری زمین را براساس روش طبقه‌بندی نظارت شده تهیه کردند و نقشه دمای سطح زمین (LST) را از پردازش باندهای حرارتی تصاویر لندست TM به‌دست آوردند (Bokaie & et al., 2016).

سان و همکارانش و هوانگ و همکارانش در سال ۲۰۱۹ دریافتند برای مطالعه جزایر حرارتی شهری، داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند کمک شایانی بکند و برای ارزیابی این داده‌ها می‌توان از صحت‌سنجی زمینی استفاده نمود (Huang & et al., 2019; Sun & et al., 2019).

هدف از این مطالعه ارتباط بین بازتاب‌های طیفی کاربری‌ها با ۱- شاخص‌های سبزی‌نگی، ۲- شاخص آلودگی هوا و ۳- درجه حرارت سطحی زمین و در نهایت استفاده از اطلاعات طیفی برای طبقه‌بندی نظارت شده پوشش کاربری زمین با استفاده از الگوریتم زاویه نگاشت طیفی^۴ می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

ابتدا تصاویر ماهواره لندست ۸ شهر تهران اخذ و پیش پردازش‌های اولیه از قبیل تصحیحات هندسی و رادیومتریک و اتمسفریک انجام گرفت. از تصاویر سنجنده چندطیفی OLI بازتاب طیفی پدیده‌های زمینی کاربری‌ها و سنجنده حرارتی TIR درجه حرارت سطحی زمین استخراج گردید.

زمین^۱ کاربردهای گسترده‌ای در حوزه تبخیر و تعرق، تغییرات آب‌وهوا، چرخه هیدرولوژیکی، پایش گیاهان و مطالعات شهری دارد (Reyes-Paecke, Gironás, Melo, Vicuña, & Herrera, 2019). بهترین گزینه استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در محدوده مادون‌قرمز است که اطلاعات خوب با رزولوشن بالایی را در اختیار ما قرار می‌دهد (گلکار و همکاران، ۱۳۹۳؛ Zhao & et al., 2020). در طول چند دهه گذشته بازیابی LST از تصاویر حرارتی مادون‌قرمز^۲ به‌صورت گسترده‌ای پیشرفت کرده است. الگوریتم‌های متفاوتی با توجه نوع حس‌گرها و مشخصات آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به‌طورکلی، رشد جمعیت و سرعت مهاجرت به شهر، دو دلیل اصلی برای گسترش مناطق شهری و کاهش فضای سبز و پوشش گیاهی می‌تواند باشد (Aslami & Ghorbani, 2018).

دوان و همکارانش در مطالعه خود به تأثیر عملیات ساختمانی بر جزایر گرم و سرد شهری در اثر روند گسترش شهری می‌پردازد. نتایج تحقیقات ایشان در اوایل روند شهرسازی، نشان از روند افزایش جزایر حرارتی سرد دارد. سپس با افزایش روند شهرسازی این روند حالت عکس پیدا می‌کند، یعنی جزایر حرارتی گرم افزایش پیدا می‌کند (Duan & et al., 2019). صرامی و سلکی در سال ۱۳۸۴ به بحث جزایر گرمایی شهری اشاره دارند که در اثر روند گسترش شهری نسبت به حومه افزایش ۵-۸ درجه حرارت سانتی‌گراد را در پی دارد. همچنین برای مقابله با جزیره گرمایی در داخل شهر افزایش فرهنگ همگانی در امر حفاظت محیط و گسترش فضای سبز را اشاره دارد (Sarami & Salaki, 2005). گوتیکندا و همکارانش در سال ۲۰۱۹ به ارزیابی آلودگی شهری در ۲۰ شهر هند می‌پردازد. نتایج تحقیقات آن‌ها حاکی از آن است که آلودگی در شهر نیاز به دانش شهری از قبیل انسان‌شناسی، مانند حمل‌ونقل (جاده، راه‌آهن، کشتی و حمل‌ونقل هوایی)، تولید برق در مقیاس بزرگ (از زغال سنگ، دیزل و نیروگاه‌های گاز)، تولید برق مقیاس کوچک (از مجموعه‌های دیزل ژنراتور برای

3- Land Use and Land Cover (LULC)

4- Spectral Angle Mapper (SAM)

1- Land Surface Temperature (LST)

2- Thermal Infrared (TIR)

صادر شده از سطح مناطقی که در میدان دید سنجنده هستند، بازیابی کنند. تخمین حرارت سطح در مناطق مختلف شهری و بررسی توزیع دمای سطح زمین و علل پیدایش آن کاربردهای فراوانی در گرم شدن شهرها دارد. از روی داده‌های درجه حرارت زمین، نقشه طبقه‌بندی براساس درجه حرارت (LST) پوشش زمینی از تصاویر سنجنده لندست ۸ به دست آمد.

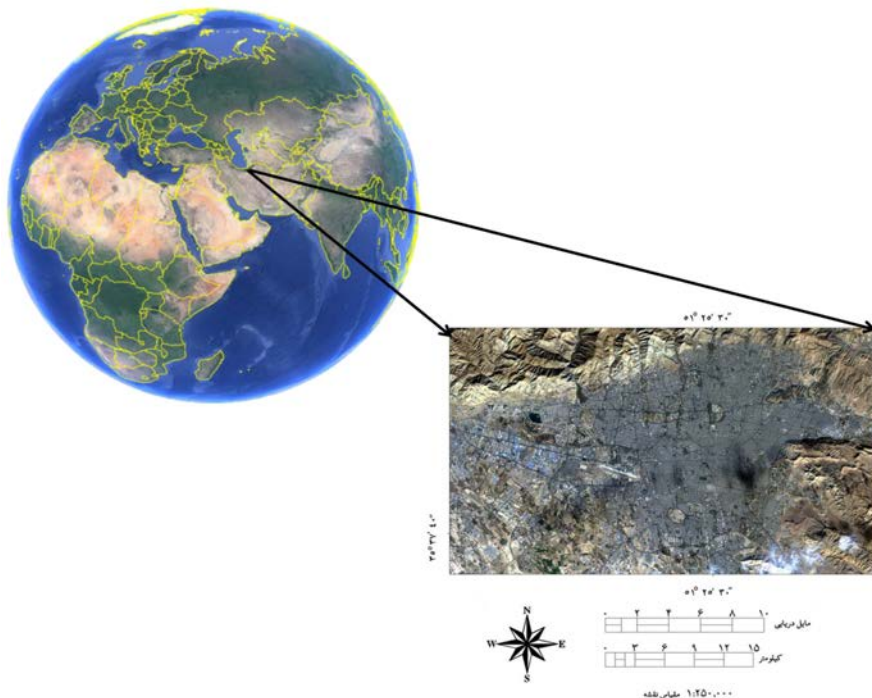
۳- نتایج

تصاویر لندست ۸ می‌تواند اطلاعات طیفی فراوانی را جهت شناسایی و تشخیص پدیده‌ها با ویژگی‌های طیفی منحصربه‌فرد از سنجنده OLI فراهم آورد. طیف بازتابندگی نمونه‌های اندازه‌گیری شده از روی تصویر ماهواره لندست ۸ به دست آمده است که میزان تفکیک‌پذیری طیف‌های پدیده‌های مختلف زمینی را نشان می‌دهد (نگاره ۲). بازتابندگی، درصدی از نور است که توسط یک ماده منعکس می‌شود در مقابل مقداری از نور نیز از ماده عبور یا توسط آن جذب می‌شود. میزان بازتابندگی یک ماده در گستره‌ای از طول موج‌ها را طیف بازتابندگی می‌گویند.

جدول ۱: معرفی باندهای سنجنده‌ی OLI

دقت مکانی (متر)	طول موج (نانومتر)	باندها
30	430-450	باند ۱ - Coastal aerosol
30	450-510	باند ۲ - آبی
30	530-590	باند ۳ - سبز
30	640-670	باند ۴ - قرمز
30	850-880	باند ۵ - مادون قرمز نزدیک (NIR)
30	1750-1650	باند ۶ - مادون قرمز کوتاه ۱ (SWIR1)
30	2110-2290	باند ۷ - مادون قرمز کوتاه ۲ (SWIR2)
15	500-680	باند ۸ - پانکروماتیک
30	1360-1380	باند ۹ - سیروس
100	11300-10300	باند ۱۰ - Long wavelength (infrared)
100	12500-11500	باند ۱۱ - Long wavelength (infrared)

آشکارترین تأثیر انسان بر روی اقلیم در مقیاس محلی و منطقه‌ای، پدیده جزیره حرارتی می‌باشد (Li et al., 2020). جزایر حرارت سطح زمین را به وسیله ثبت رادیانس حرارتی



نگاره ۱: موقعیت منطقه

مطالعاتی؛ تصویر ماهواره سال ۲۰۱۸ میلادی از تهران که از ترکیب باندهای (۲ = ۰/۴۸۲ میکرومتر)، (باند ۳ = ۰/۵۶۱ میکرومتر) و باند (۴ = ۰/۶۵۴ میکرومتر) است

پیکسل‌ها دارای ارزش $NDVI = 0/06$ بود که بیشتر در محدوده مسکونی و آسفالت اتوبان می‌باشد (Rouse Jr, Haas, 1974; Wang & et al., 2018; Schell, & Deering, 1974). مقادیر آن از رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

در اینجا

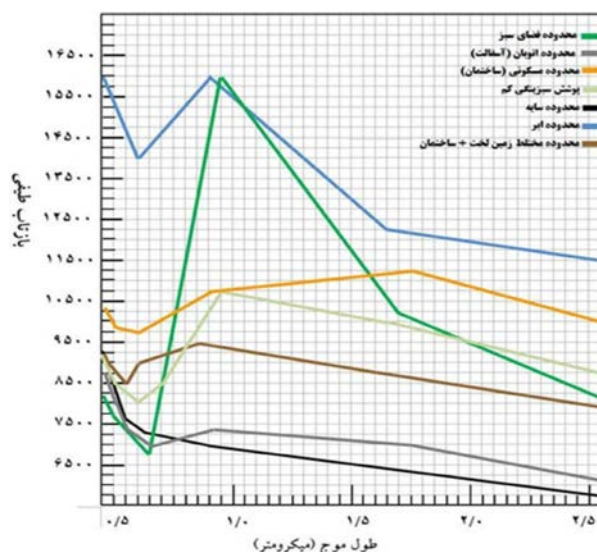
NIR: طول موج مادون قرمز نزدیک و RED: طول موج قرمز (نگاره ۲ و جدول ۲).

جدول ۲: شاخص NDVI برای پدیده‌های روزمینی

پوشش زمینی	NDVI
محدوده فضای سبز	۰/۴۱
محدوده اتوبان (آسفالت)	۰/۰۰
محدوده مسکونی (ساختمان)	۰/۰۴
پوشش سبزی‌نگی کم	۰/۱۰
محدوده سایه	-۰/۰۱
محدوده آبر	۰/۰۴
محدوده مختلط زمین لخت + ساختمان	۰/۰۳

نقشه LST از ماهواره Landsat در دو تاریخ ۱۶- آذر- ۱۳۹۶ و در تاریخ ۱۶- مرداد- ۱۳۹۶ تهیه شده است. با توجه به نقشه LST، درجه حرارت در این نقشه براساس انحراف معیار ارزش‌ها طبقه‌بندی شده و سپس مناطق تحت‌تأثیر جزایر گرمایی شهری شناسایی شد. در تصویر تاریخ ۱۶- آذر- ۱۳۹۶ دمای سطح بین ۱۳- تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد و دمای متوسط سطح ۵/۲۱ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. دمای بالای ۳۰ درجه در این تصویر مربوط به مناطق مسکونی است که عاری از پوشش سبز گیاهی می‌باشد. و همچنین مناطق صنعتی نیز تفاوت دمای بالاتری را نشان داد که مربوط به منطقه ۲۱ تهران می‌باشد. نقشه استخراجی از تصویر تاریخ ۱۶- آذر- ۱۳۹۹ (فصل سرما) نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین مناطق آسیب‌دیده، منطقه ۲۱ شهر تهران می‌باشد (نگاره ۳). دمای سطح بین ۲۱/۵ تا ۵۷/۹ درجه سانتی‌گراد در تصویر تاریخ ۱۶- مرداد- ۱۳۹۶ تغییر کرد،

برخی مواد طول موج‌های خاصی از طیف نور را منعکس می‌کنند در حالی که سایر مواد ممکن است همان طول موج را جذب نمایند. از طریق الگوی بازتابندگی و جذب یک ماده در گستره‌ای از طول موج‌ها می‌توان برای شناسایی یک ماده خاص کمک گرفت (Liou & et al., 2018).



نگاره ۲: نمودار بازتاب طیفی پوشش‌های کاربری‌های استخراج شده از تصویر سنجنده OLI لندست ۸ در تاریخ ۱۶- آذر- ۱۳۹۶

۴- شاخص پوشش گیاهی^۱

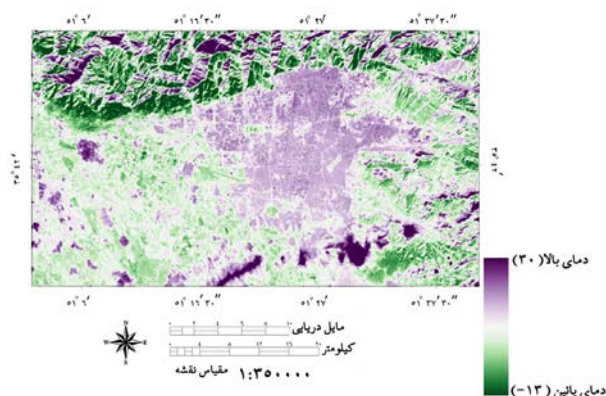
متداول‌ترین شاخص گیاهی که برای تعیین ارزش سبزی‌نگی پدیده‌های زمینی موجود در سنجنش‌ازدور کاربرد دارد، شاخص نرمال شده پوشش گیاهی است و عبارت است از: دامنه مقادیر ۱- تا ۱+ که مقادیر منفی شاخص NDVI (اعداد نزدیک به ۱-) نشان‌دهنده پهنه‌های آبی است. و مقادیر نزدیک به صفر (بین ۰/۱- تا ۰/۱+) معمولاً نشان‌دهنده سطوح برهنه سنگی، ماسه‌ای یا برفی است. مقادیر پایین و مثبت شاخص (حدود ۰/۲+ تا ۰/۴+) نشان‌دهنده پوشش درختچه‌ای و علف‌زار و مقادیر بالای شاخص NDVI (اعداد نزدیک به ۱+) نشان‌دهنده جنگل‌های بارانی مناطق گرم و استوایی است. در این مطالعه بیشترین فراوانی

1- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

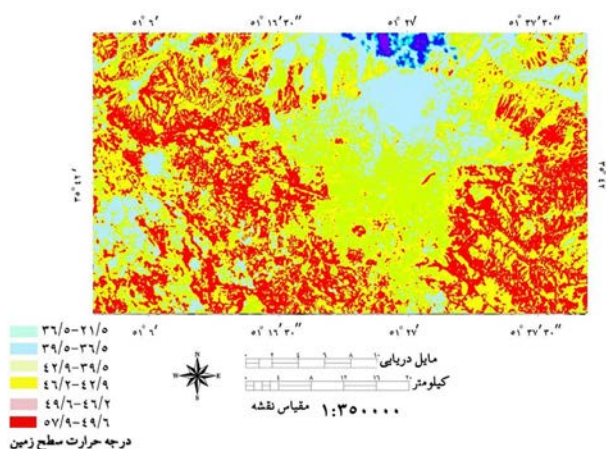
۵- بحث

با توسعه شهرنشینی، مقادیر زیادی از مساحت مناطق کشاورزی و جنگلی جای خود را به خانه ها، مناطق صنعتی و دیگر زیرساخت ها داده اند. در برخی از نواحی شهری تغییرات کاربری ها و افزایش جمعیت و در پی آن افزایش تردد خودروها و همچنین وجود صنایع، موجب افزایش دمای برخی مناطق شهری به خصوص مناطق جنوب شهر (مناطق ۱۳ و ۱۲ تهران) نسبت به دیگر مناطق می شوند. بنابراین در مناطق شهری، بسته به پوشش زمین، مناطقی با درجه حرارت بیشتر از سایر نواحی به وجود می آید، که این پدیده را جزیره حرارتی شهرها می نامند. در این تحقیق، جزایر حرارتی شهر که مهم ترین مرکز جمعیتی و یکی از مهم ترین مراکز صنعتی ایران به شمار می آید، در طول چند دهه اخیر رشد شهری سریعی داشته است. هدف اصلی از انجام این تحقیق، استخراج جزایر حرارتی در مناطق شهری با استفاده از داده های ماهواره ای و تعیین بازتاب های طیفی پدیده های دخیل و به تبع آن برآورد ارزش پوشش سبزینگی آن ها (NDVI) و همچنین تعیین نقشه کاربری زمین با استفاده از اطلاعات طیفی وارد شده به طبقه بندی نظارت شده با استفاده از الگوریتم زاویه طیف نگاشت (SAM) می باشد. برای رسیدن به این هدف، طبقه بندی پوشش اراضی شهری شهر تهران براساس بازتاب های طیفی آن ها صورت گرفته است. طبقه بندی با استفاده از الگوریتم زاویه نگاشت طیفی انجام گرفت. در این طبقه بندی تفکیک اراضی به مناطق مسکونی و صنعتی، مناطق سبز شهری، مناطق پارک جنگلی، مناطق پوشش آب و خیابان ها و اتوبان ها انجام شد. نتایج نشان دادند که مناطق سبز شهری در مناطق شمال تهران (۱، ۲ و ۳) دارای پوشش سبز قابل قبولی هستند که از طریق جذب و ذخیره انرژی خورشیدی اثر گرمایشی در فصل زمستان و همچنین اثر سرمایشی در فصل گرم سال را دارند، این یعنی که پوشش گیاهی از طریق ایجاد توازن گرمایی به وسیله تبخیر و تعرق و تولید سایه، دارای اثر خنک کننده اند. و برعکس مناطق صنعتی و بدون پوشش

که در تاریخ مردادماه به دلیل فصل تابستان و گرمای فصل دارای هوای متعادلی در مناطق ۱، ۲ و بعضاً منطقه ۳ تهران به دلیل پوشش فضای سبز خوب می باشد. همچنین، نقشه درجه حرارت استخراجی سطحی زمین از تصویر تاریخ ۱۶-مرداد-۱۳۹۹ (فصل گرما) نشان می دهد که یکی از مهم ترین مناطق آسیب دیده، منطقه ۲۱ شهر تهران است که اکثریت کارخانه ها، کارگاه های صنعتی، انبارها و سایر کاربری ها مرتبط با فعالیت های صنعتی با بیشترین درجه حرارت $49/6^{\circ}$ تا $57/9^{\circ}$ است. کمترین درجه حرارت متعلق بود به منطقه ۱ با دامنه $21/5^{\circ}$ تا $36/5^{\circ}$ سانتی گراد حرارت سطح زمین که مربوط به مناطق ۱، ۲ و ۳ می باشد (نگاره ۴).



نگاره ۳: دمای سطح زمین استخراجی از تصویر سنجنده TIR در تاریخ ۱۶-آذر-۱۳۹۶



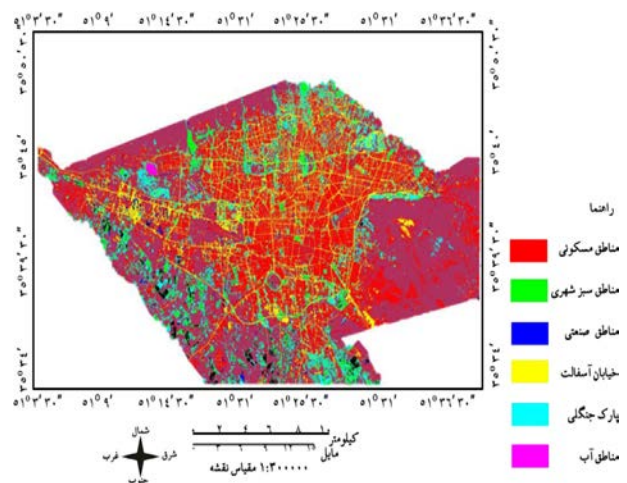
نگاره ۴: درجه حرارت سطح زمین از تصاویر سنجنده TIR لندست ۸ در تاریخ ۱۹-مرداد-۱۳۹۶

منفی ۱۳ درجه سانتی گراد است که مربوط به مناطق غرب تهران شامل منطقه ۲۱ تهران می باشد. ارزش های NDVI محدوده های تأثیر گذار در تشکیل جزایر گرمایی که از نقشه پوشش گیاهی و همچنین بازتاب های طیفی به دست آمده از این محدوده ها است نشان می دهد، که اولاً این منطقه عاری از پوشش گیاهی مناسب است، و همچنین نشان از گسترش مناطق صنعتی در این منطقه دارد.

بازتاب طیفی به دست آمده از این مناطق نشان از کمتر نگه داشتن انرژی جذبی خورشید در فصل سرد سال دارد و همچنین مناطق شمال تهران به دلیل داشتن پوشش گیاهی سبز که در جدول ۲ و همچنین نمودار بازتاب طیفی نگاره ۲ نشان داده شد، قدرت جذب انرژی خورشید دارند و به تبع آن سبب افزایش دما و هوای متعادل در این مناطق شمالی تهران می شود. بالعکس، تفسیر ها از نمودار بازتاب طیفی محدوده ها در نگاره ۲ و شاخص سبزینگی محدوده ها در جدول ۲ حاکی از این است که در نقشه درجه حرارت سطحی زمین در فصل گرم سال مناطق شمال تهران دارای هوای نسبتاً معتدل می باشد و دمای بین ۲۱/۵ - ۳۶/۵ درجه سانتی گراد را نشان می دهد.

دقت نقشه طبقه بندی کاربری اراضی در جدول ۳ نشان از دقت کاربری و دقت تولید شده توسط الگوریتم

سبز گیاهی دارای چنین حالتی نیستند و یکی از عوامل تشدید جزایر گرمایی شهری محسوب می شوند.



نگاره ۵: نقشه طبقه بندی پوشش کاربری اراضی بر اساس الگوریتم زاویه طیف نگاشت (SAM)

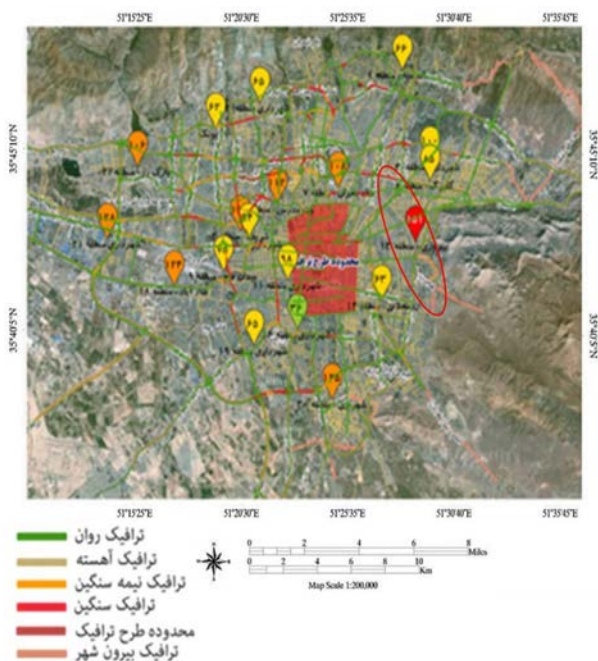
بر اساس نقشه طبقه بندی کاربری اراضی (نگاره ۵) و نقشه درجه حرارت استخراجی از سطح زمین در دو فصل گرم و سرد سال و مقادیر دمایی در طبقه بندی نقشه، مناطق تحت تأثیر جزایر حرارتی شهر شناسایی شدند. طبق نقشه درجه حرارت سطحی، در نقشه استخراجی فصل سرما مربوط به آذر ماه نشان می دهد که کمترین دمای سطح

جدول ۳: دقت تولید کننده و کاربر برای تصویر طبقه بندی شده سنجنده OLI از ماهواره لندست ۸

کلاس ها	مناطق مسکونی	مناطق سبز شهری	مناطق صنعتی	خیابان آسفالت	پارک جنگلی	مناطق آب	مجموع	دقت کاربر (%)
مناطق مسکونی	۲۵۴	۰	۸	۰	۰	۷	۲۶۹	۹۴/۴۲
مناطق سبز شهری	۱	۳۲۲	۰	۰	۰	۰	۳۲۳	۹۹/۶۹
مناطق صنعتی	۱۰	۲	۱۱۱	۰	۰	۰	۱۲۳	۹۰/۲۴
خیابان آسفالت	۶	۲	۰	۱۸۵	۰	۰	۱۹۳	۹۵/۸۵
پارک جنگلی	۰	۸	۰	۰	۲۱۷	۰	۲۲۵	۹۶/۴۴
مناطق آب	۰	۰	۰	۰	۰	۱۱۵	۱۱۵	۱۰۰
مجموع	۲۷۱	۳۳۴	۱۱۹	۱۸۵	۲۱۷	۱۲۲	۱۲۴۸	-
دقت تولید (%)	۹۳/۷۲	۹۶/۴۰	۹۳/۲۷	۱۰۰	۱۰۰	۹۸/۲۹	-	-

سطح شهر تهران نشان می‌دهد که مناطق با آلودگی کم (ایستگاه‌های شاخص آلودگی به رنگ سبز و زرد) دارای کمترین جزایر گرمای شهری در حدود $R^2=0/59$ با فضای سبز شهری نسبتاً خوبی می‌باشد. و مناطق با آلودگی بیشتر (ایستگاه‌های شاخص آلودگی به رنگ قرمز و نارنجی) دارای بیشترین جزایر گرمایی در حدود $R^2=0/72$ که از فضای سبز شهری نسبتاً خوبی برخوردار نمی‌باشد. این نتایج تأیید نتایج مطالعات (هادی پور و همکاران، ۱۳۹۸؛ *kheradmandi* & *Abbaspour*, 2016) است.

محدوده تراکم ترافیک در سطح شهر تهران نشان‌دهنده ترافیک بالا در محدوده مرکزی شهر به دلیل تردد بیشتر است که به ترافیک خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم بندی شده است. یکی از دلایل بیشتر شدن محدوده ترافیک تراکم بیشتر ادارات و سازمان‌های دولتی در این محدوده است (نگاره ۶).



نگاره ۶: نقشه ترکیبی ترافیک با محدوده طرح ترافیک در شهر تهران و پراکنش ایستگاه‌های آلودگی (شاخص آلودگی هوا) به تفکیک مناطق تهران در تاریخ ۱۶ آذر ۱۳۹۶ - محدوده قرمز رنگ

طبقه‌بندی زاویه طیف نگاشت (SAM) دارد. همچنین نمونه‌های تعلیمی با استفاده از گوگل ارث تعیین گردید تا صحت تولیدکننده و صحت کاربر محاسبه گردد.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که جزایر گرمایی شهری در تهران با عوامل متفاوتی مرتبط است. به‌طور کلی، مناطقی که بیشترین تأثیر را در تشکیل جزایر گرمایی شهری دارند، عمدتاً در ۴ مکان مختلف که دارای کاربری‌های متفاوت بودند، ۱- مناطق صنعتی، ۲- مناطق با تردد بیشتر وسائل نقلیه، ۳- مناطق بدون پوشش گیاهی و ۴- مناطق کم ارتفاع می‌باشند.

از روی تصاویر ماهواره لندست ۸ اخذ شده در دو فصل سرد و گرم سال می‌توان دریافت که این تفاوت در درجه اول به علت شرایط کاربری پوشش زمین در منطقه است و نشان دهنده رابطه نزدیک بین پوشش زمین و دمای سطح زمین است.

در این پژوهش به پتانسیل سنجنده OLI در تفکیک پدیده‌های مؤثر در ایجاد جزایر گرمایی پرداخته شد که به‌طور خیلی دقیق این بازتاب‌های طیفی از روی این سنجنده قابل تمیز بود که از فاکتورهای مؤثر در ایجاد جزایر گرمایی می‌باشد که با کمبود پراکنش پوشش گیاهی و فضای سبز در مناطق مختلف شهر تهران، ایجاد می‌گردد. همچنین شاخص پوشش گیاهی نرمال (NDVI) نیز در این پژوهش برای تمام پدیده‌های دخیل در ایجاد جزایر گرمایی مورد بررسی قرار گرفت.

در این مطالعه بیشترین منطقه تحت تأثیر جزایر گرمایی شهری مربوط به بزرگراه امام علی (محدوده بزرگراه امام رضا تا منطقه پیروزی و محلاتی در بزرگراه امام علی به سمت شمال) و همچنین ورودی شهر تهران منطقه ۱۳ به سمت بزرگراه امام علی بوده که دارای ترافیک و براساس پراکنش ایستگاه‌های آلوده در سطح شهر تهران دارای بیشترین آلودگی می‌باشد. پراکنش ایستگاه‌های آلوده در

منابع و مأخذ

- ۱- بیگدلی، ولدان زوج، مقصودی مهرانی؛ بهنام، محمدجواد، یاسر. (۱۳۹۴). ارزیابی پتانسیل تصاویر سنجنده OLI در تفکیک شش رقم گندم ایرانی با استفاده از کتابخانه طیفی. فصلنامه علمی - پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۲۴ (۹۳)، ۵-۲۶.
- <https://doi.org/10.22131/sepehr.2015.14003>
- ۲- پیرنظر، روستایی، فیضی زاده، رئیسی نافچی؛ مجتبی، شهرام، بختیار، فاطمه. (۱۳۹۷). بررسی درجه حرارت سطح زمین و ارتباط آن با کلاس‌های پوشش کاربری زمین شهری با استفاده از داده‌های سنجنده لندست ۸ (مطالعه موردی: شهر تهران). مجله آمایش جغرافیایی فضا، ۸ (۲۹): ۲۲۷-۲۴۰.
- ۳- ساسان‌پور، ضیایان، بهادری؛ فرزانه، پرویز، مریم. (۱۳۹۲). بررسی رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران. جغرافیا: ۱۱ (۳۹): ۲۵۶-۲۷۰.
- ۴- شکبیا، ضیایان فیروزآبادی، عاشورلو، نامداری؛ علی‌رضا، پرویز، داوود، سودابه. (۱۳۸۸). تحلیل رابطه کاربری و پوشش اراضی و جزایر حرارتی شهر تهران، با استفاده از داده‌های ETM+. سنجش‌ازدور و GIS ایران: ۱ (۱)، ۳۹-۵۶.
- ۵- گلکار، حجام، وظیفه‌دوست؛ فرید، سهراب، مجید. (۱۳۹۳). به‌کارگیری محصولات سنجنده مدیس با هدف کمک به اجرای باروری ابرها. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۱۳۹۳ (۱۹)، ۹۳-۱۱۱.
- ۶- متکان، نوحه‌گر، میرباقری، ترک چین؛ علی‌اکبر، احمد، بابک، ناهید. (۱۳۹۳). تحلیل نقش کاربری اراضی در شکل‌گیری جزایر حرارتی با استفاده از داده‌های چند زمانه سنجنده ASTER (مطالعه موردی: شهر بندرعباس)، فصلنامه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۵ (۴)، ۱-۱۴.
- ۷- معروف‌نژاد، عباس. (۱۳۹۰). تأثیر کاربری‌های شهری در ایجاد جزایر حرارتی (مطالعه موردی: شهر اهواز). فصلنامه آمایش محیط، ۴ (۱۴)، ۶۵-۹۰.
- شکل‌گیری این پدیده در مجاورت مناطق مسکونی و تجاری متراکم، همراه با آلودگی هوا ناشی از ترافیک، و در نتیجه انتشار آلاینده‌های محیطی خطرناک مهم‌ترین عواملی هستند که سلامت ساکنان شهری را تهدید می‌کنند و خطر بسیاری از بیماری‌ها، به‌ویژه تنفسی و بیماری‌های قلبی عروقی را افزایش می‌دهند.
- با گسترش سطوح غیرقابل نفوذ و ساخته شده توسط انسان به دلیل از بین رفتن پوشش طبیعی زمین، به‌ویژه پوشش گیاهی، مشکلات اساسی در روند تصفیه خود از آلاینده‌ها در مناطق شهری به‌وجود آمده است (Zhang & et al., 2020).
- ظرفیت گرمایی که اخیراً در مناطق شهری به دلیل مناطق مسکونی ساخته شده افزایش یافته و همچنین استفاده گسترده از مواد غیرطبیعی مانند آسفالت، سیمان، بتن و غیره بر روی بدنه این سازه‌ها منجر به جذب بیشتر انرژی خورشیدی و در نتیجه افزایش دما در مناطق شهری شده است (Chen & et al., 2020).
- گسترش سکونتگاه‌ها و ساختمان‌های مسکونی بلندمرتبه، از یک سو می‌تواند باعث شود انرژی به دلیل ظرفیت گرمای زیاد در دیوارها به دام بیفتد و از طرف دیگر منجر به استفاده بیش از حد از سیستم‌های خنک کننده مصنوعی توسط ساکنان و گرمای انسانی در شهر شود (Karimi & et al., 2020).
- حجم بالای ترافیک و آلودگی ناشی از حمل‌ونقل و گسترش مناطق مسکونی باعث می‌شود که شهر در معرض خطر ظهور و گسترش جزایر حرارتی شهر قرار گیرد (Ulpiani, 2020).

سپاس‌گزاری

از آقای حمیدرضا کرمی عضو هیئت علمی دانشکده اطلاعات و جنائی، گروه مواد مخدر در جهت تهیه داده‌های ترافیک سطح شهر تهران کمال تشکر و قدردانی دارم. همچنین از خانم مهندس رقیه پایدار جهت همکاری در تنظیم مقاله و فرمت آن کمال تشکر و قدردانی را دارم.

M.S., Hertel O. (eds) Air Pollution Sources, Statistics and Health Effects. Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-0596-7_1082

16- Chen, B., Jin, Y., & Brown, P. (2019). An enhanced bloom index for quantifying floral phenology using multi-scale remote sensing observations. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 156, 108–120. <https://doi:10.1016/j.isprsjprs.2019.08.006>

17- Duan, S., Luo, Z., Yang, X., & Li, Y. (2019). The impact of building operations on urban heat/cool islands under urban densification: A comparison between naturally-ventilated and air-conditioned buildings. *Applied energy*, 235, 129-138.

18- Guttikunda, S. K., Nishadh, K., & Jawahar, P. (2019). Air pollution knowledge assessments (APnA) for 20 Indian cities. *Urban Climate*, 27, 124-141.

19- Huang, Q., Huang, J., Yang, X., Fang, C., & Liang, Y. (2019). Quantifying the seasonal contribution of coupling urban land use types on Urban Heat Island using Land Contribution Index: A case study in Wuhan, China. *Sustainable Cities and Society*, 44, 666-675.

20- Karimi, A., Sanaieian, H., Farhadi, H., & Norouzian-Maleki, S. (2020). Evaluation of the thermal indices and thermal comfort improvement by different vegetation species and materials in a medium-sized urban park. *Energy Reports*, 6, 1670–1684. <https://doi:10.1016/j.egyr.2020.06.015>

21- kheradmandi, M., & Abbaspour, R. (2016). Enrichment of Air Quality Monitoring with mobile Sensors for Spatial Modelling of Pollutants (case study: CO in Tehran). *Journal of Geospatial Information Technology*, 4(2), 29-46. (in Persian).

22- Li, W., Han, C., Li, W., Zhou, W., & Han, L. (2020). Multi-scale effects of urban agglomeration on thermal environment: A case of the Yangtze River Delta Megaregion, China. *Science of The Total Environment*, 136556. <https://doi:10.1016/j.scitotenv.2020.136556>

23- Liou, Y.-A., Le, M. S., & Chien, H. (2018). Normalized Difference Latent Heat Index for Remote Sensing of Land Surface Energy Fluxes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1–11.

۸- ولی‌زاده کامران، غلام‌نیا، عینالی، موسوی؛ خلیل، خلیل، گلزار، سید محمد. (۱۳۹۶). برآورد دمای سطح زمین و استخراج جزایر حرارتی با استفاده از الگوریتم پنجره مجزا و تحلیل رگرسیون چند متغیره (مطالعه موردی: شهر زنجان). پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۸(۳۰)، ۳۵-۵۰.

۹- هادی‌پور، دارابی، داودی‌راد؛ مهرداد، حمید، علی‌اکبر. (۱۳۹۸). بررسی جزایر حرارتی شهری و ارتباط آن با شرایط آلودگی هوا و شاخص‌های NDVI و NDBI در شهر اراک. فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»، ۲۸ (۱۱۲)، ۲۴۹-۲۶۴.

<https://DOI: 10.22131/sepehr.2020.38619>

10- Abera, T. A., Heiskanen, J., Pellikka, P., Rautiainen, M., & Maeda, E. E. (2019). Clarifying the role of radiative mechanisms in the spatio-temporal changes of land surface temperature across the Horn of Africa. *Remote sensing of Environment*, 221, 210-224.

11- Aslami, F., & Ghorbani, A. (2018). Object-based land-use/land-cover change detection using Landsat imagery: a case study of Ardabil, Namin, and Nir counties in northwest Iran. *Environmental monitoring and assessment*, 190(7), 376.

12- Ayanlade, A., & Howard, M. T. (2019). Land surface temperature and heat fluxes over three cities in Niger Delta. *Journal of African Earth Sciences*, 151, 54-66.

13- Bokaie, M., Zarkesh, M. K., Arasteh, P. D., & Hosseini, A. (2016). Assessment of urban heat island based on the relationship between land surface temperature and land use/land cover in Tehran. *Sustainable Cities and Society*, 23, 94-104.

14- Bulatov, D., Burkard, E., Ilebag, R., Kottler, B., & Helmholz, P. (2020). From multi-sensor aerial data to thermal and infrared simulation of semantic 3D models: Towards identification of urban heat islands. *Infrared Physics & Technology*, 105, 103233. <https://doi:10.1016/j.infrared.2020.103233>

15- Chen J., Dahlin, M. J., Luuppala, L., Bickford, D., Boljka, L., Burns, V., and Johnson, M. S. (2020) Air Pollution and Climate Change: Sustainability, Restoration, and Ethical Implications. In: Goodsite M.E., Johnson

the relationship between land use features and intra-surface urban heat island effect: Study on downtown Shanghai. *Applied Geography*, 125, 102305. <https://doi:10.1016/j.apgeog.2020.102305>

35- Zhao, J., Zhong, Y., Hu, X., Wei, L., & Zhang, L. (2020). A robust spectral-spatial approach to identifying heterogeneous crops using remote sensing imagery with high spectral and spatial resolutions. *Remote Sensing of Environment*, 239, 111605. <https://doi:10.1016/j.rse.2019.111605>

<https://doi:10.1109/tgrs.2018.2866555>

24- Medved, S., Domjan, S., & Arkar, C. (2019). *Sustainable Technologies for Nearly Zero Energy Buildings: Design and Evaluation Methods*: Springer.

25- Reyes-Paecke, S., Gironás, J., Melo, O., Vicuña, S., & Herrera, J. (2019). Irrigation of green spaces and residential gardens in a Mediterranean metropolis: Gaps and opportunities for climate change adaptation. *Landscape and urban planning*, 182, 34-43.

26- Rouse Jr, J. W., Haas, R., Schell, J., & Deering, D. (1974). Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS.

27- Sajib, M. Q. U., & Wang, T. (2020). Estimation of Land Surface Temperature in an Agricultural Region of Bangladesh from Landsat 8: Intercomparison of Four Algorithms. *Sensors*, 20(6), 1778. <https://doi:10.3390/s20061778>

28- Sarami, H., & Salaki, L. (2006). Thermal Islands. *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 14(56), 43-49. (in Persian).

29- Srivastav, A. (2019). Reducing Carbon Growth The Science and Impact of Climate Change (pp. 111-146): Springer.

30- Sun, R., Lü, Y., Yang, X., & Chen, L. (2019). Understanding the variability of urban heat islands from local background climate and urbanization. *Journal of Cleaner Production*, 208, 743-752.

31- Thenkabail, P. S., Lyon, J. G., & Huete, A. (2018). *Advanced Applications in Remote Sensing of Agricultural Crops and Natural Vegetation*: CRC Press.

32- Ulpiani, G. (2020). On the linkage between urban heat island and urban pollution island: Three-decade literature review towards a conceptual framework. *Science of the Total Environment*, 141727. <https://doi:10.1016/j.scitotenv.2020.141727>

33- Wang, M., He, G., Ishwaran, N., Hong, T., Bell, A., Zhang, Z., ... Wang, M. (2018). Monitoring vegetation dynamics in East Rennell Island World Heritage Site using multi-sensor and multi-temporal remote sensing data. *International Journal of Digital Earth*, 1-17. <https://doi:10.1080/17538947.2018.1523955>

34- Zhang, H., Li, T.-T., & Han, J.-J. (2020). Quantifying